



Università degli Studi di Ferrara

DOTTORATO DI RICERCA IN "TECNOLOGIA DELL'ARCHITETTURA"

CICLO XXIII

COORDINATORE Prof. Trippa Graziano

LA VEGETAZIONE PER LE CHIUSURE VERTICALI

*Il percorso evolutivo del verde parietale quale elemento
di rinaturalizzazione urbana e dispositivo tecnologico passivo
per il controllo del microclima ambientale*

Settore Scientifico Disciplinare ICAR/12

Dottorando
Dott. Bit Edoardo

Tutore
Prof. Zannoni Giovanni

Anni 2008/2010

Desidero ringraziare i seguenti professionisti e studi d'architettura per la gentile concessione di materiali tecnici: Carlo Bordini, Martijn de Geus, Paola Trapani, Christian Inderst, Anna Lambertini, Vittorio Rungo, Edouard François, Marco Devecchi, Siegfried Camana, Carloratti Associati, CBA Progetti, Enrique Browne y Arquitectos Asociados, Studio Cammilli, Studio Bay, BRT Architekten, VenhoevenCS, Copijn, Elmslie Osler Architect, Albera Monti & Associati, Hyunjoon Yoo Architects, Wingårdh Arkitektkontor AB.

Si ringraziano il prof. Leonardo Filesi e il prof. Luca Bragazza per la disponibilità e per gli importanti suggerimenti scientifici.

Grazie ad Alberto Tavian, Giovanni Avosani, Elena Giacomello e Francesca Pettenon per la concessione di materiali fotografici, e a Valeria Marta Rocco per gli apprezzati spunti critici e per le numerose fotografie.

Si ringraziano Tea Del Magno per il fondamentale aiuto, Laura Doro per gli utili consigli e tutti gli amici per il supporto e per l'aver tollerato alcune assenze.

Un grazie particolare a Selena Salatin per l'incommensurabile pazienza, per l'aiuto e per il continuo sostegno.

Questa Tesi è dedicata alla mia famiglia.

LA VEGETAZIONE PER LE CHIUSURE VERTICALI

Il percorso evolutivo del verde parietale quale elemento di rinaturalizzazione urbana e dispositivo tecnologico passivo per il controllo del microclima ambientale

Abstract

Il tema della *chiusura verticale vegetata* gode in tempi recenti, all'interno della sperimentazione architettonica e della ricerca scientifica, di un forte sviluppo che si traduce in una considerevole espansione delle possibilità formali e tecniche a supporto del progettista. L'utilizzo della vegetazione come parte integrante e funzionale all'interno del processo progettuale è riscontrabile nella storia delle costruzioni fin da tempi lontani, ma solo di recente, in seguito alla crescente attenzione per le tematiche ambientali, unitamente alla derivante e capillare domanda di sostenibilità, l'impiego vegetale come elemento collaborante in architettura sta assumendo un ruolo sempre più definito e crescente.

La ricerca intrapresa verte a delineare le caratteristiche di queste particolari soluzioni che richiedono un'attenta e ponderata integrazione tra il sistema tecnologico e le parti viventi rappresentate dalle piante. Dapprima si mirerà ad inquadrare scientificamente i vantaggi microclimatici offerti dagli *involucri a verde*, e di conseguenza il loro possibile contributo alla mitigazione ambientale degli spazi edificati sia esterni che interni, alla luce delle problematiche relative alla scarsità di spazi naturali che si possono riscontrare all'interno della maggior parte delle conurbazioni contemporanee. In seconda battuta si andrà a predisporre una valutazione critica-comparativa delle caratteristiche tecniche, fisiche, funzionali e manutentive di tali elementi d'involucro e dei loro componenti o apparati tecnologici, sia per le nuove edificazioni che nelle attività di recupero del patrimonio edilizio. Il miglioramento del sistema, mediante l'esplicazione delle peculiarità tecnologiche e la risoluzione delle criticità che lo caratterizzano, sarà l'obiettivo di questo lavoro. Lo sviluppo tecnico e funzionale interessante tali sistemi d'involucro diviene il filo conduttore delle scelte metodologiche operate in sede di ricerca, con lo scopo di definire degli strumenti teorico-pratici di ausilio al progettista.

INDICE

p.

I. INTRODUZIONE E STRUTTURA DELLA RICERCA	1
I.1. Lo stato dell'arte	1
I.2. Il contesto culturale e scientifico	3
I.3. Obiettivi e risultati attesi	6
I.4. Delimitazione del campo d'indagine	8
I.5. Parole chiave	9
I.6. Riferimenti metodologici	12
I.7. Target di riferimento	13
I.8. Struttura della ricerca	14
I.9. Fonti di riferimento	15
I.9.1. Bibliografia tematica	15
I.9.2. Sitografia tematica	15
II. SVILUPPO STORICO NELLO SFRUTTAMENTO VEGETALE COME ELEMENTO DI PROGETTO	19
II.1. La natura come elemento basilare della costruzione	19
II.2. La commistione tra natura e architettura nell'edilizia spontanea e vernacolare verso la verticalizzazione vegetale	21
II.3. L'arte dei giardini scopre la dimensione verticale	28
II.4. Il Novecento e l'epoca contemporanea	30
II.5. <i>Verde Verticale</i> : una proposta di classificazione	52
II.6. Il contributo della sperimentazione artistica quale progenitrice del fenomeno della parete verde	59
II.7. Le sperimentazioni della <i>Land Art</i>	66
II.8. L'attuale ricerca in campo architettonico	70
II.9. Lo sviluppo normativo in materia di inverdimento edilizio urbano, conseguente alla riscoperta a scala globale dei benefici climatici recati dalla vegetazione	72
II.10. Tutto ciò che è "verde" risulta anche sostenibile? La natura simulata	77
II.11. Design verde, design vivente. Un'innovativa tendenza per il disegno industriale	80
II.12. Fonti di riferimento	84
II.12.1. Bibliografia tematica	84
II.12.2. Sitografia tematica	86
III. I RIVESTIMENTI VEGETALI	89
III.1. Piante che naturalmente proliferano in verticale e specie più adatte al rivestimento di facciate edilizie	90
III.2. La tecnologia del rivestimento a verde	97
III.2.1. L'elemento vegetale	100
III.2.1.1. Ciclo vegetativo stagionale	100
III.2.1.2. Esigenza di esposizione alla radiazione solare	102
III.2.1.3. Velocità di crescita	102
III.2.1.4. Dimensione massima raggiungibile	104
III.2.1.5. Densità e spessore del manto fogliare	106
III.2.1.6. Specie vegetali per i rivestimenti a verde	109
III.2.2. Messa a dimora a terra, in vaso o in quota	115

III.2.3.	Il supporto strutturale allo sviluppo della vegetazione	122
III.2.3.1.	L'interfaccia fra il rivestimento vegetale e le parti del sistema di chiusura	128
III.2.3.2.	Fattori che possono contribuire a problematiche nei confronti dell'apparato vegetale	131
III.2.3.3.	Analisi dei carichi e dimensionamento	136
III.2.4.	La fornitura idrica e dei nutrienti	141
III.3.	<i>Freestanding living walls</i>	144
III.4.	Impiegare un rivestimento vegetale per precisi scopi funzionali	147
III.4.1.	Utilizzo dei rivestimenti vegetali come schermatura solare	147
III.4.2.	Rinaturalizzazione architettonica-ambientale e riqualificazione edilizia	152
III.5.	Le alternative tecniche	155
III.6.	Casi di studio	161
	<i>STrv01</i> – Consorzio Santiago	163
	<i>STrv02</i> – Consorzio Concepción	167
	<i>STrv03</i> – Braccialini Srl	171
	<i>STrv04</i> – Caruzzo & Associati	175
	<i>STrv05</i> – Swiss Re Bürohaus	179
III.7.	Gestione e manutenzione	183
III.8.	I costi dei rivestimenti vegetali	186
III.9.	Fonti di riferimento	191
III.9.1.	Bibliografia tematica	191
III.9.2.	Sitografia tematica	193
IV.	NOTE IN MATERIA DI AGRONOMIA E BOTANICA	197
IV.1.	Introduzione al concetto di clima	198
IV.1.1.	La classificazione climatica	200
IV.1.2.	Il caso italiano	204
IV.2.	Correlazioni tra clima e specie	208
IV.2.1.	Autoctonia e specie alloctone	210
IV.2.2.	Fenomenologie di adattabilità dei vegetali	210
IV.3.	Le piante in ambiente urbano: peculiarità e problematiche	214
IV.3.1.	Il clima urbano e le sue ripercussioni sugli organismi vegetali	215
IV.3.2.	Caratteristiche dei suoli urbani	217
IV.3.3.	La flora urbana	219
IV.3.4.	Effetti di microclima, suolo e flora urbana sugli impianti realizzati dall'uomo	221
IV.4.	Sistemi vegetali d'integrazione a superfici edilizie: dinamica evolutiva e tipologie archetipiche di riferimento	222
IV.4.1.	Le falesie rocciose	227
IV.4.2.	Le murature a secco	229
IV.4.3.	I ruderi architettonici	231
IV.4.4.	I terrazzamenti	232
IV.5.	Il sito di progetto: valutazione preventiva dei fattori microclimatici e ambientali	234
IV.5.1.	Esposizione geografica e radiazione solare	235
IV.5.2.	Temperature annue e medie stagionali	237
IV.5.3.	Ventosità	239
IV.5.4.	Precipitazioni annue e stagionali, umidità dell'aria	239
IV.5.5.	Resistenza all'inquinamento	240
IV.5.6.	Ostacoli edilizi o di origine antropica	241
IV.6.	L'integrazione fra sistema vegetale e chiusure edilizie	241
IV.6.1.	Piante associabili agli involucri verticali	242
IV.6.2.	Criteri di selezione delle specie in funzione delle caratteristiche prestazionali	247
IV.6.3.	Specie vegetali impiegabili: realizzazione e gestione del verde, sostenibilità	252
IV.7.	Fonti di riferimento	261
IV.7.1.	Bibliografia tematica	261

IV.7.2.	Sitografia tematica	263
V.	LE CHIUSURE VERTICALI VEGETATE	265
V.1.	Il passaggio dalla chiusura ospitante vegetazione a quella in cui le piante sono integrate all'involucro	266
V.1.1.	La (ri)scoperta della parete a verde continua: Patrick Blanc e il brevetto del <i>Mur Vegetal</i>	267
V.1.2.	Il "dopo" <i>Mur Vegetal</i> . Il settore delle costruzioni ha recepito il messaggio?	273
V.2.	La progettazione di chiusure verticali a verde	275
V.2.1.	Agenti e requisiti	277
V.2.2.	Gli elementi funzionali che compongono il sub-sistema	277
V.2.2.1.	Lo strato vegetale	279
V.2.2.2.	Lo strato di coltura	281
V.2.2.3.	Elemento di protezione dall'azione delle radici	284
V.2.2.4.	Elemento di tenuta	287
V.2.2.5.	Il sottosistema a supporto del pacchetto a verde	291
V.2.2.6.	L'apporto idrico al sistema vegetale: il sistema automatizzato d'irrigazione	294
V.2.2.6.1.	Coltivazione idroponica e fertirrigazione	294
V.2.3.	Tipologie sistemiche per la realizzazione di superfici verticali a verde: varianti tecniche e declinazioni	301
V.2.3.1.	Sistemi leggeri vs. Sistemi pesanti	303
V.2.3.2.	Sistemi modulari vs. Sistemi realizzati in opera	305
V.2.3.3.	Sistemi da esterni vs. Sistemi indoor	307
V.2.3.4.	Sistemi industrializzati vs. Sistemi artigianali	310
V.2.3.5.	Sistemi a strati continui vs. Sistemi puntuali	312
V.2.4.	Il sistema tecnologico parete a verde: elementi d'interfaccia tra sottosistemi differenti	315
V.2.4.1.	Attacco a terra	316
V.2.4.2.	Attacco al cielo	318
V.2.4.3.	Connessione con chiusure trasparenti e serramenti	320
V.2.4.4.	La realizzazione dell'angolo	322
V.3.	Casi di studio	323
	<i>STmv06</i> – Trussardi Café	326
	<i>STmv07</i> – Sportplaza Mercator	330
	<i>STcvv08</i> – CR Land Guanganmen Showroom	334
	<i>STcvv09</i> – Anthropologie Huntsville	338
	<i>STcvv10</i> – Green Weaving Club House	342
	<i>STcvv11</i> – Ann Demeulemeester Shop	346
V.4.	Energia incorporata e consumo delle risorse	350
V.5.	Gestione e manutenzione	354
V.5.1.	Criticità inerenti la gestione dell'apparato vegetale e dei sottosistemi ad esso destinati	360
V.6.	I costi delle chiusure verticali vegetate	365
V.7.	Fonti di riferimento	369
V.7.1.	Bibliografia tematica	369
V.7.2.	Sitografia tematica	371
VI.	VANTAGGI MICROCLIMATICI DERIVANTI DALL'IMPIEGO DELLA VEGETAZIONE IN ARCHITETTURA	375
VI.1.	<i>Global warming</i> , fenomeno dell'isola di calore e derivanti ripercussioni a livello di comfort urbano	376

VI.2.	Benefici climatici derivanti dalla vegetazione	379
VI.2.1.	Evapotraspirazione, fotosintesi e respirazione dei sistemi vegetali	380
VI.2.2.	La tecnologia ibrida della “pelle verde” e il fototropismo naturale delle piante	383
VI.2.3.	Reazione dei tessuti vegetali alla radiazione solare	384
VI.2.4.	Possibilità di utilizzo delle piante come schermatura delle chiusure trasparenti	386
VI.2.5.	Possibilità di miglioramento delle prestazioni energetiche negli involucri opachi	392
VI.2.5.1.	Studi scientifici che dimostrano l’influenza della vegetazione sull’efficienza energetica delle chiusure edilizie in regime estivo	395
VI.2.5.2.	Potenzialità delle chiusure opache inverdite per la limitazione delle dispersioni termiche durante l’inverno	410
VI.2.5.3.	Considerazioni a margine delle sperimentazioni descritte	413
VI.2.5.4.	Una matrice per l’impiego dei sistemi d’inverdimento parietale come schermatura della radiazione solare	414
VI.2.6.	Variazione dell’umidità relativa dell’aria	415
VI.2.7.	Indirizzamento dei flussi ventosi	415
VI.3.	Vantaggi non prettamente climatici	417
VI.3.1.	Controllo del rumore	417
VI.3.2.	Modifiche della composizione dell’aria e assorbimento delle polveri sottili	419
VI.3.3.	Conservazione della biodiversità	425
VI.3.4.	Attenuazione dell’elettromagnetismo	429
VI.3.5.	Produzione di biomassa	431
VI.3.5.1.	Il metodo del raccolto	431
VI.3.6.	Benefici psicologici, sociali ed igienici nei confronti dell’essere umano	432
VI.3.6.1.	Considerazioni a margine delle ricerche descritte	436
VI.3.6.2.	Terapie legate all’utilizzo della vegetazione	436
VI.3.6.3.	Effetti cognitivi rapportabili al modo di percepire il colore verde: psicologia del colore	440
VI.3.7.	Conservazione dell’integrità dell’involucro	441
VI.3.8.	Regimazione e depurazione dell’acqua meteorica	442
VI.3.9.	La compensazione ambientale	447
VI.4.	Fonti di riferimento	450
VI.4.1.	Bibliografia tematica	450
VI.4.2.	Sitografia tematica	453

VII. ELEMENTI D’INNOVAZIONE TECNOLOGICA E CULTURALE CHE INTERESSANO LA PRATICA DELLA VERTICALIZZAZIONE VEGETALE **455**

VII.1.	Svilupi progettuali e morfologici resi possibili dall’integrazione fra vegetazione e architettura	455
VII.1.1.	La tendenza alla compenetrazione fra edificio e vegetazione come indicatore del mutamento paradigmatico nella relazione architettura/natura	457
VII.1.2.	L’involucro architettonico tende a diventare un elemento completamente vegetato	462
VII.1.2.1.	Potenzialità e criticità relative agli involucri totalmente vegetati	467
VII.2.	Svilupi funzionali per il sistema tecnologico della chiusura verticale vegetata	471
VII.2.1.	Riqualificazione edilizia e ambientale, attenuazione acustica, mitigazione microclimatica	472
VII.2.2.	La chiusura vegetata come interfaccia di comunicazione	476
VII.2.3.	Impiego a favore della regimazione idrometeorica	479
VII.2.4.	Schermatura della radiazione solare per chiusure trasparenti o a servizio di spazi-filtro	481
VII.2.5.	Trattamento naturale dell’aria	485
VII.2.6.	La parete a verde come possibilità fitodepurativa	491
VII.3.	La verticalizzazione vegetale in funzione della coltivazione ortofrutticola	497
VII.3.1.	Un inedito spazio per coltivare: dal giardino verticale all’orto in facciata	499

VII.3.1.1.	La componente vegetale	500
VII.3.1.2.	L'apparato tecnologico a supporto della vegetazione	508
VII.3.2.	<i>Vertical Farming</i> : l'innovazione scientifica e tecnologica si somma all'intersezione fra edificio e natura	513
VII.3.2.1.	Formulazione teorica e contestuali principi progettuali	514
VII.3.2.2.	Considerazioni architettoniche e tecniche riguardanti la progettazione di una <i>Fattoria Verticale</i>	518
VII.3.2.3.	Il ruolo delle tecnologie per l'inverdimento parietale come possibile supporto operativo al movimento	524
VII.4.	Fonti di riferimento	527
VII.4.1.	Bibliografia tematica	527
VII.4.2.	Sitografia tematica	529
 VIII. SINTESI DELL'ATTIVITÀ DI RICERCA E CONCLUSIONI		533
VIII.1.	Risultati ottenuti	533
VIII.2.	Conclusioni	535
VIII.2.1.	Aspetti di sostenibilità legati al sistema della parete a verde	536
VIII.2.2.	L'importanza di una corretta selezione dell'apparato vegetale	537
VIII.2.3.	Energia richiesta durante l'intero <i>Life Cycle</i>	539
VIII.2.4.	L'entità di substrato come discriminante delle caratteristiche di sostenibilità	540
VIII.2.5.	La necessità di uniformazione operativa	542
VIII.2.6.	Il rapporto fra prestazioni e contesto climatico	544
VIII.2.7.	Mirare alla diminuzione dei costi	545
VIII.2.8.	Il sistema tecnologico <i>chiusura verticale a verde</i> : un contesto tecnico e culturale in fermento	545
VIII.2.9.	Unificazione fra sistemi come elemento d'innovazione	546
VIII.3.	Possibili sviluppi di ricerca	547
 BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA		551
Bibliografia generale		551
Pubblicazioni		551
Normativa tecnica e legislazione		560
Tesi di Dottorato di Ricerca		560
Tesi di Laurea		560
Sitografia		561
Informazione e ricerca sugli involucri a verde, integrazione natura/architettura, sostenibilità		561
Siti aziendali e brevetti per l'inverdimento parietale		563



I. Introduzione e struttura della ricerca

In questo capitolo verranno presentati gli elementi d'interesse e le argomentazioni critiche di base che hanno portato all'inquadramento dell'oggetto di studio. Saranno esplicitate le ragioni scientifiche e tecniche del presente lavoro, le dichiarazioni d'intenti, la definizione del tema di ricerca specifico. Verrà successivamente descritta la metodologia di ricerca, evidenziando la delimitazione del campo d'indagine adottata, i riferimenti utilizzati, le fasi varie operative, la struttura dello scritto, e gli obiettivi generali o specifici ai quali si mira. Il tutto con la volontà di definire chiaramente le argomentazioni d'interesse scientifico della tesi.

I.1. Lo stato dell'arte

Le contingenze climatiche attuali e le emergenze ambientali della contemporaneità stanno portando l'architettura a ripensare sé stessa. Il forte inquinamento atmosferico e l'inesorabile esaurimento delle risorse fossili, producono nel settore delle costruzioni – per i paesi occidentalizzati riconosciuto come quello maggiormente *energivoro*² ed inquinante – degli sconvolgimenti che è possibile definire come *epocali*. In questi tempi l'architettura è costretta a rivalutare profondamente alcuni principi che da almeno due secoli l'hanno animata.

Inoltre, la riscoperta da parte dell'opinione pubblica globale dell'importanza della natura sulla salute psicofisica dell'essere umano, ha fatto sì che si possa assistere giorno per giorno ad una prepotente ricomparsa della vegetazione naturale all'interno delle città. O almeno ad una serie di tentativi in tale direzione.

Inizialmente introdotta come mero elemento estetico, per comprenderne ben presto le potenzialità sia climatologiche che sotto l'aspetto della qualità urbana, la vegetazione ha iniziato a rimpossessarsi di quegli spazi che la rivoluzione industriale e l'intensiva pianificazione urbanistica³ dell'ultimo secolo gli avevano negato. Solo di recente, infatti, è possibile assistere a un tentativo di reintroduzione dell'elemento naturalizzante all'interno degli immensi ed *ipermineralizzati* agglomerati urbani caratterizzanti la società contemporanea. Città e metropoli dei nostri tempi, se vagliate alla luce della teoria dei sistemi (ossia considerando qualsiasi area urbana come un sistema inglobato in un

¹ L'immagine della pagina precedente raffigura un ricovero attrezzi nella campagna trevigiana (TV). Pareti e copertura dell'edificio sono completamente ricoperte da uno strato di vegetazione rampicante spontanea.

² Si pensi ad esempio che in Italia, nel 2007, i settori residenziale e terziario sono stati responsabili per circa il 50% del consumo totale di energia elettrica. (Fonte: ENEA, *Rapporto energia e ambiente 2007 - Analisi e scenari*, p.36). Il medesimo *trend* è riscontrabile per il consumo energetico da altre fonti, con un conseguente e proporzionale quantitativo di emissioni climalteranti in atmosfera.

³ Per approfondire cosa si intenda per "intensiva pianificazione urbanistica" si rimanda alla lettura del documento intitolato *Il consumo di suolo in Italia: 1995-2006*. Vi si denuncia come nel nostro paese, in un arco temporale di undici anni, sia «stata coperta dal cemento e dall'asfalto una regione grande quanto l'Umbria e che ogni anno sparisce per lo stesso motivo l'intero comune di Ravenna. [...] La superficie territoriale dell'Umbria è pari a 8.546 Km², quella del comune di Ravenna 652,89 Km²». BERDINI, PAOLO, *Il consumo di suolo in Italia: 1995-2006*, in bibl., p.9.

Si veda anche la ricerca effettuata dall'Università degli Studi dell'Aquila (responsabile scientifico: prof. Bernardino Romano) assieme al WWF, intitolata *2009 L'ANNO DEL CEMENTO – DOSSIER SUL CONSUMO DEL SUOLO IN ITALIA*. Dal documento emerge che nel nostro paese, negli ultimi quindici anni, sono stati urbanizzati circa 3,5 milioni di ettari di territorio, con la conseguente emersione di criticità quali il consumo di suolo, la frammentazione ambientale, la perdita della biodiversità.

ecosistema naturale maggiore), possono essere assimilate a delle «croste urbane»⁴ che occupano ed intaccano consistenti aree del pianeta. Elementi come la copertura a verde, *corridoi* e *reti ecologiche*⁵, la benefica compenetrazione tra edificio e vegetazione⁶ furono dimenticati per decenni prima di poter essere solo ultimamente riscoperti come potenziali elementi di riqualificazione dello spazio di vita antropico.

Ultima in ordine di apparizione, tra gli elementi d'inverdimento associabili all'architettura costruita e agli spazi di vita umani, è la possibilità d'integrazione fra vegetazione naturale e chiusure verticali edilizie: possibilità anch'essa conosciuta da tempo e poi accantonata, che solo recentemente sta conoscendo un notevole sviluppo. Essa è oggi caratterizzata da una consistente e continuativa attività d'innovazione tecnologica.

Alla luce degli assunti teorici e delle problematiche introdotte, la presente ricerca si pone l'obiettivo di indagare nello specifico il tema della chiusura verticale vegetata. Tale elemento gode tutt'oggi di grande attenzione e sperimentazione, specialmente dopo l'invenzione della cosiddetta *parete verde continua*, o *muro vegetale*⁷, inteso come apparato di progressione e discontinuità rispetto al maggiormente storicizzato *rivestimento a verde*, l'unico esistente fino a pochi anni fa⁸.

Si assiste quindi ad un crescente interesse da parte dei progettisti, dell'editoria specializzata e non, delle aziende riguardo a queste tecnologie, spesso a fronte però di una considerazione meramente estetica-formale del prodotto, che viene di sovente presentato o concepito come un qualcosa semplicemente "alla moda"; non tenendo conto del fatto che, invece, la caratteristica di maggiore interesse di un sistema del genere è quella di poter contribuire alla reintroduzione dell'elemento naturale all'interno degli spazi urbani, con tutti gli associati benefici che ne deriverebbero. Le attuali conurbazioni, infatti, sono sempre più congestionate e piegate ad un mercato edilizio che non concepisce "perdite" di volumetria edificabile a fronte dell'aumento di spazi verdi. Inoltre gli elementi vegetali sono fondamentali da un punto di vista climatico-ambientale, e possono

⁴ Come da definizione di Lorenzo Matteoli, per illustrare la tipica dinamica morfologica ed evolutiva delle città contemporanee, nel loro contrapporsi in modo quasi conflittuale all'ambiente naturale che le ospita e le circonda. MATTEOLI, LORENZO, "Il disagio", in SINOPOLI, NICOLA, TATANO, VALERIA, (a cura di), *Sulle tracce dell'innovazione – Tra tecniche e architettura*, Milano, Franco Angeli, 2002, pp.128-136

⁵ Il *corridoio ecologico* è un elemento del paesaggio che connette due o più aree di ecosistema naturale. Esso funge da *habitat*, e da canale per lo spostamento di animali o spore. Corrisponde inoltre alla zona entro cui avviene lo scambio genetico tra popolazioni vegetali e animali. Sono esempi di corridoi ecologici le fasce arboree ed arbustive che circondano i margini dei terreni coltivati, i sistemi ripari (ovvero la vegetazione delle fasce di pertinenza fluviale), le fasce arboree ed arbustive legate ad infrastrutture lineari (strade, ferrovie, canali artificiali) ed i corridoi lineari di vegetazione erbacea entro matrici boschive. Tale concetto storicamente appartenente alle materie che si occupano dello studio dei sistemi naturali sta venendo trasposto negli ultimi anni, grazie ai principi della bioarchitettura, anche ai contesti urbani, al fine di aumentarne la biodiversità: più aree verdi collegate tra loro, e comunicanti a loro volta alle zone naturali che circondano una città, formano un corridoio ecologico. L'insieme di più corridoi ecologici compone una *rete ecologica*.

⁶ I benefici conseguenti all'azione sinergica fra vegetazione e manufatto edilizio verranno declinate ed esplicate meglio nel prosieguo del lavoro e, più nello specifico, all'interno dei capitoli VI e VII.

⁷ *Mur Vegetal* è il nome che il ricercatore e botanico francese Patrick Blanc ha scelto per il proprio brevetto di parete vegetata. Egli è universalmente riconosciuto come l'inventore del cosiddetto *verde parietale continuo*. Da allora, in contesti specializzati, si tende a denominare muro vegetale qualsiasi tipologia di superficie invertita verticale, anche se molto diversa dal progetto dello scienziato francese, col semplice obiettivo di diversificarla, fin dalla definizione, dai *rivestimenti a verde* convenzionali, conosciuti ed utilizzati fin dall'antichità.

⁸ L'alto numero di varianti tecnologiche e formali caratterizzanti il sistema *parete a verde* ha come risultato una grandissima differenziazione e frammentazione tipologica che porta, di conseguenza, ad imprecisioni anche dal punto di vista della semplice definizione. Ne consegue che, all'attuale stato dell'arte, non si possa nemmeno contare su un lessico comune per declinare le tipologie esistenti. Uno degli obiettivi della ricerca sarà proprio quello di approdare ad un sistema di definizioni che riesca a porre adeguatamente in risalto le diverse e fondanti qualità che caratterizzano ogni diversa tipologia.

contribuire in modo considerevole al controllo e al condizionamento climatico, di tipo totalmente passivo, all'interno di quegli agglomerati urbani che sono soggetti al problematico fenomeno microclimatico che prende il nome di *isola di calore*⁹.

Il desiderio del presente studio è quello di fornire un inquadramento tecnologico ed architettonico dei sistemi innovativi per la realizzazione di chiusure esterne inverdite, che tenga conto della profonda e complessa integrazione che tali elementi tecnici richiedono con la parte *vivente* che li completa. Questa «tecnologia ibrida»¹⁰ dalla spiccata caratterizzazione tipologica e formale avrà il compito di interagire con una molteplicità di differenti e complessi fattori tecnologici o climatici, tendendo contemporaneamente alla risoluzione delle problematiche tuttora esistenti, trattandosi di tecnologie giovani e in piena sperimentazione.

Lo stato dell'arte della ricerca scientifica e delle pubblicazioni tecniche riguardanti il verde parietale non è attualmente molto approfondito, in quanto, come precedentemente indicato, solo di recente e in seguito alla forte domanda di sostenibilità caratterizzante il settore delle costruzioni si sono accettate appieno le potenzialità consentite dalla vegetazione. Le ricerche riscontrabili in letteratura si sono occupate esclusivamente di *rivestimenti a verde*, o delle potenzialità climatologiche connesse all'utilizzo della vegetazione in ambiente urbano. Sono invece pressoché assenti studi che prendano in considerazione le caratteristiche tecnologiche dei vari sistemi maggiormente evoluti, o di recente immissione sul mercato.

Da notare anche l'importante questione che oggi la ricerca scientifica è promossa esclusivamente dall'industria, che sta investendo ingenti risorse in ricerca applicata e industriale; mentre il mondo accademico e della ricerca di base continuano a trascurare l'argomento, o a relegargli modesto interesse. La conseguenza è che le aziende continuano ad immettere un considerevole numero di sistemi sul mercato, e a generare numerosi prototipi che presentano nelle fiere o mediante installazioni estemporanee; ma, non potendo esse contare su dati o innovazioni fornite dalla ricerca di base, sono obbligate a operare in modo quasi sempre empirico, senza la possibilità di contare su risultati sperimentali che solo una ricerca disinteressata come quella di base potrebbe fornire.

Per questi motivi si ritiene che l'intraprendere uno studio incentrato sui sistemi d'inverdimento parietale innovativi ed evoluti, sia sotto l'aspetto tecnico che delle ricadute ambientali, possa contribuire all'affinamento delle conoscenze. Col tentativo di creare un apparato di spunti critici e tecnici che muovano verso una maggiore sensibilità rispetto alle potenzialità architettoniche, funzionali e tecnologiche del sistema.

I.2. Il contesto culturale e scientifico

Nell'inquadramento di quello che è il contesto scientifico-culturale nel quale si inseriscono gli argomenti interessanti ai fini della ricerca bisognerà operare, in questa sede ancora introduttiva del

⁹ Si rimanda al capitolo VI per l'approfondimento di tale argomento.

¹⁰ Come da definizione di Gianni Scudo per illustrare il fenomeno del *fototropismo* naturale delle piante, associandolo allo sfruttamento della vegetazione come elemento schermante della radiazione solare. SCUDO, GIANNI, "Introduzione", p.X, in BELLOMO, ANTONELLA, *Pareti verdi – Linee guida alla progettazione*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2003. La tematica del fototropismo verrà esplicitata nel sesto capitolo.

lavoro, uno sforzo per comprendere quali siano gli impulsi che stanno portando l'intera cultura occidentale a variare non poco le proprie consuetudini.

Sempre di più l'opinione pubblica e i referenti culturali che ne accompagnano lo sviluppo critico prendono in considerazione – o per meglio dire, stanno riscoprendo – le potenzialità ecologiche, igieniche, ambientali e climatiche della vegetazione naturale. La collettività sembra richiedere con decisione un cambiamento nelle attuali politiche di gestione urbana¹¹, e lo dimostra mediante azioni individuali e collettive. Si pensi ad esempio, in merito alle azioni individuali, a movimenti come l'*urban gardening*, o degli *orti urbani*: fenomeni che in modo sempre più incisivo stanno impossessandosi degli spazi comuni dei condomini o dei tetti degli edifici¹². Per quanto riguarda le azioni collettive, invece, si citano quei movimenti comuni (a volte quasi provocatori o “di ribellione”) intrapresi in qualsiasi parte del mondo indipendentemente dalle condizioni socio-politiche dei vari stati, come ad esempio il *Guerrilla Gardening*¹³; oppure, tanto per portare un caso strettamente legato alla nazione italiana, il movimento denominato *Stop al consumo di territorio*.

Tale spinta sociale è supportata in modo forte e coerente dalla ricerca. Si è investito, in anni recenti ed in numerosi settori disciplinari, nel portare alla luce le caratteristiche di beneficio legate alla vegetazione: molteplici potenzialità che vanno dalla salubrità ed igiene ambientale, alla climatologia, alla salute psicofisica dell'essere umano, alle possibilità in ambito architettonico-progettuale.

Importanti in tal senso anche le azioni promosse da alcuni enti normativi soprattutto a livello locale, che stanno lentamente abbandonando la pratica pianificatoria di considerare “il verde” come uno standard obbligatorio di zonizzazione; standard obbligato da relegare, di conseguenza, a elemento di risulta, posizionabile in territori più distanti possibili da redditizi appezzamenti fabbricabili. Al contrario, oggi, mutuando quelle che sono pratiche provenienti perlopiù dal nord Europa, anche in Italia attraverso l'attività propositiva di comuni o regioni, si inizia a concepire la vegetazione come un elemento benefico e di caratterizzazione dell'ambiente urbano, anziché vederla come una perdita di spazio edificabile. Operando, quindi, affinché la presenza della vegetazione possa ritornare in modo massiccio ad *influenzare* lo spazio cittadino.

I concetti introdotti, legati alla reintroduzione vegetale in ambito urbano, iniziano ad interessare fortemente anche i settori della pianificazione urbanistica e delle costruzioni, seppur in modo lievemente tardivo rispetto ad altri. Nel caso dell'urbanistica, relativamente ai succitati motivi che prevedono l'integrazione del sistema urbano a quello del verde; la pratica architettonica ha iniziato solo recentemente – se si escludono alcuni casi isolati e sporadici che verranno comunque citati all'interno della ricerca – a sfruttare le caratteristiche dell'elemento vegetale come *materia* progettuale.

Le forme compositive e semantiche legate all'impiego vegetale in edilizia stanno conoscendo innovative opportunità formali e tecniche: potenzialità supportate da condizioni progettuali che hanno

¹¹ Si tenga conto che ad esempio la pianura padana, causa il forte sviluppo industriale che l'ha caratterizzata dal dopoguerra ad oggi, unitamente alle peculiarità della conformazione topografica e urbana, si trova ad essere uno tra i luoghi a più alto inquinamento atmosferico nel mondo. Vedi mappa *IUP Heidelberg*, ESA, 2004, reperibile all'indirizzo <http://www.iup.uni-heidelberg.de>

¹² Secondo l'ultimo rapporto ISTAT risalente al 2009, il 37% degli italiani dedica il proprio tempo libero alla cura dell'orto e al giardinaggio. (Fonte: *La Stampa*, 10/11/2009)

¹³ Il *Guerrilla Gardening* è un movimento a libera partecipazione (e senza organi direttivi) che si occupa, mediante risorse umane ed economiche totalmente volontarie, di recuperare tutte le aree verdi urbane abbandonate o che godono di scarsa manutenzione. Tali attività vengono provocatoriamente condotte mediante azioni notturne non autorizzate, simili appunto a quelle della guerriglia. Cfr. <http://www.guerrillagardening.it>

come risultante inedite configurazioni morfologiche e spaziali. La tecnologia, invece, procede alla realizzazione di inediti sistemi che conducono alla definizione di innovative tipologie d'involucro o di parete edilizia sia esterna che interna, provvedendo alla nascita di mirate funzionalizzazioni¹⁴ degli involucri in risposta a precise classi esigenti che fino a pochi anni fa non esistevano o non potevano trovare soluzione.

In ambito architettonico è rilevabile un grande interesse verso la tipologia degli involucri vegetati. Ma questi vengono spesso considerati esclusivamente per le loro caratteristiche formali ed estetiche, piuttosto che per la possibilità di un mirato impiego dell'elemento vegetale per finalità funzionali.

Per quanto riguarda la ricerca, oltre ad essere quasi sempre state sottovalutate le potenzialità ambientali e microclimatiche conseguenti all'integrazione fra architettura e vegetazione, esse non sono mai state prese in grande considerazione dalla scienza, che ancora oggi si basa su una serie di studi¹⁵ ormai datati e tutti tesi alla tecnologia del rivestimento a verde, tralasciando completamente quelli che sono stati successivi sviluppi tecnici. Detti studi scientifici sono stati in gran parte finalizzati alla comprensione dei comportamenti prestazionali del sistema. Infatti, in sintonia con quello che accade oggi per il settore disciplinare della Tecnologia dell'Architettura, la maggior parte dell'interesse è catalizzata dal tema dell'energetica: ossia, ci si concentra esclusivamente al risparmio nei consumi energetici conseguente all'utilizzo di tali tecnologie, ma vengono trascurate ulteriori tematiche che potrebbero essere altrettanto interessanti come l'acustica, le potenzialità di regimazione idrica, il condizionamento climatico ambientale, la salubrità dell'aria.

Altro argomento che dimostra la *spinta verde* riscontrabile a livello planetario è quello dell'agricoltura urbana, altrimenti detto degli *orti urbani*. Anche in tal caso, in netta controtendenza rispetto al modello comportamentale che negli ultimi decenni ha caratterizzato la costante perdita delle attività e delle conoscenze legate all'agricoltura tradizionale, specialmente quella autoprodotta, si sta ultimamente registrando una riscoperta dei valori legati alla terra ed alla produzione agricola, soprattutto come attività portatrice di benessere e salubrità psicofisica nella vita dell'uomo. Si citano qui di seguito, a titolo puramente dimostrativo, alcuni fatti recenti che interessano l'argomento.

Il primo è l'*orto planetario* che caratterizzerà gli spazi espositivi dell'Expò di Milano del 2015¹⁶: durante quella manifestazione ogni paese partecipante avrà a disposizione delle parcelle di terreno, tutte della stessa dimensione, dove poter presentare al mondo le proprie coltivazioni e tecniche agronomiche caratteristiche. Lo scopo è quello di porre l'accento sulle tematiche della sostenibilità, della nutrizione mondiale e dell'ecologia, utilizzando l'agricoltura come medium.

Anche l'installazione temporanea *Nature Capitale*¹⁷, realizzata a Parigi nelle giornate del 23 e 24 maggio 2010 in occasione della Giornata Mondiale della Biodiversità, esplica chiaramente l'argomento. Nell'area degli *Champs-Élysées* l'artista Gad Weil ha realizzato un parco urbano temporaneo delle dimensioni di tre ettari, con l'obiettivo di sensibilizzare l'opinione pubblica su tematiche quali biodiversità, coltivazioni agricole, ecologia, rapporto uomo-natura. Tale inusuale opera ha portato nella strada più famosa di Parigi dei suoli agricoli temporanei, ospitanti una varietà di 150

¹⁴ Cfr. capitolo VII

¹⁵ Molto pochi, circa una ventina dagli anni Settanta ad oggi.

¹⁶ L'Expò di Milano del 2015 è intitolato *Nutrire il Pianeta, Energia per la Vita*. Il *masterplan* dell'area che ospiterà l'esposizione universale è attualmente in via di definizione ad opera di un pool progettuale composto da alcuni studi di fama mondiale (come Boeristudio, Herzog & de Meuron, Ricky Burdett) coadiuvati da un gruppo di giovani progettisti. L'area su cui sorgerà l'Expo si trova a Rho-Pero, nell'*hinterland* del capoluogo lombardo. Cfr. <http://www.worldexpo2015.it>

¹⁷ Il sito web ufficiale della manifestazione è <http://www.naturecapitale.com>

specie, 650 alberi, 8.000 orti in cassetta, 11 alberi giovani e 150.000 piante giovani, che venivano per l'occasione seminate, trattate, lavorate e raccolte, col fine di mostrare ai quasi due milioni di spettatori accorsi, i vegetali che ogni giorno danno lavoro ad agricoltori e professionisti forestali francesi.

Si ritiene opportuno precisare che la tematica degli orti urbani, qui semplicemente introdotta, non è assolutamente da identificarsi con delle sperimentazioni estemporanee o provocatorie. Tale movimento operativo-culturale è fortemente supportato dall'opinione pubblica e dalle società di numerose latitudini. Basti pensare a coloro che in campagna o in città, negli spazi condominiali o sui tetti invernati, finanche addirittura alle pareti verticali¹⁸ degli edifici, sperimentano giornalmente tale prassi, producendo autonomamente la propria frutta e verdura. Tale modalità, inizialmente appannaggio di poche persone, è oggi in costante evoluzione e crescita.

Il fermento riguardante gli orti urbani è talmente in ascesa che anche il mondo politico ora sembra accorgersene. Tra le proposte emendative destinate alla manovra economico-finanziaria 2010 (D.L.78/2010), è stata presentata una proposta di legge che promuove l'efficienza energetica attraverso detrazioni fiscali per interventi edilizi di copertura a verde, con l'obiettivo di «favorire sia la diffusione di orti urbani che di giardini pensili, entrambi (giudicati come, *NdA*) soluzioni efficaci per ridurre l'inquinamento e recuperare il microclima cittadino»¹⁹.

Le argomentazioni citate all'interno del presente paragrafo sono state volutamente, per il momento, solo sinteticamente introdotte, al fine di contestualizzare i termini della ricerca intrapresa. Tutti argomenti che saranno comunque illustrati ed esplicitati man mano, in modo più preciso e dettagliato, nei seguenti capitoli.

I.3. Obiettivi e risultati attesi

Vista la natura strettamente tecnologica del presente studio, gli obiettivi ai quali si mira saranno incentrati sulla definizione del sistema ed alla piena comprensione del suo funzionamento, al fine di determinarne le potenzialità in campo architettonico, tecnologico e funzionale. Nel far questo si potrà ambire ad una serie di obiettivi primari, correlati da alcuni sviluppi complementari.

Lo scopo primario sarà perciò quello di comprendere appieno il comportamento tecnologico sistemico, sia globalmente che in tutte le sue parti. Visto che ci si trova a misurarsi con tipologie composite che presentano varianti e stratificazioni più o meno complesse, e alcuni punti critici, sarà necessario mettere in luce i materiali che compongono le varie strutture e sottosistemi, il contestuale funzionamento, le variabili che possono entrare in gioco o essere adottate di volta in volta, gli eventuali nodi problematici. Definire quindi quali siano le peculiarità per evidenziarne le criticità, al fine di mettere in gioco azioni volte al superamento delle patologie individuate.

Ciò conduce, relativamente agli studi che verranno attuati per raggiungere i suddetti obiettivi, ad un sottogruppo di ulteriori finalità collaterali – ma altrettanto interessanti – utili a contestualizzare il

¹⁸ Cfr. capitolo VII

¹⁹ Informazione desunta in data 09/06/2010 da <http://www.professionearchitetto.it>

problema scientifico. Durante le attività di ricerca verranno trattati, per completezza metodologica, anche molti altri aspetti che in modo più o meno marcato intersecano l'argomento.

Perciò, al momento della chiusura della Tesi di Dottorato, si potrà verosimilmente contare su una serie di altri risultati derivanti dalle varie attività di studio sul campo e schedatura intraprese, o conseguenti ai colloqui con esperti del settore, quali:

- la definizione dello stato dell'arte architettonico, e della produzione industriale caratterizzanti il tema delle pareti edilizie vegetate;
- traguardi raggiunti dalla ricerca scientifica, sia per quanto riguarda la ricerca di base che quella applicata, in merito ad argomenti quali l'efficienza energetica, la climatologia in senso lato, le potenzialità ambientali derivanti dallo sfruttamento della vegetazione naturale, la qualità urbana, ecc;
- indagini dello sviluppo storico e tecnologico nell'utilizzo della parete a verde come elemento funzionale nel progetto di architettura;
- analisi del movimento d'innovazione caratterizzante il *Verde Verticale*²⁰. La ricerca si pone anche l'obiettivo di fornire una valutazione qualitativa e quantitativa sullo stato dell'arte del fenomeno, sulla sua effettiva entità e sui fattori che ne determinano un così ampio sviluppo;
- analisi aventi lo scopo di delineare tendenze e sviluppi futuri possibili o probabili, sia in campo architettonico (progettazione, tecnologia, funzionalità) che industriale e di mercato (brevetti, sistemi, realizzazioni, progetti);
- resoconto dettagliato dei benefici climatici, acustici, percettivo-psicologici, e di conseguenza anche economici, derivanti dall'utilizzo di queste tecnologie.

Il risultato a cui si ambisce è uno strumento operativo a supporto del progettista. Vista la giovane età della tecnologia in oggetto, e il gran numero di sistemi industrializzati per l'inverdimento parietale che stanno oggi proliferando con elevata frequenza sui mercati mondiali (parallelamente però ad una scarsa conoscenza del sistema che si traduce in un carente patrimonio bibliografico o scientifico), accade che il progettista che decida di misurarsi con queste particolari soluzioni edilizie sia costretto, in modo assolutamente limitativo, a scegliere tra i sistemi offerti dall'industria senza degli adeguati strumenti culturali o tecnici che possano orientarlo nella selezione. In altre parole, è rilevabile la mancanza di un apparato conoscitivo utile a muoversi agevolmente in quella che è l'offerta tecnica e produttiva odierna; quindi, delle linee guida che supportino il professionista nella progettazione e nella selezione di adeguate soluzioni in base a precise esigenze di progetto.

Questo fa sì che oggi i progettisti – come peraltro accade spesso nel settore edilizio – optino per alcune soluzioni esclusivamente affidandosi al parametro della riuscita formale o del costo iniziale. Parametro probabilmente riduttivo, soprattutto se valutato alla luce delle attuali tendenze in ambito architettonico, che sempre più spesso si affidano a valutazioni di lungo termine, tenendo conto di quello che è l'intero ciclo di vita del manufatto. Tale limitata conoscenza si traduce in un totale affidamento dell'architetto a quelle che sono le professionalità appartenenti all'industria, sia in campo progettuale che durante le fasi di realizzazione, senza poter partecipare in modo incisivo alla gestione esecutiva dell'opera da egli stesso ideata.

²⁰ Per una spiegazione maggiormente precisa della dicitura *Verde Verticale* si rimanda al paragrafo I.5

Perciò, l'*output* che questa ricerca si prefigge di ottenere è uno strumento che possa essere di ausilio al professionista nelle fasi di progettazione architettonica, esecutiva e realizzativa di una parete a verde. Un mezzo che possa sostenere i tecnici della progettazione nella gestione delle caratteristiche e delle potenzialità architettoniche o tecnologiche del sistema; uno strumento finalizzato cioè alla piena riuscita formale definitiva, unitamente ad una razionale organizzazione e definizione tecnologica di sottosistemi, componenti, elementi ed impianti.

Tutto ciò col desiderio di mettere i progettisti nelle condizioni di governare al meglio l'attività organizzativa e gestionale di un sistema del genere, potendo mirare ad una realizzazione tecnologica che fornisca prestazioni ottimali in funzione delle caratteristiche essenziali fissate a monte. Ovviamente, considerate le peculiarità delle pareti a verde, e come dovrebbe accadere all'interno del processo edilizio contemporaneo sempre più complesso e sfaccettato, non si potrà in alcun modo prescindere da una metodologia progettuale finalizzata al lavoro *in team*. Pratica operativa che dovrà implicare, fin dalle prime fasi progettuali, una forte interazione fra il progettista architettonico, l'industria e le figure specializzate nella gestione dei vegetali.

1.4. Delimitazione del campo d'indagine

Questa ricerca è indirizzata alle tecnologie d'integrazione fra chiusure edilizie e vegetazione. All'interno di questo gruppo più ampio ci si concentrerà esclusivamente su sistemi dalle spiccate proprietà di tecnologia intrinseca e industrializzazione sistemica. Per questo, non saranno oggetto di specifica trattazione tutte quelle sperimentazioni che non offrano delle qualità fortemente innovative o di originalità rispetto a quello che già esiste²¹. Per quanto concerne la selezione dei casi di studio, sarà incentrata esclusivamente su edifici costruiti negli ultimi anni in campo internazionale, e contraddistinti da elevata qualità, innovazione e tecnologia.

Il presente studio non potrà verosimilmente contare su rilievi climatici realizzati *ad hoc*, mancando la possibilità di disporre di specifiche strumentazioni tecniche; si evidenzia quindi l'impossibilità di accedere a misurazioni per compiere degli inediti rilievi climatici. Risulterà perciò obbligato, nella fase di trattazione delle implicazioni climatologiche legate all'impiego delle *tecnologie verdi*²², basarsi esclusivamente su quello che è lo stato dell'arte scientifico-bibliografico rilevabile in letteratura.²³

Ulteriore delimitazione di campo è dovuta all'interdisciplinarietà caratterizzante i sistemi in oggetto. Visto che in essi una parte fondamentale è composta dalle piante, non si potrà esimersi dall'approfondire discipline quali botanica, agronomia, fitosociologia²⁴, ecc. Ma, trattandosi di materie autonome e fortemente specialistiche (interessate quindi da opportune figure professionali e

²¹ L'offerta industriale nazionale è, per quel che riguarda i sistemi qui analizzati, in via di forte sviluppo, e si può registrare una discreta quantità di nuovi sistemi che vedono la luce di mese in mese. Spesso però tali novità non sono molto originali: si limitano all'adozione di brevetti già esistenti e/o a loro piccolissime modifiche prima dell'immissione sul mercato.

²² La dicitura "tecnologie verdi" verrà qui utilizzata per riferirsi genericamente a tutti quei sistemi o sottosistemi edilizi che prevedano l'integrazione fra vegetazione e parti architettoniche.

²³ Cfr. capitolo VI

²⁴ La botanica è la scienza che si occupa di studiare e classificare i vegetali. L'agronomia è incentrata sulla coltivazione razionale delle piante, concentrandosi specificamente sull'assetto e lo sfruttamento più redditizi del terreno agricolo. La fitosociologia è la disciplina che indaga le modalità di convivenza delle specie vegetali, e la loro dinamica di successione e variazione all'interno di un appezzamento terriero.

scientifiche), tali tematiche verranno trattate esclusivamente come spunto culturale di base, senza rappresentare uno degli obiettivi fondanti e di approfondimento della ricerca.²⁵

I.5. Parole chiave

Si procede all'elencazione delle parole chiave selezionate per questa ricerca. Parole chiave che avranno il compito di descrivere e rendere maggiormente visibile, nei vari *database* cartacei o digitali, i contenuti ed il campo di applicazione specifico dello studio. Ma si intende anche, in questo caso, caricare le seguenti *keywords* di un compito ulteriore, e cioè quello di illustrare quale sia stato l'iter evolutivo e concettuale del lavoro. Tutte le *parole* individuate verranno perciò brevemente descritte, per esplicitare quali siano stati gli assunti alla base della loro selezione.

Involucro a Verde [Green Envelope]

L'accezione contemporanea del concetto di *involucro architettonico* è contraddistinta da uno sviluppo talmente velocizzato che il senso di tale locuzione sta venendo sempre più incaricato di contenere una molteplicità di significati, ed interagire con una varietà di fattori che superano quelle funzioni e requisiti che la normativa UNI inquadra all'interno della *Classe di unità tecnologica* delle *Chiusure*²⁶. In funzione di ciò, rimarcando la possibilità di ottenere innovative proprietà tecnologiche in funzione delle specificità intrinseche dei sistemi qui analizzati, la prima definizione utilizzata per circoscrivere la presente ricerca è quella di Involucro a Verde. Si è optato perciò, per l'utilizzo in prima battuta di un concetto maggiormente generico, che possa evidenziare le peculiarità sia tecniche che architettoniche della tecnologia studiata.

Involucro a Verde è forse la definizione che meglio incarna il connubio fra tecnologia – *chiusura verticale* secondo la definizione fornita dalla normativa UNI – e composizione architettonica – che solitamente tende ad esprimersi con termini come pelle edilizia, parete esterna, o facciata, al fine di porre l'accento sulle molteplici valenze e declinazioni caratterizzanti la risultante formale delle chiusure edilizie in funzione delle proprietà che esse permettono. La complessità di fattori complementari rappresentata dalla progettazione di un involucro architettonico è contraddistinta dal fatto che esso «diventa una questione di *pelle* quando a prevalere è l'interesse verso l'immagine architettonica (proiezione di un'identità formale e materica); di combinazione di strati quando a prendere il sopravvento è la ricerca della prestazione; di prodotto – o di componente – se è l'innovazione a dominare.»²⁷

Nel caso delle tecnologie *del verde* in architettura, ancora di più ha senso utilizzare, a questo livello ancora generale dello studio, una definizione (quella appunto di involucro) che metta in evidenza la stretta relazione evolutiva intercorrente tra la chiusura verticale vegetata (tema specifico di

²⁵ Cfr. capitolo IV

²⁶ L'UNI è l'*Ente Italiano di Unificazione*. La definizione riportata è contenuta all'interno della norma UNI 8290-1:1981, denominata *Edilizia residenziale – Sistema Tecnologico – Classificazione e terminologia*.

²⁷ POLI, TIZIANA, "Sottosistema in evoluzione", in *bibl.*, p.110

ricerca) e la copertura a verde: quest'ultima incarna la matrice culturale e tecnologica che ha permesso un approdo della vegetazione anche alle superfici verticali²⁸.

Un discorso a parte merita l'uso della parola "verde" per indicare le piante. Tale vocabolo, anche se linguisticamente non corretto per descrivere la vegetazione naturale²⁹, ha assunto col tempo, in Italia e non solo, il significato di *vegetazione naturale in ambito architettonico*. Questo perché correntemente, per i piani regolatori o nelle zonizzazioni, la superficie naturale che per legge deve essere riservata alla vegetazione, viene indicata con la dicitura di «verde urbano». Tale espressione ha portato di conseguenza a definire coperture o pareti *a verde* quelle strutture edilizie orizzontali, inclinate o verticali che presentino integrazione fra superfici edilizie e specie vegetali. Per tali motivi è possibile affermare che il termine *verde* ad indicare la vegetazione naturale in ambito architettonico sia stato definitivamente accettato, e considerarlo, a tutti gli effetti, un suo sinonimo.

Condizionamento Microclimatico Passivo [Microclimate Passive Conditioning]

Una delle qualità più interessanti delle tecnologie d'inverdimento è quella di poter fornire un'apprezzabile azione *attiva* in funzione delle caratteristiche fisiologiche delle piante che ospitano. Possibilità intrinseche dei vegetali che si traducono, come dimostrato nel prosieguo della ricerca, in numerosi benefici ambientali non solo nei confronti dell'edificio o dello spazio interno direttamente interessato dalle chiusure vegetate, ma anche verso l'ambiente esterno sul quale insistono. Tale tipologia tecnologica è una delle poche che possono apportare un beneficio *bidirezionale* del genere³⁰.

Azione attiva, peraltro, esercitata in modo totalmente passivo, e cioè senza l'esigenza che vi sia un impulso artificiale di qualsiasi genere ad innescarla. È in tale accezione che andrà qui considerato il sostantivo "condizionamento".

La parola microclimatico va invece interpretata, in questo specifico contesto narrativo, mediante un significato esteso. Le vengono perciò associate non solo valenze legate a tematiche quali l'energetica o la termo-igrometria, ma si considerano afferenti al microclima anche quelle potenzialità legate all'ambiente sonoro (come ad esempio le caratteristiche di mitigazione acustica fornite dall'azione sinergica fra vegetazione e involucri edilizi), percettivo-psicologico, e della qualità urbana in senso lato.

²⁸ Cfr. capitolo II

²⁹ Tale dicitura è una forzatura linguistica: il verde è un colore.

³⁰ Si precisa che anche i materiali fotocatalitici, grazie alle proprie specifiche caratteristiche, svolgono un ruolo attivo nei confronti dell'atmosfera; come anche le superfici edilizie che presentano un basso albedo contribuiscono a surriscaldare l'aria esterna in modo minore rispetto ad altre.

Verde Verticale [*Green Walls*]

La locuzione Verde Verticale è la più utilizzata in Italia³¹ per descrivere il fenomeno oggetto di ricerca. La si adopera estesamente per indicare la sommatoria delle numerose tecnologie che prevedono integrazione fra parete edilizia e vegetazione naturale, come rivestimenti a verde, muri vegetali, facciate vegetate, orti verticali, ecc. Il medesimo fatto accade in campo internazionale con il suo corrispettivo inglese, ossia la dicitura *green walls*: tale gruppo sottende una serie di diverse tipologie tecnologiche, a traduzione dei sopraccitati tipi (come *green façades*, *living walls*, ecc.), portatori di significati più specifici e maggiormente differenziati.

Tale significato generico è però, probabilmente, un punto di forza. Permette di contenere sotto un'unica definizione un alto numero di varianti diverse ma fortemente connesse che solitamente, vista l'indeterminatezza tecnologica caratterizzante il tema oggetto di studio, interessano in modi diversificati e a differenti livelli gli studiosi. Si è optato perciò per adottare la parola chiave Verde Verticale, con l'obiettivo di inserire questa ricerca in un contesto caratterizzato dalla più ampia visibilità possibile.

Chiusura Funzionalizzata [*Functionalized Building Wall*]

Locuzione che permette di entrare maggiormente all'interno dell'oggetto tecnologico specificamente indagato, ossia quello che le norme UNI chiamano *Chiusura*. «Si definisce chiusura l'insieme delle unità tecnologiche e degli elementi del sistema edilizio aventi funzione di separare e di conformare gli spazi interni del sistema edilizio stesso rispetto all'esterno»³²: la chiusura edilizia rappresenta perciò un elemento di separazione fra due sistemi ambientali, uno interno e l'altro esterno. In base alla classificazione funzionale del *Sistema Tecnologico* fornita dalla stessa norma, la *Classe di unità tecnologica* delle Chiusure (comprendente cioè sia le pareti esterne che tetti e coperture) contiene la specifica *Unità tecnologica* delle Chiusure Verticali, ossia proprio quelle interessate da questa ricerca.

Il termine *funzionalizzata* è invece uno di quelli maggiormente importanti, se rapportato agli obiettivi del presente lavoro. Infatti, la possibilità d'integrazione fra natura e parete edilizia è stata storicamente considerata, almeno per quanto riguarda l'ultimo secolo, esclusivamente per le sue caratteristiche formali ed ornamentali (da qui la definizione molto usata, negli ultimi due decenni, di "giardino verticale"); mentre, come illustrato nei capitoli VI e VII della presente, acquistano grande interesse le caratteristiche funzionali che possono essere relegate a questa specifica tecnologia, conseguentemente al contributo attivo che la vegetazione può garantire in forza delle proprie peculiarità fisiologiche.

³¹ Anche la dicitura *parete verde* viene spesso impiegata all'interno dei confini nazionali, rivelandosi peraltro abbastanza pertinente ed esplicativa: la locuzione "parete verde" è sufficientemente generica da poter comprendere tutte le sfaccettature e declinazioni tipiche di un argomento in forte sviluppo come quello qui descritto; la parola "verde" indica la presenza di vegetazione; mentre il vocabolo "parete" sottende inequivocabilmente il concetto di verticalità. Si è però deciso di escluderla dalle parole chiave della ricerca a causa dell'ambiguità di significato del termine *parete*: essa non è ascrivibile esclusivamente alle discipline che hanno a che fare con l'architettura.

³² UNI 8290-1:1981

Rinaturalizzazione Urbana [*Urban Renaturalization*]

La carenza di spazi verdi nelle conurbazioni contemporanee è sempre più evidente, specialmente in quegli agglomerati urbani caratterizzati da un assetto di tipo metropolitano. Tale scarsità è direttamente proporzionale a criticità ambientali quali l'inquinamento dell'aria, il fenomeno dell'isola di calore, il problema nella gestione dell'acqua meteorica, la perdita di biodiversità: questioni quindi rapportabili anche alla progressiva scomparsa della vegetazione. La possibilità dell'integrazione vegetale alle superfici edilizie verticali potrebbe perciò assumere un ruolo fondamentale per quelle conurbazioni che palesano una mancanza di spazi naturali all'interno del tessuto cittadino (si pensi ad esempio al caso di Milano, tanto per rimanere all'interno dei confini nazionali).

Pienamente consci del fatto che, comunque, tale possibilità sia da considerarsi un'opzione estrema di cui avvalersi in casi dove non si possa agire altrimenti – ovviamente non si ha la pretesa di proporre il verde parietale in sostituzione di spazi verdi fruibili –, la si considera comunque una possibilità apprezzabile per quei tessuti urbani consolidati, dove sia impossibile prevedere nuovi parchi pubblici o superfici verdi. Si ritiene perciò che la tecnologia dell'inverdimento parietale, assieme a quella più consolidata e maggiormente performante in tal senso della copertura a verde, possa fornire un'opzione da non sottovalutare.

Sostenibilità [*Environmental Sustainability*]

Quello della sostenibilità sembra essere l'obiettivo imperante della cultura architettonica contemporanea. Un paradigma operativo con il quale l'architettura, e tutte le discipline che la compongono, devono confrontarsi. Si è deciso di inserire tale concetto tra le parole chiave della ricerca per rimarcare le potenzialità sociali, climatiche ed ecologiche che un oculato impiego delle tecnologie per l'integrazione fra chiusura edilizia e vegetazione potrebbero offrire.

Il concetto di sostenibilità viene dunque considerato in questa sede secondo il suo significato più esteso, e dalle valenze pluridisciplinari. Troppo spesso, infatti, tale questione viene interpretata esclusivamente con le azioni che si rendono necessarie, in campo edilizio e architettonico, per mirare all'efficienza energetica di un manufatto. Mentre, invece, si ritiene che tale paradigma debba sottendere una serie molto maggiore di significati ed obiettivi, in parte già espressi in modo generale (comfort degli utenti, qualità ambientale, ecologia, ecc.) ed in parte declinati nel prosieguo della trattazione.

A tali finalità possono contribuire in modo efficace le tecnologie qui studiate; ma potranno farlo solo in conseguenza di un loro impiego pertinente e mirato, e che ne consideri profondamente le potenzialità, con l'obiettivo di uno sviluppo che veramente sia *sostenibile*.

I.6. Riferimenti metodologici

Questa ricerca, in forza dei motivi espressi in precedenza, è caratterizzata da uno stampo operativo interdisciplinare, ed è stata condotta concentrandosi principalmente nei confronti di tre materie come l'architettura, la tecnica industriale, e le discipline miranti alla comprensione dei sistemi vegetali. Lo

studio si è sviluppato attraverso alcune fasi, che possono essere riassunte nel modo di seguito riportato.

Nella parte iniziale della Tesi si è svolta una classificazione delle tipologie di pareti a verde esistenti e dello stato dell'arte raggiunto da tale particolare tecnologia. Questa sezione del lavoro è stata eseguita primariamente mediante uno studio bibliografico di testi e ricerche affini, di progetti, edifici, materiali, tecnologie tipicamente utilizzate nella realizzazione e brevetti industriali, con lo scopo di inquadrare le possibilità tecniche raggiungibili mediante tali sistemi. Durante questa prima fase si è provveduto ad allacciare una serie di rapporti con tecnici e referenti del settore botanico e agronomico, della progettazione architettonica, della produzione di materiali o componenti, e con associazioni specializzate nei vari comparti caratterizzanti tali tematiche, allo scopo di interagire, durante i vari stadi di ricerca, con una massa critica di persone esperte e specializzate.

Nel prosieguo del lavoro, identificabile con una seconda fase, ci si è maggiormente concentrati verso casi concreti ed applicazioni, mediante lo studio sul campo di realizzazioni e sistemi industriali esistenti. Tale sezione della ricerca è stata eseguita mediante valutazioni tecniche corredate dallo studio di disegni architettonici, particolari costruttivi e casi studio, aventi l'obiettivo di giungere ad una valutazione comparativa delle caratteristiche tecnologiche e qualitative dei sistemi e dei manufatti esaminati.

L'apparato critico di valutazione ed approccio al tema, le schedature di realizzazioni, progetti e sistemi industrializzati, l'elaborazione dei dati acquisiti, la scrittura testuale e la verifica dei risultati, sono state le attività che hanno contraddistinto la parte conclusiva del percorso di studio.

I.7. Target di riferimento

Le figure professionali che potrebbero essere interessate dal presente lavoro fanno sostanzialmente capo a tre categorie. Categorie che in virtù delle loro mansioni, saranno coinvolte a vario titolo e mediante diversificati livelli di interesse.

Questa ricerca, come definito anche all'interno del paragrafo intitolato *Obiettivi e risultati attesi*, è destinata primariamente a coloro che si occupano di progettazione. Architetti e tecnici della progettazione alle varie scale sono i destinatari privilegiati del presente lavoro, che mira a fornire loro uno strumento teorico-pratico di approccio e conoscenza alle problematiche legate al Verde Verticale, equipaggiandoli dei mezzi operativi per un'ottimale riuscita tecnica e formale del progetto.

Anche amministratori locali ed enti pubblici potrebbero trovare utile questo studio, specialmente nelle sezioni dedicate al beneficio ambientale conseguente all'introduzione di spazi ed elementi vegetali all'interno del tessuto urbano. Inoltre, i paragrafi in cui sono stati presentati alcuni regolamenti locali virtuosi, che già da tempo prescrivono o premiano l'utilizzo di sistemi vegetali applicati all'edilizia con l'obiettivo di migliorare le qualità e il comfort urbano alle varie scale e secondo diversificati obiettivi, potrebbero essere un riferimento operativo finalizzato ad enti e municipalità che intendano puntare sul miglioramento ambientale.

Ulteriore settore che potrebbe usufruirne è quello produttivo. Nell'ottica dell'attuale mercato edilizio fortemente concorrenziale, che punta molto sulla competizione e sulla velocità, potrebbe essere proficuo, per le imprese che operano in settori vicini a quello dell'integrazione fra involucro e vegetazione, uno strumento che evidenzia lo stato dell'arte produttivo. Considerare l'*output* di questa

ricerca come una sorta di rassegna critica delle più interessanti sperimentazioni e produzioni industriali, si rivelerebbe uno strumento del quale tali imprese potrebbero beneficiare.

I.8. Struttura della ricerca

Il testo è strutturato in quattro parti e si compone complessivamente di otto capitoli. La prima sezione dello scritto è introduttiva, comprende i primi due capitoli ed avrà l'obiettivo di gettare le basi per la completa comprensione degli argomenti trattati.

Il capitolo I introduce all'argomento: presenta sostanzialmente gli obiettivi e la metodologia, indicando specificamente come si intende operare e mirando a quali risultati. Il secondo capitolo illustrerà lo sviluppo storico e tecnico caratterizzante le tecnologie per la realizzazione di pareti vegetate, prendendo in considerazione anche quelli che sono stati gli elementi archetipi, morfologici e tecnici che hanno contribuito allo sviluppo dei sistemi oggetto di studio.

La parte centrale della ricerca è incentrata sulle tecnologie per l'inverdimento parietale. Essa si compone dei capitoli III e V, e tratta tematiche quali i sistemi di rivestimento vegetale, il brevetto *Mur Vegetal* di Patrick Blanc – ossia la vera invenzione che ha dato visibilità ed attenzione planetaria alla riscoperta delle pareti a verde –, la nascita della chiusura verticale vegetata, la successiva industrializzazione globale del sistema, fino al continuo fiorire contemporaneo di ulteriori e diversi sistemi industrializzati. Il tutto evidenziando quello che è lo stato dell'arte tecnologico e progettuale odierno, ponendo l'accento sugli sviluppi in atto nel breve/medio periodo.

Una sezione della ricerca è destinata ad accogliere quelle identificate come “conoscenze complementari”, con la finalità di fornire supporto alla piena comprensione di alcune argomentazioni che presentino uno stampo meno incentrato sull'architettura. I capitoli IV e VI riguardano perciò i saperi fondamentali a comprendere e qualificare, sotto l'ottica sia della sostenibilità ambientale che del funzionamento vegetale, i sistemi in oggetto. Vista la forte interdisciplinarietà caratterizzante tali tipologie (seppur, nei limiti ed obiettivi della ricerca si sia espressa la volontà di caratterizzare questo studio sotto l'aspetto prettamente tecnologico), non si potrà esimersi dal dedicare spazio alle materie incentrate sullo studio dei vegetali. Discipline complesse, destinate ad essere trattate da figure specialistiche: sarà però necessario almeno introdurle, per comprendere quali siano le modalità tipiche di vita e di sviluppo di una pianta.

Lo stesso discorso vale per i *Vantaggi microclimatici derivanti dall'impiego della vegetazione in architettura*, esplicitati nel sesto capitolo. In quella sede verranno messi in luce, appoggiandosi a quello che è lo stato dell'arte della ricerca scientifica, i benefici globali (e quindi interessanti una grande varietà di aspetti che vanno dalla climatologia, all'acustica, alla qualità urbana e ambientale, al comfort psicofisico delle persone) conseguenti al mirato utilizzo di particolari sistemi fisici quali sono le piante.

La parte finale del lavoro consiste negli ultimi due capitoli. Sarà destinata ad evidenziare gli sviluppi più recenti del sistema tecnologico *chiusura verticale vegetata*, nel tentativo di delineare le possibili evoluzioni della tecnologia analizzata, unitamente alla messa in luce dei caratteri distintivi che governano tali sistemi che solo adesso iniziano a maturare, e le loro prospettive globali di sviluppo.

La ricerca si conclude col bilancio dell'attività svolta. Un capitolo dove si evidenziano i risultati raggiunti e la loro eventuale rispondenza agli obiettivi preposti. I paragrafi finali dell'ottavo capitolo

saranno dedicati ad illustrare alcuni possibili sviluppi scientifici e di ricerca che, partendo dalle basi gettate dal presente studio, possano portare ad ulteriori sviluppi.

I.9. Fonti di riferimento

In questo ultimo paragrafo verranno citati i riferimenti sia bibliografici che derivanti dalla consultazione di pagine *web*, utilizzati nella redazione del capitolo. Tutti i titoli qui segnalati saranno riportati anche nella *Bibliografia e sitografia generale*, reperibile nelle pagine finali della ricerca.

I.9.1. Bibliografia tematica

1. AA.VV., 2009 *L'anno del cemento – Dossier sul consumo del suolo in Italia*, documento on-line tratto da <http://www.wwf.it>, pp.65
2. BERDINI, PAOLO, *Il consumo di suolo in Italia: 1995-2006*, documento on-line tratto da <http://eddyburg.it>, pp.9
3. BLANC, PATRICK, *Le mur vegetal – De la nature a la ville*, Neully sur Seine, Editions Michel Lafone, 2008, pp.191
4. ENEA, *Rapporto energia e ambiente 2007 – Analisi e scenari*, Roma, ENEA, 2008, pp.80
5. MATTEOLI, LORENZO, “Il disagio”, pp.128-136, in SINOPOLI, NICOLA, TATANO, VALERIA (a cura di), *Sulle tracce dell'innovazione – Tra tecniche e architettura*, Milano, Franco Angeli, 2002
6. POLI, TIZIANA, “Sottosistema in evoluzione”, *Arketipo*, n.21, marzo 2008, pp.110-111
7. SCUDO, GIANNI, “Introduzione”, pp.IX-X, in BELLOMO, ANTONELLA, *Pareti verdi – Linee guida alla progettazione*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2003

I.9.2. Sitografia tematica³³

- <http://www.enea.it>

Sito web dell'*Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile*.

- <http://www.stopalconsumoditerritorio.it>

Movimento nazionale *Stop al consumo di territorio*, che si occupa di fornire spunti critici ed azioni concrete volte alla sensibilizzazione dell'opinione pubblica, rispetto a politiche di urbanizzazione ed utilizzo del suolo sostenibili e rispettosi dell'ecosistema.

- <http://www.iup.uni-heidelberg.de>

Istituto di Fisica Ambientale dell'Università di Heidelberg in Germania.

³³ Ultima visita ai siti web di seguito citati: lunedì 14 febbraio 2011.

- <http://www.wwf.it>

Pagina italiana del WWF, associazione mondiale che ha come obiettivo quello di «costruire un mondo in cui l'uomo possa vivere in armonia con la natura».

- <http://www.worldexpo2015.it>

Sito ufficiale dell'Expo Milano 2015. «L'Expo è un'Esposizione Universale di natura non commerciale [...] organizzata dallo Stato vincitore di una gara di candidatura, e prevede la partecipazione di altri Stati invitati dal Paese ospitante, tramite canali diplomatici.»

- <http://www.naturecapitale.com>

Sito web della manifestazione *Nature Capitale* svoltasi a Parigi nel maggio del 2010.

- <http://www.guerrillagardening.it>

Movimento che «si oppone attivamente al degrado urbano agendo contro l'incuria delle aree verdi. L'attività principale del gruppo è quella di rimodellare ed abbellire, con piante e fiori, le aiuole e le zone dimesse o dimenticate della città.»

- <http://www.professionearchitetto.it>

Sito web informativo dedicato a chi si occupa in modo professionale di progettazione architettonica.

- <http://eddyburg.it>

Eddyburg.it è un «sito web non legato ad alcuna struttura o gruppo o istituzione [...]. Si occupa di urbanistica, società, politica (*urbs, civitas, polis*) e di argomenti che rendono bella, interessante e piacevole la vita».



II. Sviluppo storico nello sfruttamento vegetale come elemento di progetto

Obiiettivo del capitolo sarà dimostrare come la *parete a verde* sia riscontrabile fin da tempi lontani, mediante diversificate forme e funzioni, all'interno della storia dell'architettura e quali siano le sue matrici formali e tecnologiche. Dalla semplice presenza di piante rampicanti che spontaneamente potevano proliferare su superfici verticali si assistette in seguito all'intuizione da parte dell'essere umano delle potenzialità architettoniche e funzionali legate ad uno sviluppo di questa tipologia. Di conseguenza anche le modalità e le operazioni per la "messa in opera" della vegetazione si sono storicamente evolute e differenziate, affinandosi col procedere del tempo.

All'interno di questa sezione della ricerca si procederà ad una trattazione critica e mediante esempi di alcune opere architettoniche significative che integrino al loro interno, mediante diversificate modalità, uno sviluppo verticale delle piante. La volontà è quella di ripercorrere i momenti della storia delle costruzioni maggiormente interessanti per gli obiettivi della presente ricerca, mirando alla redazione di un quadro generale che evidenzi i più importanti passaggi che abbiano caratterizzato lo sviluppo della tecnologia oggetto di studio. Il capitolo non avrà la pretesa di assoluta completezza storica, ma mirerà semmai a produrre un apparato conoscitivo adeguatamente rappresentativo ed organizzato degli stadi evolutivi caratterizzanti l'inverdimento parietale. Particolare attenzione sarà riservata al XX secolo ed alle principali sperimentazioni che lo hanno caratterizzato.

II.1. La natura come elemento basilare della costruzione

I passaggi evolutivi che hanno portato l'essere umano ad affinare la propria *ars aedificatoria* partono da lontano. I nostri antenati, di pari passo con l'aumentare della propria coscienza di sé, si sono anche costantemente misurati nella ricerca di sistemi costruttivi e tecnologie man mano sempre più raffinate ed evolute. Ricerca costruttiva che comunque, come oggi ancora accade, attinge a piene mani dagli elementi della natura per la realizzazione dell'edilizia, sia sotto l'aspetto materico che archetipico.

La casa è un rifugio. L'essere umano inizialmente occupava le caverne e vi trovava riparo, abitando di fatto il terreno naturale. Dopodiché, con l'avvicendamento delle epoche storiche egli è uscito da tale sorta di rifugi improvvisati, ed ha iniziato ad operare l'edificazione di architetture autonome, che comunque continuavano ad impiegare elementi naturali più o meno raffinati per la realizzazione di edifici sempre più evoluti. Il fatto che dopo tutti questi secoli di storia delle costruzioni l'uomo continui ancora ad impiegare largamente elementi reperibili in natura per la realizzazione dei propri manufatti può essere valutato come l'evoluzione contemporanea dei primordiali rifugi improvvisati precedentemente citati.

L'utilizzo di elementi di derivazione naturale per la costruzione di manufatti architettonici è riconducibile a due fattori. In *primis* la necessità legata all'urgenza di reperire parti ed elementi per un loro pronto impiego nella risoluzione di determinate problematiche a cui porre risposta nel più breve tempo possibile; in secondo luogo, come diretta conseguenza del riconoscimento di precise caratteristiche fisiche e materiche che detti elementi naturali possono garantire qualora impiegati con pertinenza (ad es. resistenza agli agenti atmosferici, caratteristiche di isolamento ed inerzia termica, protezione dagli attacchi di animali, ecc): il risultato è quindi l'impiego strategico degli elementi

¹ L'immagine della pagina precedente raffigura un edificio tradizionale nella città islandese di Rangarvallasysla. (Autore: Hugi Olafson. Fonte: http://farm4.static.flickr.com/3485/3841249190_f17b5ff23e_o.jpg)

reperibili in natura come base di partenza per qualsiasi attività volta all'edificazione. In base a tale assunto, l'edificio contemporaneo potrebbe essere visto come l'evoluzione storico-tecnologica e semantica del rifugio naturale dei nostri antenati. Un riparo naturale che, impiegando alcune componenti materiche di derivazione naturale le modifica fino a farle proprie e metterle in opera sottoforma di manufatti architettonici².



Fig.II.1 – A sinistra: foto della città di Zelve, nella regione turca della Cappadocia. Si tratta di un antico villaggio rupestre scavato nella roccia. (Fonte: Alberto Taviani)

Fig.II.2 – A destra: cappella sepolcrale del periodo Mesolitico, risalente al 3000 a.C. L'edificio si trova in Galles ed è stato costruito mediante movimentazione e riporto di massi e terreno naturale. Si noti la similitudine formale con l'edificio contemporaneo riportato in Fig.VII.17 all'interno del settimo capitolo. (Fonte: <http://www.walesdirectory.co.uk>)

L'esempio – storico e contemporaneo – probabilmente più corretto per la descrizione dell'impiego di un elemento naturale per la realizzazione di edifici (rifugi) adatti ad essere abitati dall'essere umano è probabilmente quello della copertura a verde, in quanto esso riproduce figurativamente un elemento naturale ma solo dopo averne modificato le proprie caratteristiche mediante l'esperienza e l'ingegno. Esso può esemplificare quanto detto grazie soprattutto a due questioni: la copertura intesa come *tetto* sulla testa dell'uomo è il primo elemento di riparo, quello che gli consente di espletare la primaria tra tutte le caratteristiche di protezione richieste, ossia quella dagli agenti atmosferici. Secondariamente, in quanto un tetto verde può essere visto e valutato come il simbolo dell'evoluzione storica della caverna. Ossia, prendendo il esame il percorso nei secoli dimostrato dagli stadi evolutivi consistenti nel passaggio dalla vita nelle caverne³, passando per quello rappresentato da edifici più o meno ipogei sempre più raffinati dal punto di vista costruttivo e delle funzionalità espletate dagli involucri inverditi (Fig.II.1 e Fig.II.2), verso la moderna accezione di copertura a verde come elemento di chiusura altamente tecnologizzato e rispondente a specifiche

² Si specifica che, comunque, l'uomo ha sempre largamente impiegato gli elementi reperiti in natura come base dell'edificazione: si pensi alle case in terra o in legno, ai mattoni di argilla cotta, alla produzione della calce, ecc. Inoltre gli elementi naturali hanno anche svolto il ruolo di matrice figurativa nella composizione architettonica, come ad esempio accade con le opere di maestri quali Antoni Gaudì, Santiago Calatrava o le sperimentazioni dell'architettura organica.

³ Dalla semplice occupazione di caverne col fine di difendersi dalle intemperie e dagli animali, l'uomo è passato col tempo alla vera e propria vita residenziale all'interno degli anfratti rocciosi, adattandoli alle proprie esigenze anche con vere e proprie opere edili. Esempi di tale modalità abitativa sono i Sassi di Matera, i villaggi della valle del Torricoda in Sicilia, o i villaggi rupestri della Cappadocia in Turchia.

sollecitazioni ambientali ed edilizie grazie alla complessa stratigrafia che lo compone, esso può essere pienamente indicato come la risultante evoluzionistica della succitata caverna primordiale. Inoltre, dal punto di vista semantico, l'operazione di creare un'architettura all'interno del terreno, o utilizzando gli strati superiori della crosta terrestre per realizzare un sistema di copertura, potrebbe benissimo essere vista come l'atto di sollevare una parte di terreno naturale per utilizzarlo come riparo. Questione ricorrente nella storia dell'edificazione e che, peraltro, ritorna oggi con prepotenza alla luce dei dettami della sostenibilità nelle costruzioni, richiedenti con forza un approccio il più ecologico possibile nella realizzazione di manufatti architettonici.



Fig.II.3 – A sinistra: ricovero attrezzi nella campagna danese. È qui ben rappresentata l'idea di “sollevare” una porzione di terreno naturale per inserirvi delle funzioni architettoniche al di sotto. Tutte le chiusure dell'edificio sono inverdite, ed alcune di esse tendendo quasi alla verticalità. (Fonte: Siegfried Camana)

Fig.II.4 – A destra: rifugio aborigeno in Australia del nord. Anche questa edificazione temporanea è realizzata tramite la stessa strategia della foto precedente. (Fonte: WINES, JAMES, *Green architecture*, in bibl., p.226)

Nei citati passaggi evolutivi, rappresentati dal passaggio dalla vita nelle caverne alla realizzazione di edifici ipogei volti allo sfruttamento delle svariate caratteristiche benefiche offerte dalla presenza del terreno naturale, fino alla odierna accezione della copertura a verde, si inserisce lo specifico tema di questa ricerca, ossia la chiusura verticale vegetata. Essa infatti, se valutata con gli occhi della Tecnologia dell'Architettura, può essere considerata – come si vedrà nei successivi paragrafi di questo stesso capitolo – figlia delle tecnologie per la realizzazione di coperture a verde (Fig.II.3 e Fig.II.4).

II.2. La commistione tra natura e architettura nell'edilizia spontanea e vernacolare verso la verticalizzazione vegetale

Se inizialmente l'uomo impiegava per necessità ed a fini costruttivi gli elementi reperibili in natura, egli comprende ben presto che tali materie possono comunque offrire una serie di molteplici vantaggi che vanno dall'estetica, alla bioclimatica, alle possibilità funzionali. Ad un certo punto dello sviluppo storico dell'arte del costruire l'essere umano inizia, in base all'esperienza accumulata nei secoli, ad utilizzare

strategicamente la materia con cognizione di causa e perizia, in modo da metterne in opera opportuni impieghi in base alle esigenze di progetto. Esigenze progettuali che possono essere classificate in tre differenti categorie, ossia estetiche, funzionali e bioclimatiche.

Lo sfruttamento strategico della vegetazione all'interno del progetto architettonico può essere suddiviso tra due sistemi tecnologici differenti, tetto e parete, ma che continuamente si intersecano per tutto il loro sviluppo storico fino ai giorni nostri. Sistemi tecnologici direttamente consequenziali, sia sotto l'aspetto formale che tecnologico, come si vedrà nel prosieguo del capitolo.

Una realizzazione architettonica celeberrima ed universalmente riconosciuta è quella della città di Babilonia (VI sec. a.C.), famosa soprattutto grazie ai suoi terrazzamenti e giardini pensili che ne procuravano l'immagine di una montagna verde⁴. Essa è la prima opera che si ricordi ospitare questa particolare tecnologia – diretta derivazione delle precedentemente citate architetture ipogee – e che dimostra una forte innovazione nell'impiego tecnologico all'interno del campo architettonico, richiedendo essa uno sviluppo di tecniche atte ad ospitare grandi volumi di terreno e specie vegetali, ovvero ad assicurare irrigazione e drenaggio ad un sistema vegetale molto complesso e di grandi dimensioni. I giardini pensili babilonesi sono un esempio dell'utilizzo delle tecnologie verdi a fini estetici e formali, seppur si possano a loro ricondurre anche tutta una serie di funzioni bioclimatiche e funzionali (attenuazione delle temperature, possibilità di usufruire di nuovi spazi vegetati, ecc). Si sono poi succedute nella storia svariate altre architetture, altrettanto famose, che abbiano ospitato dei sistemi a giardini pensili, come ad es. alcuni monumenti Etruschi (IV sec. a.C.), la villa di Adriano a Tivoli (RM) o, successivamente, villa Medici a Fiesole in provincia di Firenze.

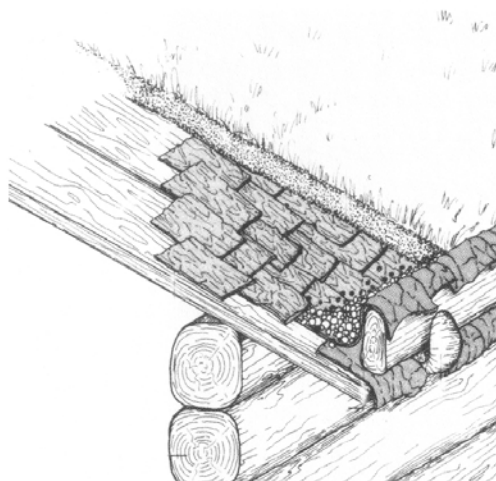


Fig.II.5 – A sinistra. Casa svedese tradizionale: la copertura a verde è realizzata mediante una stratigrafia composta; la parte sottostante all'inverdimento è formata da tavole di legno e strati di corteccia di betulla: le proprietà di tale particolare corteccia rendono impermeabile il sistema. (Fonte: http://farm3.static.flickr.com/2426/3889648857_1e22d69ba2_o.jpg).

Fig.II.6 – A destra. Schema tecnologico della stratigrafia di copertura nelle case scandinave tradizionali. Si noti la corteccia di betulla interposta tra tavolato e substrato. (Fonte: DUNNETT, NIGEL, KINGSBURY, NOEL, *Planting Green Roofs and Living Walls*, in bibl., p.14)

⁴ Come citato all'interno delle *Antichità Giudaiche*, X, pp.226-230. Cfr. ABRAM, PAOLO, *Giardini pensili – Coperture a verde e gestione delle acque meteoriche*, in bibl., p.8

Anche la componente funzionale del verde pensile è largamente impiegata nella storia delle costruzioni, ad iniziare dal medioevo e soprattutto per quanto concerne l'attività di protezione bellica. I giardini pensili, infatti, grazie ai loro consistenti substrati che potevano anche vantare qualche metro di spessore, venivano impiegati nelle cinte murarie urbane e nelle mura difensive di città grazie alla loro capacità di attutire i colpi di cannone: una cannonata che colpisce una muratura di pietre o mattoni provoca dei danni ben più gravi di una che colpisca gli strati morbidi del substrato organico di un giardino pensile.

Ulteriore impiego, sicuramente quello che più si avvicina alle richieste essenziali della contemporaneità, è quello dell'utilizzo di tecnologie a verde pensile in funzione della riposta bioclimatica che esse possono garantire. L'impiego mirato di una copertura – o di un involucro – a verde, per sfruttarne le caratteristiche di mitigazione microclimatica⁵ è anch'essa riscontrabile da lungo tempo, soprattutto nei paesi del nord Europa (Fig.II.5).

Infatti, in quei contesti le abitazioni vengono storicamente ricoperte con zolle di terra e vegetazione, «per favorire la maggiore coibentazione dell'edificio e per permettere che la neve non si accumulasse sul tetto causandone la rottura»⁶. Similare strategia che però ne amplifica le caratteristiche globali di efficienza energetica è quella delle case tradizionali islandesi risalenti soprattutto all'epoca vichinga: in quel caso si tendeva ad inverdire la maggior percentuale possibile delle chiusure edilizie, con l'obiettivo di massimizzare gli effetti bioclimatici apportati da substrati e vegetazione in un contesto climatico avverso come quello dell'Islanda (Fig.II.7).

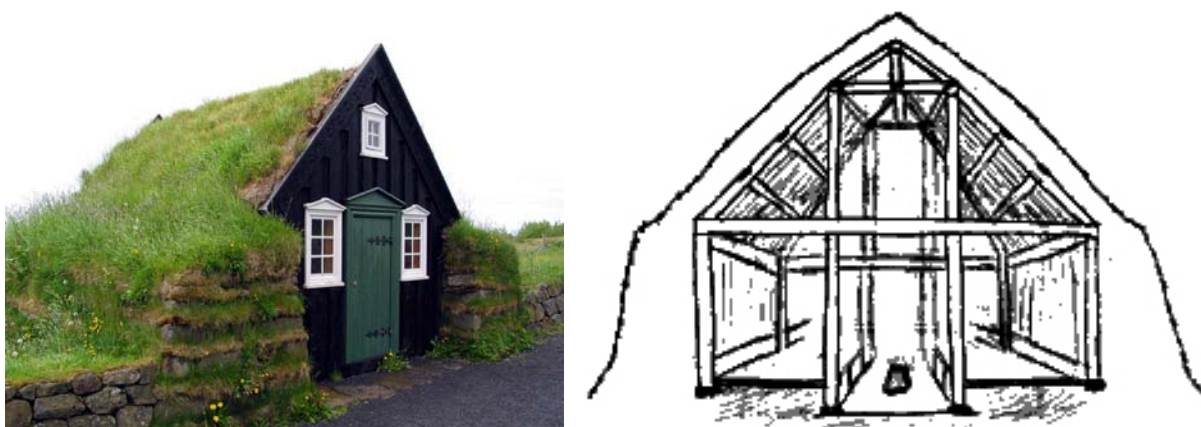


Fig.II.7 – A sinistra: esempio di edificio tradizionale islandese, ricostruito presso il *Museo Arbaer* di Reykjavik col sistema del *turf house*. La copertura a verde è realizzata con una tecnologia assimilabile a quella di Fig.II.6. Le chiusure verticali sono eseguite con blocchi di pietra e strutture lignee, ricoperte a loro volta da substrati inerbiti. Vengono qui sfruttate le proprietà dei diversi materiali per garantire la maggiore efficienza bioclimatica possibile, in un contesto climatico avverso come quello islandese.

(Fonte: <http://www.jeffandterry.com/iceland.htm>)

Fig.II.8 – Schizzo del sistema costruttivo *turf house*. È ben visibile il notevole spessore del pacchetto di chiusura verticale. (Fonte: <http://www.hurstwic.org>)

⁵ Si rimanda al cap.VII per una trattazione esaustiva di quelle che sono le caratteristiche di mitigazione microclimatica offerte dall'impiego della vegetazione in architettura, e dall'utilizzo mirato di tetti e pareti verdi con l'obiettivo dell'efficienza microclimatica.

⁶ Cfr. ABRAM, PAOLO, *ibidem*.

Tali edifici, che in lingua inglese vengono definiti come *turf houses* o *turf buildings*, presentano delle peculiarità costruttive complesse. Essi venivano realizzati mediante una tecnologia che comprende sistemi costruttivi sia pesanti che leggeri. Le fondazioni e il basamento erano realizzati in pietra fino ad un'altezza di 50-100 cm dal livello di campagna, in modo da fornire all'abitazione una base fondativa resistente e pesante; tale basamento aveva la funzione di dare alloggio alle strutture in elevazione realizzate in legno. Distaccare le strutture lignee verticali dal terreno era un espediente obbligato per garantirne una maggiore resistenza al marcimento, quindi una vita più lunga all'edificio. Le chiusure verticali e superiori venivano realizzate completamente in legno e tutte, tranne quella che ospitavano porte o finestre, venivano successivamente tamponate con dei blocchi di terra ospitanti vegetazione. Tali blocchi, formalmente simili ai mattoni in argilla convenzionale, venivano accostati alle chiusure edilizie per uno spessore variabile tra i 50 ed i 150 cm per quanto concerne le pareti verticali, mentre sul tetto gli spessori erano più ridotti (Fig.II.8). Il tamponamento verticale vegetato veniva eseguito in due corsi paralleli, così da lasciare un'intercapedine tra i substrati più esterni e quelli a contatto con le strutture lignee in elevazione. Questa intercapedine veniva poi riempita con materiali ghiaiosi o simili, in modo da garantire il drenaggio e limitare le risalite umide per capillarità. Anche nel caso delle *turf houses* veniva impiegata la corteccia di betulla negli strati sottostanti al substrato organico, in modo da impermeabilizzare tetto e pareti.



Fig.II.9 – Esempio di *long house* vichinga. La *long house* è un'evoluzione storica della *turf house*. Tali edifici, seppur variando l'assetto spaziale delle *turf houses* hanno in alcuni casi continuato a riproporre le tecnologie di chiusura. Si noti inoltre la grande somiglianza metaprogettuale tra questo manufatto e sperimentazioni più contemporanee di involucro a verde, come ad esempio le opere di Emilio Ambasz, Patrick Blanc o Venhoeven CS che verranno descritte nel prosieguo della ricerca. (Fonte: <http://upload.wikimedia.org>)

Dall'immagine dell'edificio tradizionale islandese è palese come questa particolare tipologia costruttiva possa essere considerata come un'evoluzione formale e tecnologica dei manufatti ipogei visti in precedenza, nonché progenitrice delle contemporanee tipologie di chiusure verticali vegetate. Inoltre, confrontando le immagini di Fig.II.5 e Fig.II.7 è evidente come la differenza tecnologica tra i due edifici non sia trascurabile, mentre la risultante funzionale e la resa formale sono assimilabili.

Gli elementi archetipici di quello che potrebbe essere definito come Verde Verticale moderno⁷ sono sostanzialmente di due tipi, ed entrambi di lunga derivazione. Essi sono il rivestimento a verde classico⁸ e la tecnologia del terrazzamento; si può affermare che la loro evoluzione abbia dato forma a quelle che sono oggi le due maggiori tipologie di parete verde contemporanea, quelle cioè che oggi animano sperimentazione architettonica e mercato edilizio⁹.

Il primo deriva dal naturale proliferare di specie vegetali sviluppatesi su pareti edilizie: qualsiasi pianta se trova su una superficie edilizia o muraria le condizioni per attecchire e svilupparsi può vivere senza grossi problemi anche su superfici verticali (Fig.II.10). Tale sistema molto semplice nasce probabilmente per puro caso, quando qualche specie vegetale rampicante ha iniziato a crescere e svilupparsi sulle superfici murarie di qualche edificio (Fig.II.11). Una volta compiuto il passo cognitivo che ha permesso all'essere umano di comprendere la possibilità di sfruttamento di tale sistema, i rivestimenti a verde hanno iniziato ad essere introdotti all'interno delle prassi edificatorie.

Il sistema del terrazzamento che, come visto nel precedente paragrafo, gode di storia millenaria in campo edilizio (come anche in quello dell'ingegneria naturalistica) ha permesso l'affermazione dei sistemi vegetali anche in quota e in verticale.



Fig.II.10 – Esempio di come le specie vegetali possano attecchire e proliferare su superfici verticali in modo totalmente naturale e senza la necessità dell'intervento umano. Foto scattata presso il castello di Duino in provincia di Trieste.

Fig.II.11 – Pianta rampicante che sta naturalmente invadendo le chiusure esterne di un manufatto abbandonato.

⁷ Si rimanda ai capitoli centrali della ricerca per l'approfondimento di quali siano le tipologie e le dinamiche di funzionamento dei sistemi di Verde Verticale moderno o contemporaneo.

⁸ Per "rivestimento a verde classico" si intende una parete edilizia rivestita con una qualsiasi specie vegetale (sia rampicante che decumbente) senza che tra la superficie muraria e le propaggini vegetali non vi sia la presenza di alcuna sottostruttura.

⁹ Si rimanda al paragrafo II.5 per la spiegazione approfondita di quali siano le due tipologie in questione.

Il rivestimento a verde classico è quello che ha fatto da padrone in tutta la storia delle costruzioni, per quel che concerne la possibilità di inverdire verticalmente. Esso presenta inoltre una variante anch'essa abbastanza affermata, e cioè quella che impiega specie vegetali decombenti; specie vegetali che in tal caso verticalizzano verso il basso, avendo esse la tendenza ad essere ricadenti.

Il sistema del rivestimento a verde si è inoltre espresso, sempre all'interno del decorso storico, tramite una serie di declinazioni differenti rappresentate dalle differenti modalità e fini d'impiego, riassumibili in base ad obiettivi formali, funzionali, o bioclimatici. Declinazioni differenti che comunque, come spesso accade in campo architettonico, possono anche tendere a commistionarsi o ricoprire più funzioni nello stesso tempo¹⁰.

L'impiego più semplice è sicuramente rappresentato dallo sfruttamento del rivestimento vegetale a fini estetici o formali. La parete a verde è utilizzata cioè, in questo caso, per garantire una resa estetica al manufatto architettonico. Esempi di tale metodologia d'impiego del rivestimento verde sono le chiusure edilizie verticali ricoperte da edera o glicine (Fig.II.12 e Fig.II.13), in base alle prassi applicative di derivazione anglosassone o mitteleuropea.



Fig.II.12 – A sinistra: il *Balmoral Castle* nel Regno Unito è un esempio d'impiego del rivestimento con vite vergine (*Parthenocissus tricuspidata*) a fini ornamentali. In base ai canoni estetici del tempo, gli espedienti volti a fornire un aspetto il più possibile naturale e “selvaggio” alle architetture erano ampiamente diffusi. (Fonte: Marco Devecchi)

Fig.II.13 – A destra: *Castel Trauttmansdorff* presso Merano (BZ). La pianta di *Wisteria sinensis* (glicine) viene qui impiegata per le proprie caratteristiche estetiche ed odorose.

Durante il medioevo si diffuse molto anche un impiego prettamente *funzionale* del rivestimento vegetale, causato da motivi bellici. Edera ed altre piante rampicanti venivano utilizzate per mimetizzare manufatti architettonici aventi destinazioni militari, come polveriere, rifugi, ecc. Funzione peraltro impiegata ancora oggi, per la mimesi di manufatti anche non prettamente bellici ma che potrebbero arrecare disturbo alla vista, ad esempio in luoghi di elevato pregio ambientale. Un esempio di tale applicazione potrebbe essere la prassi abbastanza diffusa di mimetizzare o mascherare cromaticamente mediante l'utilizzo delle piante dei manufatti tecnici come cabine elettriche, impianti tecnologici nelle centrali elettriche montane, ecc.

¹⁰ Una ricerca condotta nell'astigiano in Piemonte, ha evidenziato come in quella zona più di un terzo delle dimore storiche con parchi e giardini presenti edifici variamente ricoperti con piante rampicanti. (Fonte: dott. Marco Devecchi – Dipartimento di Agronomia, Selvicoltura e Gestione del Territorio, Università di Torino)

Esistono anche ulteriori impieghi, probabilmente quelli più importanti per gli obiettivi di questa ricerca, che potrebbero essere definiti come una sottocategoria dell'impiego funzionale dei sistemi di rivestimento a verde. Essi sono quelli che sfruttano la vegetazione a fini *bioclimatici*, in parte già introdotti quando si è parlato di *turf roof* e *turf houses*. Grazie alla proprietà fisiche e fisiologiche della vegetazione naturale⁵ e conseguentemente ad un mirato e strategico impiego delle specie vegetali all'interno del progetto d'architettura, le piante possono essere utilizzate ai fini della mitigazione climatica e microclimatica con l'obiettivo dell'efficienza energetica o del comfort per gli utenti. Nella storia, ulteriori esempi di impieghi a fini bioclimatici dei rivestimenti vegetali sono il loro utilizzo in pergole semi-addossate o in distacco dagli edifici (Fig.II.14), o direttamente agenti sulle strutture edilizie (Fig.II.15) in modo da garantire protezione al soleggiamento diretto incidente agente sulle chiusure, e di conseguenza minori temperature superficiali e radianti, più basse temperature dell'aria, maggior tasso di umidità, un più alto sfasamento dell'onda termica garantita dall'inerzia termica aggiuntiva offerta dagli apparati vegetali delle piante, ecc. Annotazione aggiuntiva riguarda il fatto che se le specie rampicanti erano storicamente maggiormente utilizzate a fini estetici per l'abbellimento di architetture e residenze di pregio, impieghi maggiormente funzionali e bioclimatici la facevano da padrone nell'edilizia spontanea per ovvie questioni di comfort.



Fig.II.14 – A sinistra: pergola avente la funzione di ombreggiare un percorso pedonale presso i *Giardini di Castel Trauttmansdorff* a Merano (BZ). La tecnologia costruttiva è quella tradizionale: tronchi di legno per la realizzazione di strutture orizzontali o verticali, destinati ad ospitare la crescita della vegetazione.

Fig.II.15 – A destra: edificio storico a Siviglia (Spagna). Seppur la resa formale del rivestimento a verde sia apprezzabile, la folta vegetazione viene in questo caso impiegata per limitare l'apporto solare agente sulle superfici edilizie esposte a Sud, in un contesto climatico penalizzante in fase estiva come quello dell'Andalusia.

Doveroso menzionare, a questo punto della trattazione, che le tipologie e funzioni presentate in questo paragrafo sono esattamente quelle oggi rilevabili all'interno della corrente pratica edificatoria o di mercato. Seppur raffinate di molto nel corso degli anni, le prestazioni richieste alle chiusure verticali vegetate odierne sono esattamente le medesime rilevabili nella storia ed introdotte all'interno del presente paragrafo. Allo stesso modo è da evidenziare come, seppur si siano evolute di molto le tecnologie di processo e di prodotto, le matrici tecnologico-funzionali che le generano sono perfettamente ascrivibili a quanto finora descritto, come anche i prodotti e gli edifici che investono

l'odierna metodologia progettuale siano perfettamente riscontrabili nelle forme archetipiche qui illustrate.

II.3. L'arte dei giardini scopre la dimensione verticale

Un ruolo fondamentale per quanto riguarda il percorso evolutivo sia culturale che tecnologico del Verde Verticale è stato giocato dalla disciplina dell'architettura del paesaggio. Seppur esistano da lungo tempo espedienti architettonici che permettono ad alcune precise specie vegetali di arrampicarsi verticalmente in funzione delle proprie caratteristiche fisiche, le tecniche d'inverdimento parietale sono state interessate nel loro sviluppo storico da una serie di innovazioni.

Inizialmente, infatti, le propaggini delle specie rampicanti venivano fatti aggrappare su altre specie vegetali arboree, con l'obiettivo della creazione di particolari strutture tridimensionali inverdite, al fine di sfruttarne le caratteristiche ad esempio di ombreggiamento. Tale tecnica di impiegare specie arboree per ospitarne altre rampicanti è attualmente ancora diffusa, soprattutto in alcune aree del Mediterraneo.



Fig.II.16 – A sinistra: pergola classica presso l'Università di Catania. Le strutture in elevazione sono realizzate mediante pilastri massivi intonacati, mentre gli orizzontamenti sono lignei.

Fig.II.17 – A destra: esempio di *berceau*, sempre presso l'Università di Catania. La diversità tra questa tipologia e quella della pergola è data dal fatto che il *berceau* presenta una copertura voltata ed è solitamente realizzato con strutture metalliche.

Ulteriore passaggio evolutivo, sempre di origine mediterranea, è quello delle pergole, assai diffuse ad esempio in ambiente romanico (Fig.II.16). Tali strutture venivano impiegate, oltre che per le proprie caratteristiche estetiche, grazie alla possibilità di ombreggiare percorsi pedonali o spazi filtro adiacenti ad edifici. Esse sono probabilmente uno dei primissimi esempi di integrazione tra

architettura e natura, e se ne possono registrare moltissime varianti legate sia alle strutture di supporto orizzontali o verticali, che alle specie utilizzate¹¹. Conseguentemente alla nascita di strutture come le pergole si «può dunque sostenere che, dal momento in cui compaiono i cosiddetti “sostegni”, la verticalità del giardino non sarà più legata esclusivamente alle capacità rampicanti di una determinata pianta, ma sarà da ricondursi altresì, all’impiego di “artifici” che portino questa ad allontanarsi dal suolo che la nutre»¹².

Si è potuto registrare un ulteriore stadio di evoluzione quando l’essere umano comprese che mediante il pertinente impiego di specifici supporti, unitamente ad adeguati espedienti d’impianto e coltura, anche altri tipi di specie vegetali potevano essere interessate dalla verticalizzazione. Tale innovazione avvenne proprio all’interno dell’arte dei giardini, e specialmente in contesti francesi dal XVI al XVIII secolo. Infatti, se la pergola impiegava specie che naturalmente avessero la possibilità di arrampicarvisi, strutture ideate più tardi erano caratterizzate da una duplice innovazione: esse, oltre a presentare delle novità dal punto di vista strutturale (contemplando materiali come ferro o ghisa), riuscivano anche dare alloggio a piante non rampicanti, mediante l’impiego strategico di supporti, *treillages*¹³ (Fig.II.17), legacci, ecc. Queste strutture di sostegno si raffineranno sempre di più con l’avvicinarsi delle varie epoche storiche, fino a divenire delle vere e proprie strutture spaziali che, più che essere destinate ad accogliere piante, tendevano ad avere una propria dignità architettonica, come accade ad esempio nei giardini di *Versailles* in Francia.



Fig.II.18 – Inverdimento urbano presso alcuni patii privati nella città di Cordoba (Spagna). La creazione di una superficie parzialmente inverdita mediante la giustapposizione di vasi in quota, è sicuramente considerabile come una delle matrici tecnologiche che hanno condotto ai moderni sistemi per la verticalizzazione vegetale (cfr. cap. V). Nei casi rappresentati l’inverdimento non ha alcuna valenza climatica o ambientale, ma la possibilità di legare a tale vegetazione oltre che una risultante estetico-figurativa, anche una declinazione produttiva (pianta di limone: a destra), si rivela una possibilità interessante. (Fonte: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/?p=1003>)

¹¹ Si tenga conto che la pergola in origine era destinata al supporto della vite, mentre col tempo si è iniziato ad accoppiarla anche altre specie: fatto che, peraltro, conforta la destinazione prettamente funzionale che tali strutture originariamente presentavano.

¹² LAMBERTINI, ANNA, *Giardini in verticale*, in bibl., p.14

¹³ Il termine francese *treillage* indica delle particolari strutture a traliccio solitamente impiegate per supportare la crescita delle piante.

Conseguentemente ad un'altra novità introdotta sulla «scia della tendenza lanciata dai giardini pensili di Babilonia, si cominciano ad utilizzare vasi da appendere e lasciare sospesi, "contenitori" più o meno grandi, in cui sistemare mazzi di fiori o piante in genere. È dunque possibile tracciare una linea di continuità tra i giardini pensili e i fiori in vaso. L'associazione potrà sembrare azzardata, eppure, in entrambi i casi, la pianta è stata "sradicata" da quello che è il suo elemento di supporto naturale: la terra. Il vaso e la fioriera finiscono con l'aver un valore simbolico, divengono oggetti importanti, portatori stessi del concetto d'artificio»¹⁴ (Fig.II.18).

Si vedrà nel prosieguo della ricerca come la globalità delle diverse tipologie qui introdotte siano la matrice tipologica e concettuale alla base di tutte le future innovazioni in materia di inverdimento verticale e parietale, e come oggi la pratica progettuale, anche nei casi oggi maggiormente originali, paghi un grosso debito sia tecnologico che formale alle conoscenze maturate nel passato.

II.4. Il Novecento e l'epoca contemporanea

Se come visto la tradizione dell'inverdimento parietale è non collocabile in un punto ben definito del decorso storico, ma comunque molto indietro nel tempo, è altrettanto vero che essa, nei secoli che vanno dal XVIII al XIX non ha fatto registrare grosse evoluzioni tecnologiche. Seppur tale strategia estetica e bioclimatica abbia continuato ad essere perpetuata per tutto il XIX secolo (Fig.II.19), essa non ha subito sconvolgimenti particolarmente degni di nota.

Dal XX secolo, invece, contemporaneamente a quelle che sono le grandi innovazioni dell'epoca in campo architettonico, tecnologico e delle arti figurative, l'evoluzione della tipologia tecnologica della facciata verde ricomincerà a muoversi, prima solo lentamente e poi con maggiore velocità, facendo registrare quello che è probabilmente la maggior progressione mai registrata prima in tale specifico campo.

Dal punto di vista teorico hanno un ruolo fondamentale gli insegnamenti del Movimento Moderno¹⁵, quando all'interno dei *Cinque punti della nuova architettura* di Le Corbusier o negli atti dei congressi del CIAM si giunse ad evidenziare l'importanza dell'integrazione vegetale nel progetto urbano o di architettura, ricordando che «occorre [...] creare un equilibrio tra l'uomo e il suo ambiente»¹⁶, giungendo addirittura a teorizzare l'intera città come un grande parco; o nel momento in cui, sempre all'interno dei *Cinque punti* trovavano spazio teorizzazione ed applicazione pratica del tetto giardino come elemento tecnologico e funzionale che avesse la possibilità, oltre che di mediare temperature e precipitazioni meteoriche, anche di offrire uno spazio di vita e svago alle persone. Infatti, se si considera il tetto a verde come la matrice che abbia permesso lo sviluppo anche della verticalizzazione naturale sia dal punto di vista storico che sotto l'aspetto delle innovazioni tecnologiche contemporanee, le sperimentazioni che hanno riportato in auge la possibilità d'integrazione tra architettura e manufatto derivano tutte dalle teorie del grande maestro francese e dalle esperienze del Movimento Moderno. Lo stesso Le Corbusier, inoltre, ebbe modo di sperimentare all'interno delle proprie opere più mature la possibilità di collocare la vegetazione non solo in copertura

¹⁴ LAMBERTINI, ANNA, ibidem.

¹⁵ Le teorie urbanistiche e architettoniche del Movimento Moderno sono direttamente derivanti, comunque, dagli studi urbanistici del 1800 che, alla luce dei problemi urbani derivanti dalla Rivoluzione Industriale iniziarono a mettere l'accento sull'importanza della vegetazione nei confronti della salute e della qualità di vita delle persone.

¹⁶ LE CORBUSIER, *Maniera di pensare l'urbanistica*, in bibl., p.40

ma anche in facciata, seppur con le limitate possibilità tecnologiche della metà dello scorso secolo (Fig.II.20).



Fig.II.19 – A sinistra: edificio storico ricoperto di edera, situato in via Quadronno a Milano. Il rivestimento vegetale aggrappa direttamente sulla superficie muraria mediante le radici avventizie proprie di questa particolare specie vegetale. (Fonte: <http://farm4.static.flickr.com>)

Fig.II.20 – A destra. Le Corbusier, Palazzo dell'Associazione dei Cottonieri, Ahmedabad (India), 1954. Le piante sono collocate in apposite fioriere all'interno del sistema schermante a *carabottino*. Il portamento a carattere decombente delle specie conferisce verticalità al sistema vegetale. (Fonte: MUSACCHIO, ANTONIO, TATANO, VALERIA, "Superfici naturalizzate", in bibl., p.106)

Nella seconda metà del XX secolo sono molto importanti anche altre esperienze di grandi maestri dell'architettura mondiale che, grazie al loro operato, hanno un ruolo chiave nel riportare all'attenzione la tipologia della parete verde. Ciò avviene alcune volte semplicemente riproponendo in chiave contemporanea le prassi del passato, alcune altre tentando invece inedite strade compositive e d'integrazione tecnologica nella ricerca della maggiore commistione possibile tra vegetazione ed edificio.

Lina Bo Bardi fin dagli anni '50 e per buona parte della carriera¹⁷ ricercò delle forme d'integrazione tecnologica tra verde ed involucro architettonico. Sperimentazioni che, seppur svolte in un contesto povero come quello del Brasile di quegli anni, oggi si rivelano assai contemporanee. La *Casa do Chame-Chame* (Fig.II.21) è un perfetto esempio di lungimiranza nei confronti di quello che oggi sembra essere una delle tendenze architettoniche che godono di maggiore spinta sia culturale che operativa: in tale progetto la commistione tra superfici verdi orizzontali e verticali del giardino e del tetto piano, la loro sistemazione a verde, unitamente ad un trattamento delle chiusure dell'edificio in un calcestruzzo armato corrugato che permettesse l'attecchimento delle specie vegetali sulle chiusure edilizie in modo totalmente naturale come avveniva in passato, rendono l'immagine di un edificio che sembra essere completamente invaso dalla vegetazione.

¹⁷ Come dimostrato dall'ampio apparato di schizzi e studi lasciatici da Lina Bo Bardi.

Anche la Casa di Valeria P.Cirell a San Paolo del Brasile presenta una forte integrazione tra architettura e paesaggio naturale, tanto da portare le chiusure edilizie a diventare supporto per l'impianto dei vegetali (Fig.II.22).



Fig.II.21 – Lina Bo Bardi, *Casa do Chame Chame*, 1958: oggi demolita. L'edificio è progettato per una completa integrazione tra architettura ed elementi vegetali, sia sul piano orizzontale che su quelli verticali. (Fonte: <http://www.iuav.it/Ateneo-cal/2004/2004-09/Lina-Bo-Ba/Lina-Bo-Ba2/11.gif>)



Fig.II.22 – Lina Bo Bardi, *Casa di Valeria P. Cirell*, San Paolo (Brasile), 1958. A sinistra uno schizzo di studio: il disegno dimostra la volontà di Lina Bo Bardi di ricercare una totale integrazione tra l'elemento massivo e quello vegetale. Nella foto di destra un dettaglio delle chiusure esterne: nel getto di calcestruzzo armato realizzato con pietre e cocci di ceramica vengono ricavate delle nicchie destinate ad ospitare l'impianto dei vegetali. (Fonte: ISTITUTO LINA BO & P.M. BARDI, *Lina Bo Bardi*, in bibl., pp.116-117)

Sia la *Casa do Chame-Chame* che quella di Valeria Cirell presentano sostanzialmente il medesimo espediente per l'alloggio delle piante in facciata: tutte quelle chiusure verticali sono realizzate mediante un getto di calcestruzzo armato a vista, che oltre a presentare una finitura superficiale fortemente corrugata aveva anche delle nicchie destinate all'alloggio delle specie vegetali. Tale tentativo è un esempio particolarmente originale per l'architettura di quegli anni, e può essere considerato una matrice sia tecnologica che culturale del forte interesse odierno per gli edifici che integrano la vegetazione alle pareti edilizie.

Matrice "culturale" in quanto Lina Bo Bardi può senza dubbio essere accreditata come una delle progenitrici del Verde Verticale attuale; "tecnologica" perché le opere dell'architetto italiano sembrano essere alla base di sperimentazioni recentissime, come ad esempio quelle inerenti la finitura verticale dell'edificio *Harmonia 57* dello studio franco-brasiliano Triptyque (Fig.II.23), o relativamente a prototipi di pareti verdi industrializzate e di più recente prototipazione (Fig.II.24) o immissione sul mercato (Fig.II.25).



Fig.II.23 – Triptyque, *Harmonia 57*, San Paolo (Brasile), 2008. Dettaglio delle chiusure esterne. Le pareti in calcestruzzo armato a vista ospitano delle nicchie circolari per il contenimento di terriccio destinato all'alloggio delle piante: è più che evidente il riferimento alle opere di Lina Bo Bardi. Si vedano anche le immagini del paragrafo VII.2.3, all'interno del settimo capitolo. (Fonte: <http://www.archdaily.com>)



Fig.II.24 – A sinistra: prototipo della ditta Pircher per la realizzazione di pareti verdi, allestito presso il *Made Expo 2009*. Il sistema è realizzato da moduli prefabbricati in C.A. contenenti delle nicchie circolari per l’inserimento delle piante. (Fonte: Elena Giacomello)

Fig.II.25 – A destra: *Facciata Verde* prodotto dalla ditta Optigrün. Il sistema è composto da un’anima di montanti e traversi in acciaio, contenente a sua volta della ghiaia: la caduta o fuoriuscita dell’inerte è impedita tramite una rete metallica. In alcune nicchie ricavate ad intervalli regolari sulla superficie della struttura metallica trovano alloggio delle piante in vaso.

Lina Bo Bardi continuò inoltre per tutto il resto della propria carriera a sperimentare nuove forme d’inverdimento parietale, purtroppo non riuscendo più a pervenire anche all’edificazione vera e propria. Comunque, una costante delle opere progettate dopo la realizzazione delle case *Chame-Chame* e *Cirell* fu il tentativo di una sempre più consistente vegetalizzazione delle pareti esterne, come dimostrato dagli schizzi prodotti per il progetto del nuovo municipio di San Paolo, nel periodo 1990-’92. In quel progetto che prevedeva un volume in ampliamento all’edificio esistente Lina Bo Bardi disegnò un volume a forma di “L” in cui due delle quattro facciate maggiori erano completamente invedite da una flora molto rigogliosa e composta da una molteplicità di specie (Fig.II.26). Tale progetto è fondamentale anche dal punto di vista linguistico-letterario in quanto, come dimostrato dagli elaborati di progetto, Lina Bo Bardi fu la prima a coniare la locuzione *giardino verticale*: dicitura fondamentale per tutto quello che accadde dopo, in quanto il medesimo nome venne adottato da Patrick Blanc¹⁸ per definire il proprio sistema brevettato di parete verde e cioè quella che, per inciso, è sicuramente oggi la più conosciuta al mondo. Tale episodio non è assolutamente da considerarsi un fatto casuale, visto che confrontando il progetto per l’ampliamento del municipio di San Paolo con l’operato di Blanc e con i disegni che egli costantemente redige nella progettazione delle proprie installazioni, appare palese come tra i due progettisti non possa esserci che un’affinità figurativa e d’intenti.

¹⁸ L’opera di Patrick Blanc verrà ampiamente descritto sia nel prosieguo del paragrafo che all’interno del cap.V



Fig.II.26 – Lina Bo Bardi, progetto per il nuovo municipio di San Paolo del Brasile, 1990-'92: dettaglio del prospetto. La grande facciata inverdita è composta da una molteplicità di specie vegetali differenti. (Fonte: ISTITUTO LINA BO & P.M. BARDI, *Lina Bo Bardi*, in bibl., pp.324-325)

Una figura che va considerata di diritto tra i padri del Verde Verticale contemporaneo è quella dell'architetto-paesaggista brasiliano Roberto Burle Marx. Egli infatti, proprio in forza della sua specializzazione paesaggistica è probabilmente quello che prima di tutti ha potuto operare con specifica cognizione di causa in un settore difficoltoso e d'ibridazione tra quello dell'architetto e dell'agronomo, quale appunto l'architettura del paesaggio. Fin dagli anni '30 Burle Marx inizierà ad operare in un campo di sperimentazione che con forza lo porterà a verticalizzare sempre di più le sue opere ed installazioni. Probabilmente, inoltre, il suo essere un professionista costantemente in contatto con il mondo dell'architettura di eccellenza – Burle Marx collaborò più volte con Oscar Niemeyer ed ebbe contatti anche con Le Corbusier – gli permise di riuscire a concepire prima di altri le possibilità offerte dall'integrazione tra nature e superfici edilizie verticali.

Altra cosa che sicuramente influì sulla lungimiranza del paesaggista brasiliano fu la nazionalità. Vivendo in un paese che si trova sulla fascia tropicale ha potuto contare su una vegetazione autoctona abbondante di piante *epifite* che sono molto adatte all'impiego in verticale (Fig.II.27). Infatti le epifite vivono come dei parassiti, traendo dalle altre specie vegetali a cui solitamente si appoggiano tutte le sostanze nutritive di cui hanno bisogno, riuscendo a sopravvivere molto bene anche in collocazioni verticali e poco luminose¹⁹.

La sperimentazione di Roberto Burle Marx tese molte volte durante la lunga carriera dell'architetto brasiliano alla ricerca di conferire verticalità a giardini o composizioni vegetali, approdando anche alla collocazione di installazioni verticali vegetali in ambito urbano. Quindi, riassumendo, possiamo dire essere due gli elementi operativi che fanno del paesaggista brasiliano una delle figure più importanti nel campo del Verde Verticale contemporaneo, e più specificatamente nella categoria dei *muri vegetali*, ossia quello di aver compreso l'importanza della selezione delle specie vegetali nella risultante compositiva e formale di una parete a verde, e la loro possibilità di collocazione anche in ambiti fortemente antropizzati tipici delle metropoli di oggi (Fig.II.28). Inoltre, proprio per questi due motivi, si vedrà in seguito come le opere di Patrick Blanc paghino un grosso "debito" di forma nei confronti della produzione artistica di Burle Marx.

¹⁹ LAMBERTINI, ANNA, *Giardini in verticale*, in bibl., p.20



Fig.II.27 – A sinistra: Roberto Burle Marx, *Colonne Végétales*, San Paolo, Brasile, 1982 (Fonte: LAMBERTINI, ANNA, *Giardini in verticale*, in bibl, p.20)

Fig.II.28 – A destra: Roberto Burle Marx, *Tronc avec épiphytes*, Campus dell'Università di Florianopoli, Brasile, 1982 (Fonte: LAMBERTINI, ANNA, *Giardini in verticale*, in bibl, p.21)

La figura di Friedensreich Hundertwasser è fondamentale per lo sviluppo delle tecnologie oggetto d'indagine. Seppur l'eccentrico architetto austriaco non arrivò mai a realizzare una parete verde, grazie al grande apparato di studi che hanno accompagnato tutta la sua carriera e che l'hanno reso celebre nel mondo (apparato composto da trattati teorici, un grandissima mole di disegni e pitture e svariate realizzazioni architettoniche in netta controtendenza rispetto allo stile imperante all'epoca), egli ha avuto un ruolo chiave nello sviluppo e nella diffusione delle tecnologie della vegetazione integrata all'architettura. Infatti egli, tramite numerose sperimentazioni impieganti in modo massiccio coperture a verde o edificazioni semi-ipogee, fu sicuramente una delle personalità che contribuirono alla crescita nell'impiego delle coperture vegetate per la mitigazione bioclimatica, favorendo una pratica architettonica maggiormente simbiotica nei confronti dell'ambiente naturale; architettura costruita che prevedesse una spiccata integrazione tra alberi, piante e manufatti, anche nel caso di edificazioni metropolitane.

I famosi *alberi inquilini*²⁰ di Hundertwasser (Fig.II.29) – consistenti sostanzialmente nella riproposizione in chiave contemporanea e maggiormente tecnologica di pratiche edificatorie proprie del passato –, l'architettura gradonata a terrazzamenti inverditi, oppure quella ipogea, sono tutte azioni quanto mai moderne, che hanno largamente favorito le sperimentazioni successive in materia d'inverdimento edilizio, e che hanno quindi permesso di approdare agli odierni fenomeni del Verde Verticale²¹. Non è difficoltoso scorgere, nel grande numero di sperimentazioni contemporanee

²⁰ Hundertwasser conìò la definizione di «albero inquilino» per indicare le specie vegetali arboree piantate in apposite fioriere all'interno di appartamenti o edifici urbani. Questi alberi, spuntando da quelle che, se viste dal livello stradale, sembravano normali finestre, parevano quasi "affacciarsi" dagli appartamenti. Hundertwasser definisce tali alberi "inquilini" in quanto essi, secondo l'idea dell'architetto austriaco, pagano un "affitto" consistente nella produzione di ossigeno.

²¹ Si rimanda la paragrafo I.5 per la definizione di *Verde Verticale*.

presentanti una spiccata ibridazione fra edificio e paesaggio naturale²², le opere dell'architetto austriaco come matrice fondativa e concettuale.



Fig.II.29 – A sinistra: Friedensreich Hundertwasser, esempio di *albero inquilino*. La loggia dalla quale l'albero spunta è sostanzialmente assimilabile ad un grande vaso integrato all'architettura. L'albero di Hundertwasser viene definito "inquilino" in quanto esso, secondo l'idea dell'architetto austriaco, paga un "affitto" consistente nella produzione di ossigeno. (Fonte: AA.VV., *Hundertwasser Architecture*, in bibl., p.122)

Fig.II.30 – A destra: Friedensreich Hundertwasser, riqualificazione di un opificio industriale a Selt (Germania), 1980. Copertura a verde realizzata nel padiglione della portineria: l'impiego di specie vegetali decumbenti procura una parvenza di verticalità alla vegetazione, che tende a rivestire le chiusure edilizie verticali. (Fonte: AA.VV., *Hundertwasser Architecture*, in bibl., p.123)

Sempre basandosi sull'impiego di tecnologie convenzionali e storicizzate, ma importante dal punto di vista sia della continuità nella ricerca progettuale, che della coerenza e perseveranza dimostrate in materia di progettazione integrata fra architettura e natura, la figura di Emilio Ambasz. Questo architetto di origine argentina è globalmente considerato il padre della *green architecture* contemporanea, intendendo con tale locuzione quella pratica progettuale che mira alla commistione tra elementi edilizi e paesaggio naturale; il motto che da sempre accompagna le sperimentazioni dell'architetto sudamericano è «*Green over the gray*»²³.

Ambasz fin dagli anni Settanta ha basato il proprio operato sulla ricerca di una progettazione architettonica inusuale per l'epoca, trattando la materia vegetale come un elemento fondante del progetto. Mediante l'applicazione delle tipologie convenzionali d'integrazione fra natura e architettura (cioè il rivestimento vegetale e l'edificio gradonato o ipogeo), spesso integrando nello stesso progetto

²² Cfr. VII.1

²³ Tale frase ormai celeberrima, traducibile come "verde oltre il grigio" ma stante ad indicare la vegetazione naturale oltre il grigiame della città odierna, accompagna da lungo tempo l'attività di Emilio Ambasz, dimostrando anche chiaramente quali siano le priorità che accompagnano la sua metodologia di lavoro, tese alla ricerca di pervenire ad un ambiente urbano ed architettonico maggiormente integrato e rispettoso di quello naturale.

tutte e tre quelle strategie architettoniche, ha dimostrato delle specificità progettuali assolutamente non convenzionali che, con ogni probabilità, lo proiettano oggi come il maggiore riferimento culturale delle attuali sperimentazioni architettoniche basate sulla commistione natura/architettura.



Fig.II.31 – A sinistra: Emilio Ambasz, *ACROS Building*, Fukuoka (Giappone), 2000. Foto aerea. L'edificio si presenta come una collina verde nel centro urbano della città di Fukuoka. (Fonte: http://www.architectmagazine.com/Images/tmp17B.tmp_tcm20-186385.jpg)

Fig.II.32 – A destra: Emilio Ambasz, *Acros Building*, Fukuoka (Giappone). Vista alla base dell'edificio: è palese come la verticalità vegetale sia una delle strategie figurative adottate dall'architetto. (Fonte: http://scophy.files.wordpress.com/2007/10/01_787892628_1f09338318_b.jpg)

Pretendere di rappresentare la cospicua produzione progettuale dell'architetto argentino in poche immagini sarebbe pretenzioso ed assolutamente ingiusto nei confronti di una gloriosa carriera peraltro ancora in atto, ma alcune sue opere dimostrano chiaramente come, magari involontariamente, ad egli sia sicuramente imputabile il fatto di essere uno dei riferimenti che hanno portato all'odierna forte spinta verso il Verde Verticale. Celeberrimo l'*ACROS Building* di Fukuoka (Giappone) in cui, mediante la strategia del terrazzamento inverdito l'architetto è riuscito a portare all'interno di un tessuto urbano tipicamente metropolitano l'idea di un parco urbano percorribile sia orizzontalmente che in verticale. L'edificio si staglia come una collina verde nel centro di Fukuoka, e dall'immagine aerea (Fig.II.31) è palese come la pratica di Ambasz sia totalmente in controtendenza rispetto alle odierne prassi architettoniche; sempre dalla medesima fotografia appare evidente anche come l'*ACROS Building* sia assimilabile ad un'oasi vegetale all'interno di un tessuto cittadino iper-urbanizzato.

La tecnologia utilizzata da Ambasz per la realizzazione della verticalizzazione vegetale nell'*ACROS Building* si basa su due strategie differenti. Da una parte quella del terrazzamento gradonato, dove mediante l'espedito dello sfalsamento di livello sui piani verticale e orizzontale si possono creare dei contenitori di terreno simili a fioriere giganti dove vengono messe a coltura svariate specie arboree, arbustive ed erbacee. Inoltre, in altri punti sulle chiusure dell'edificio, Ambasz utilizza dei rivestimenti a verde ottenuti mediante piante rampicanti direttamente aggrappate alle

superfici murarie. Le varietà vegetali all'interno dell'*ACROS Building* sono in numero grandissimo, tanto da fornire alla fabbrica un'immagine di collina verde rigogliosa.

Come già enunciato Ambasz ha regolarmente utilizzato tutti gli elementi classici dell'inverdimento edilizio, da quelli dell'architettura del paesaggio fino alle strategie del rivestimento a verde per la mitigazione bioclimatica. L'impiego di specie vegetali rampicanti o decumbenti per la schermatura solare di chiusure trasparenti (Fig.II.33), o nella riduzione del carico termico agente su quelle opache sono uno dei marchi di fabbrica che il grande progettista imprime da sempre alle proprie realizzazioni: ciò è riscontrabile dalle primissime opere risalenti a quasi quarant'anni fa, fino a quelle più recenti, come il nuovo ospedale di Mestre (VE) da poco inaugurato (Fig.II.34).



Fig.II.33 – A sinistra: Emilio Ambasz, *Nishiyachiyo station masterplan*, Giappone, 1991. Il sistema di schermatura del *curtain wall* è realizzato mediante specie vegetali rampicanti piantate in apposite fioriere alloggiare ai vari piani dell'edificio. (Fonte: Redazione di *The Architectural Review*, “Vertical garden city”, in bibl., p.41)

Fig.II.34 – A destra: Emilio Ambasz, nuovo ospedale di Mestre (VE), 2009: plastico di progetto. Nella facciata posteriore viene impiegato un sistema vegetale di schermatura solare, realizzato mediante specie a portamento decombente collocate in vaso. (Fonte:<http://www.archiportale.com>)

Nel dibattito culturale instauratosi fin dagli anni Settanta in merito ad una pratica edificatoria ed urbanistica sempre più distante da quello che il suo elemento fondante primordiale, ossia l'ambiente naturale, hanno notevole rilevanza tutte le osservazioni critiche e teoriche ruotanti attorno al gruppo *SITE*. Tale progetto operativo e culturale nasce innanzitutto come una rivista avente l'obiettivo di «instaurare un dialogo con le arti plastiche, di sviluppare un'architettura che prendesse in considerazione anche la dimensione ambientale o quella che viene comunemente chiamata “il sito”»²⁴, da cui il nome scelto, appunto di *SITE*, traduzione inglese della stessa parola. La rivista inizialmente instaura rapporti con personaggi di spicco sia in campo artistico che architettonico, quali Vito Acconci, Robert Venturi, Peter Cook, Emilio Ambasz: tutte personalità che più avanti negli anni

²⁴ LAMBERTINI, ANNA, op. cit., p.21

avranno un ruolo importante nell'approdo alla contemporanea cultura e declinazione tecnologica dei sistemi di Verde Verticale

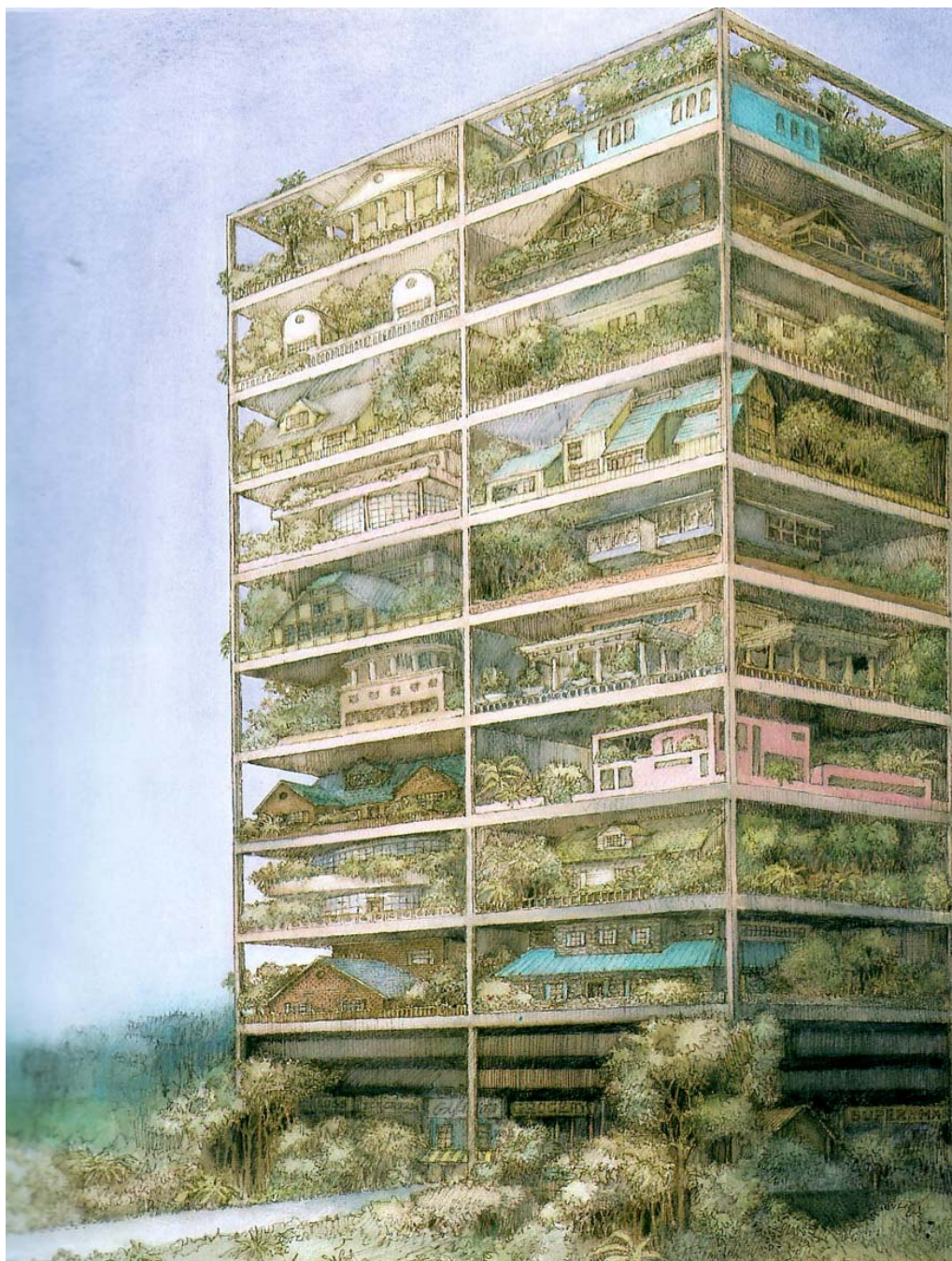


Fig.II.35 – SITE, *High Rise of Homes*, 1981. Uno scheletro strutturale contiene una serie di abitazioni “singole”, tutte provviste di propria area di pertinenza a giardino. (Fonte: <http://jamestamp.com/highrise1.jpg>)

La figura centrale del gruppo è sicuramente quella di James Wines, sia nel periodo in cui *SITE* è una rivista, sia quando tale progetto si trasformerà in uno studio associato di architettura chiamato *SITE Environmental Design* con base a New York (USA). Lo studio *SITE* è tutt'oggi attivo nella

progettazione di architetture che abbiano un dialogo particolare col paesaggio naturale ed è sicuramente da considerarsi una delle figure chiave nei passaggi evolutivi che hanno condotto al fenomeno della *green architecture*. Uno dei progetti sicuramente più interessanti ed avanguardistici di *SITE* è l'*High Rise of Homes* (Fig.II.35) del 1981. In tal progetto veniva proposto un edificio alto composto mediante uno scheletro strutturale contenente a sua volta una serie di unità immobiliari singole, ognuna con proprio giardino di pertinenza, come nella più classica delle tradizioni edificatorie nordamericane, in cui tutte le famiglie si aspettano di avere uno spazio proprio da utilizzare come giardino. Tale progetto rimase solo un'utopia, ma è difficile non scorgervi il riferimento per molte sperimentazioni successive e prettamente contemporanee, dalle proposte attuali di studi come MVRDV al recentissimo progetto *25 Verde*²⁵ per uno sviluppo edilizio di "case sull'albero" a Torino, fino al nascente movimento del *Vertical Farming*²⁶.

Oltre alle citate innovazioni ed invenzioni sia teoriche che pratiche è da rilevare come per tutto il Novecento e specialmente nella seconda metà del secolo abbiano continuato a sussistere svariate sperimentazioni che hanno impiegato le prassi del passato in chiave contemporanea. Ossia, come sia rilevabile una casistica di sperimentazioni, seppur esigua, che impiegando la prassi storicizzata del rivestimento a verde abbia tentato di darne un'interpretazione modernista (Fig.II.36 e Fig.II.37).



Fig.II.36 – A sinistra: Hinrich Baller, edificio a Fraenkelufer (Germania). Le specie vegetali a portamento rampicante sono piantate a terra ai due lati del portale d'ingresso. (Fonte: WINES, JAMES, *Green architecture*, in bibl., p.159)

Fig.II.37 – A destra: edificio a Madrid (Spagna). Esempio dell'impiego di sistemi vegetali a portamento decombente per l'ottenimento della verticalizzazione vegetale. Le fioriere per l'impianto dei vegetali sono sistemate in quota ai vari piani dell'edificio. (Fonte: Giovanni Zannoni)

A parte sperimentazioni puntuali che abbiano impiegato la verticalizzazione vegetale a fini estetici o bioclimatici esclusivamente per le prestazioni differenti che tali specie potessero di volta in

²⁵ Al seguente link si possono visionare gli elaborati di progetto: <http://www.soloper63.com>

²⁶ Tale argomento verrà trattato nel VII capitolo.

volta garantire, si possono comunque annoverare esperienze di architetti anche molto famosi che, in netta controtendenza rispetto agli stilemi del proprio periodo, abbiano utilizzato le piante come fenomeno o materia dell'edificazione. Tra questi si possono enumerare ad esempio esperienze come quelle di Oswald Mathias Ungers (Fig.II.38) o dello studio Gabetti e Isola²⁷ che, insistendo sulle esperienze del rivestimento o della copertura a verde risolta con specie vegetali a portamento decombente, sono riusciti a produrre interessanti sperimentazioni.

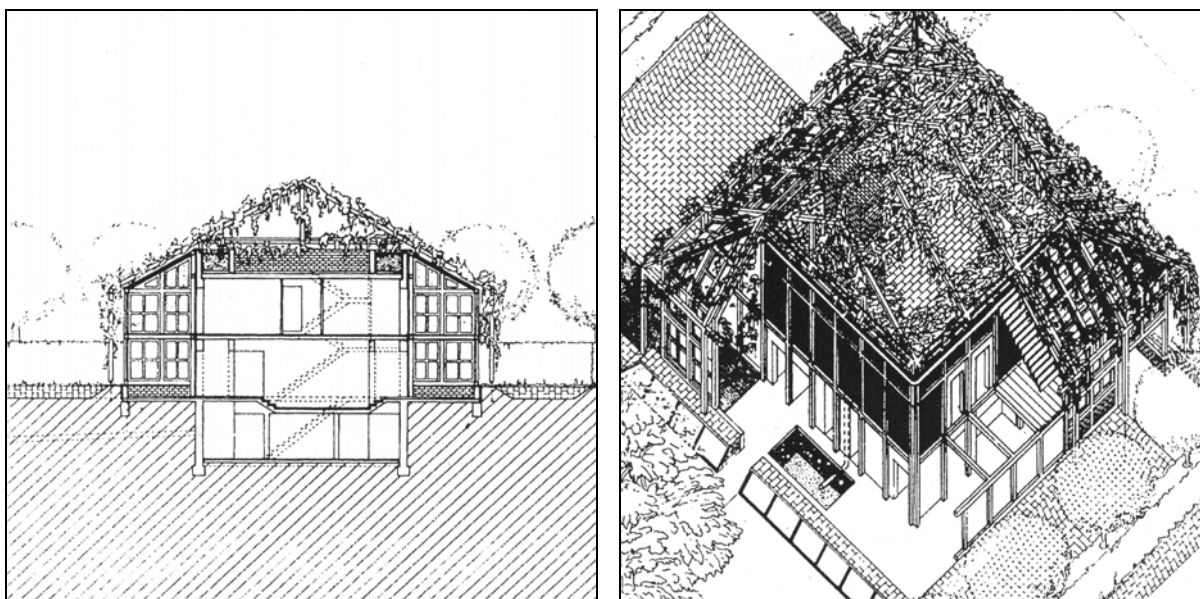


Fig.II.38 – Oswald Mathias Ungers, progetto per una casa a basso consumo energetico, Berlino, 1979. L'edificio presenta un triplo involucro che, partendo dal nucleo centrale e procedendo verso l'esterno, è così composto: pareti in pietra all'interno, una serra solare vetrata come seconda pelle ed un rivestimento di piante rampicanti decidue nello strato più esterno. Tali specie vegetali sono piantate a terra nell'area esterna di pertinenza dell'edificio. (Fonte: UNGERS, OSWALD MATHIAS, KLOTZ, HEINRICH, *Oswald Mathias Ungers: 1951-1984. Bauten und Projekte*, in bibl., p.115)

Figura di rilievo non solo per gli argomenti interessanti ai fini del presente studio è sicuramente il giapponese Shigeru Ban. Egli, anche quando la tipologia del rivestimento a verde era stata momentaneamente accantonata dalle prassi progettuali ricorrenti, continuò la propria ricerca nella riscoperta in chiave contemporanea di quella tecnologia, soprattutto per quanto concerne la possibilità dell'inserimento della vegetazione in tessuti urbani fortemente antropizzati. L'idea ricorrente nelle molte sperimentazioni di Ban che prevedono l'uso di rivestimenti a verde, è quella di posizionare l'edificio su un lato del lotto urbano di pertinenza, lasciando quindi libera una porzione dello spazio edificabile. Tale area che si viene così a liberare viene solitamente utilizzata come giardino o spazio di pertinenza dell'edificio, lasciando a vista la muratura d'ambito del manufatto adiacente²⁸. Parete adiacente che nella strategia operativa dell'architetto giapponese viene inverdita mediante piante rampicanti sempreverdi piantate a terra, e solitamente aggrappate a sottostrutture di supporto metalliche o di bambù (Fig.II.39).

²⁷ Si veda ad esempio il Quinto palazzo per uffici SNAM a San Donato Milanese (MI), 1986-'91.

²⁸ Altri edifici di Shigeru Ban che impiegano tali strategie progettuali e d'inverdimento sono i seguenti: *Ivi structure* (Suginami-ku, Tokyo, 1998); *Ivi structure 2* (Azabu, Tokyo, 2000); *Glass shutter house* (Meguro, Tokyo, 2003).



Fig.II.39 – A sinistra: Shigeru Ban, *House for a dentist*, Tokio (Giappone), 1994. Si noti il rivestimento a verde sulla sinistra della foto. Le specie vegetali sono piantate a terra ed aggrappano verticalmente su una rete metallica. (Fonte: MCQUAID, MATILDA, *Shigeru Ban*, in bibl, p.191)

Fig.II.40 – A destra: Shigeru Ban, *GC Osaka Building*, Osaka (Giappone), 2000. Vista dell'interno. L'edificio si trova in un contesto edilizio fortemente urbanizzato, ma l'impiego della vegetazione per le superfici esterne orizzontali e verticali ne restituisce dal di dentro un'immagine naturale. (Fonte: MCQUAID, MATILDA, *Shigeru Ban*, in bibl, p.92)



Fig.II.41 – A sinistra: Shigeru Ban, *Shutter house for a photographer*, Tokio (Giappone), 2003. Foto del plastico. In questo progetto gli involucri verticali tendono a diventare quasi totalmente vegetati, a differenza dei progetti precedenti in cui le parti inverdite si limitavano a porzioni ridotte. (Fonte: MCQUAID, MATILDA, *Shigeru Ban*, in bibl, p.226)

Fig.II.42 – A destra: Shigeru Ban, *Shutter house for a photographer*, Tokio (Giappone), 2003. Dettaglio del prospetto su strada. In questo caso, per la prima volta nell'esperienza di Ban, una parte della superficie inverdita verticale è realizzata mediante tecnologie differenti dal rivestimento a verde, presentanti l'installazione di substrato in quota tramite un ordito a scacchiera. (Fonte: <http://www.flickr.com/photos/brunonihon/3904368454>)

Ulteriore strategia ricorrente nell'operato di Ban è quella di orientare le finestre principali del manufatto proprio verso le pareti inverdite, in una sorta di "chiusura dell'edificio" verso la semi-corte interna al lotto: l'effetto che si viene a percepire dall'interno degli ambienti è quindi quella di essere immersi in uno spazio verde e naturale, anziché nelle iper-edificate metropoli orientali (Fig.II.40). In sperimentazioni successive, inoltre, Ban aumentò ulteriormente la quota di verde integrata all'edificio, tanto da inverdirne quasi completamente l'involucro (Fig.II.41).

La figura odierna sicuramente più importante per quel che concerne lo sviluppo del sistema del verde parietale è quella di Patrick Blanc, un ricercatore francese che ha ideato e brevettato il sistema *Mur Vegetal*²⁹ (Fig.II.43). Tale figura è molto rilevante perché grazie all'invenzione di Blanc il mondo intero ha potuto conoscere cosa sia una parete verde e come funzioni: tutte le sue opere ormai hanno visibilità e risonanza in tutto il globo. La figura del ricercatore francese è fondamentale anche perché grazie al suo sistema si è potuto superare la pratica storicizzata che vedeva il sistema del verde parietale come un qualcosa dalla tecnologia intrinseca limitata o dalle risultanti formali relativamente schematizzate e poco variegate.



Fig.II.43 – Patrick Blanc, *Mur Vegetal* presso il *Pershing Hall Hotel* a Parigi. È evidente come questo sistema riesca a mettere in opera una grandissima varietà di specie vegetali differenti all'interno di un ordito che sfugge a qualsiasi forma di modularità. (Fonte: <http://www.parisdailyphoto.com/2010/04/green-oasis.html>)

²⁹ Il sistema del *Mur Vegetal* verrà trattato con maggior precisione all'interno del paragrafo V.1

L'operato di Blanc, invece, sfruttando quella che è stata un'innovazione fondamentale per tutte le discipline legate ad agronomia e botanica, ossia la *coltivazione idroponica*³⁰, ha potuto pervenire al concepimento di una parete a verde che si compone di un altissimo numero di specie vegetali (*tappezzanti, erbacee ed arbustive*) diverse per ognuna delle sue installazioni, dalla vegetazione molto folta e dalla elevatissima varietà di colori, riuscendo ad operare una vera e propria secessione rispetto a tutto quello che l'aveva preceduto. Tramite la coltivazione idroponica è possibile collocare delle piante anche in quota e senza la necessità che esse vengano piantate su suoli o substrati organici a matrice terrosa. Ciò permise al botanico di pervenire ad un sistema molto leggero e flessibile, che permette l'impianto di moltissime piante diverse anche in spazi ravvicinati. Come già accennato le opere di Blanc sono oramai note a livello planetario, e la loro indubbia qualità figurativa ne ha permesso l'accettazione su larga scala.



Fig.II.44 – A sinistra. *Sambuchi Architects*, studio dentistico a Otake (Giappone). Vista aerea. La continuità tra superfici orizzontali e verticali è realizzata mediante la medesima tecnologia di copertura a verde estensivo. Si noti la differenza di resa formale tra la clinica dentistica e gli edifici circostanti, resa possibile grazie all'impiego delle tecnologie d'inverdimento. (Fonte: Redazionale di *Detail*, "Zahnklinik in Otake", in bibl., p.1406)

Fig.II.45 – A destra. *Sambuchi Architects*, studio dentistico a Otake. Vista dell'interno: le zone di aspetto e gli spazi di lavoro sono orientati verso la copertura a verde che si inclina fino a rasentare la verticalità. L'edificio è concepito come un manufatto quasi totalmente introverso, e l'impiego di questa particolare tipologia di copertura garantisce un effetto di "vista sul verde" pur trovandosi in un contesto edilizio molto fitto. (Fonte: Redazionale di *Detail*, "Zahnklinik in Otake", in bibl., p.1408)

³⁰ «Per coltivazione idroponica si intende una delle tecniche di coltivazione fuori suolo: la terra è sostituita da un substrato inerte (argilla espansa, perlite, vermiculite, fibra di cocco, lana di roccia, ecc). La pianta viene irrigata con una soluzione nutritiva composta dall'acqua e dai composti (per lo più inorganici) necessari ad apportare tutti gli elementi necessari assunti normalmente con la nutrizione minerale. La tecnica è altrimenti conosciuta con il termine di *idrocoltura*.» Fonte: <http://www.treccani.it>

Parallelamente allo sviluppo del *Mur Vegetal* anche un altro elemento ha favorito l'approdo alle tecnologie d'inverdimento verticale contemporaneo, ossia la progressione tecnica e normativa registrata negli ultimi anni da parte del sistema delle coperture a verde. Infatti, se quella delle pareti verdi può apparire a prima vista come un'alternativa tecnologica quantomeno ardita, la copertura a verde è invece da secoli conosciuta ed accettata. È quindi possibile affermare che i tetti verdi e le loro grandi potenzialità sia architettoniche che tecnologiche hanno contribuito a favorire l'accettazione del Verde Verticale.

Elementi d'innovazione che hanno interessato prima di tutto il sistema della chiusura superiore a verde (come l'aumento della tecnologia intrinseca globale del sistema e delle molteplici stratigrafie che lo compongono, la progressiva riduzione di pesi e spessori, l'affinamento di sottostrutture e sistemi di supporto, l'aumento della tecnicizzazione delle stratigrafie, lo sviluppo normativo in atto e che lo interessa direttamente, la possibilità di giungere a pendenze sempre maggiori), giungendo successivamente anche ad interessare il sistema del Verde Verticale, sono tutte caratteristiche che hanno permesso l'approdo alla contemporanea concezione delle chiusure verticali vegetate.



Fig.II.46 – Confronto tra due sistemi per l'inverdimento parietale. A destra un rivestimento a verde realizzato mediante specie rampicanti piantate a terra ed aggrappate alla superficie muraria. A sinistra il sistema industrializzato *Tecology* (cfr. capitolo V): esso è realizzato mediante una sottostruttura in alluminio distaccata qualche centimetro dalla superficie retrostante, che supporta dei moduli inverniti dello spessore di 6 cm. e realizzati in polipropilene. All'interno dei moduli sono alloggiati delle specie vegetali erbacee. L'apporto idrico e dei nutrienti necessari alla vita delle piante è garantito da un impianto automatizzato di idrocoltura. Si noti la grande differenza tecnologica e concettuale che intercorre fra i due.

Il tetto a verde è dunque un sistema tecnologico le cui progressioni ed innovazioni hanno permesso di approdare prima alla verticalizzazione, o quasi, del sistema stesso e poi al concepimento del Verde Verticale (Fig.II.44 e Fig.II.45). Infatti, se tutte le svariate sfaccettature e declinazioni dell'inverdimento parietale odierno sono profondamente differenti dal sistema storico del rivestimento

vegetale – le moderne tecnologie di vegetalizzazione delle facciate sono caratterizzate da una molteplicità di strati e sottosistemi alcuni dei quali anche molto tecnicizzati e complessi ed ognuno di essi deputato ad assolvere a precise funzioni, mentre le piante rampicanti aggrappate a superfici murarie sono tutto sommato dei sistemi semplici (Fig.II.46) – esso è invece per molti aspetti paragonabile a quello della copertura a verde.

Tale correlazione consequenziale è così netta che alcune fra le prime sperimentazioni contemporanee in materia d'inverdimento verticale sono state eseguite proprio mediante l'implementazione (a volte addirittura eseguita in modo artigianale) di sistemi per tetto verde, come accadde ad esempio per la scuola di Obernai in Francia, realizzata nel 2004 su progetto di Duncan Lewis (Fig.II.47). In tale edificio l'architetto adattò alla messa in opera in verticale un sistema per la realizzazione di coperture a verde: una lamiera metallica stirata, posta sopra a delle vasche polimeriche contenenti substrato, impedisce che substrato e vegetazione scivolino verso terra (Fig.II.48). Le piante ivi impiegate sono di *sedum*, specie vegetale solitamente adottata nelle coperture a verde estensivo. È interessante notare come il progetto per la scuola di Obernai rappresenti una sorta di “abbattimento del vincolo cognitivo”; quindi un passaggio incrementale, sia concettuale che tecnologico, che permise di approdare ad una concezione evoluta di parete a verde, configurandola come derivazione tecnologica dei giardini pensili.



Fig.II.47 – A sinistra: Duncan Lewis, centro scolastico, Obernai (Francia), 2004. Le superfici verticali parzialmente inverdite sono realizzate mediante l'adattamento di tecnologie per la realizzazione di coperture a verde estensivo; tale adattamento è avvenuto in maniera del tutto artigianale. (Fonte: <http://www.flickr.com/photos/construmatica/473411504/sizes/o>)

Fig.II.48 – A destra: Duncan Lewis, centro scolastico, Obernai (Francia), 2004. Dettaglio sulla chiusura verticale: le parti vegetate non sono completamente integrate alla superficie verticale dell'edificio, ma è riscontrabile una consistente intercapedine all'interno della quale sono alloggiati le sottostrutture di supporto ai pannelli inverditi ed il sistema d'irrigazione automatica composto da ali gocciolanti in PVC. (Rielaborazione da: WELLER, BERNHARD et al., “Material wirkt – Neue Entwicklungen an der Fassade”, in bibl., p.1297)

Nella diffusione recente delle tecnologie d'inverdimento parietale hanno avuto un ruolo fondamentale gli architetti di fama internazionale. Esperienze come quelle già illustrate di Shigeru Ban

hanno riportato in voga l'impiego del rivestimento a verde in chiave contemporanea, mentre per la diffusione dell'operato di Patrick Blanc hanno avuto notevole importanza le figure di Jean Nouvel e Renzo Piano. Il primo è stato uno dei primi progettisti a comprendere le grandi potenzialità dell'impiego dei muri vegetali in architettura³¹, collaborando più volte con Blanc e realizzando nelle pareti esterne del *Musée du Quai Branly* a Parigi un muro vegetale di 800 mq; mentre Piano ospitò un'installazione di Blanc già all'interno dell'acquario di Genova (Fig.II.49), nel lontano 1992. Da tale momento in poi le installazioni di Blanc hanno potuto registrare una risonanza planetaria: oggi le sue installazioni sono conosciute e copiate dappertutto – fatto che giustifica tale brevetto come una vera e propria invenzione fondamentale – ed hanno contribuito allo sviluppo industriale di moltissimi sistemi concorrenti.



Fig.II.49 – Renzo Piano Building Workshop, Acquario di Genova, 1992. Nella Sala del Madagascar è presente un'installazione di *Mur Vegetal* firmata da Patrick Blanc. (Fonte: LAMBERTINI, ANNA, *Giardini in verticale*, in bibl, p.106)

La grande spinta verde degli ultimi vent'anni si può anche ulteriormente interpretare come il reimpiego in chiave contemporanea delle tradizioni del passato. Sempre nel 1992 avvennero altri due eventi fondamentali nel decorso della storia dell'architettura contemporanea, ossia l'esposizione universale di Siviglia ed il *Summit della Terra* di Rio de Janeiro (Brasile) organizzato dalle Nazioni Unite. Vista la concomitanza con l'importantissimo evento dell'ONU finalizzato alla salvaguardia ambientale planetaria, l'Expò spagnolo si rivelò un laboratorio fondamentale nella riscoperta dei

³¹ Fino a prima di instaurare una collaborazione con Jean Nouvel, Blanc aveva eseguito solo opere e di piccola scala e molto spesso in ambienti interni.

meccanismi di climatizzazione ambientale degli spazi aperti urbani, in cui – come esplicito nel capitolo VI del presente lavoro – possono avere un ruolo fondamentale *tutte* le tecnologie verdi. Alla luce di ciò – oltre ad una serie di moltissime altre importanti innovazioni che esulano dagli argomenti di questa ricerca – vennero riscoperte tutte quelle pratiche d'integrazione tra architettura e vegetazione che possono fornire una contribuzione alla climatizzazione urbana (Fig.II.50 e Fig.II.51). Tecnologie d'integrazione che contemplano come primario l'impiego di tetti e pareti verdi quali elementi di mitigazione climatica e ambientale.



Fig.II.50 – A sinistra: SITE, *Avenue Five*, Expò di Siviglia (Spagna), 1992. Utilizzo della pergola vegetata per la schermatura solare di strade pedonali. (Fonte: WINES, JAMES, *Green architecture*, in bibl., p.114)

Fig.II.51 – A destra: Luciano Rodrigo Marhuenda, padiglione di accesso all'*Alhambra* di Granada (Spagna), 1996. La pergola verde per la protezione solare è stata qui reinterpretata in chiave contemporanea mediante l'utilizzo del calcestruzzo armato come base strutturale.

Degna d'interesse la questione che oggi giorno i fattori che portano ad una forte reintroduzione degli elementi vegetali all'interno delle conurbazioni (e viceversa), anche in seguito alla proliferazione dei paradigmi culturali ed operativi dettati dallo sviluppo sostenibile, è molto spiccata: allo stato dell'arte odierno l'architettura e l'arte del paesaggio sembrano, a differenza di quello che accadde durante tutto il XX secolo, poter tornare a convivere in uno stato maggiormente simbiotico e prolifico. Non solo l'architettura accoglie dentro di sé gli elementi naturali del paesaggio circostante per trarne beneficio, ma un rapporto più equilibrato e rispettoso nei confronti dell'ecosistema sembra tornare ad essere una delle priorità della razza umana. Due esempi di tale rinnovata sensibilità, tra i tanti reperibili, potrebbero essere rappresentati dalle case sugli alberi dello studio Baumraum³² (Fig.II.52) o sulla recente inaugurazione della *High Line* di New York.

Nel primo caso si tratta di sperimentazioni progettuali per lo più dedicate a *dependances* di pertinenza di altre case, ma la collocazione dei manufatti ed il rapporto che questi dimostrano coi vari contesti d'inserimento dimostrano chiaramente quale sia la gerarchizzazione tra ambiente costruito ed

³² Per l'approfondimento si veda il sito web ufficiale dello studio di progettazione: <http://www.baumraum.de>

ecosistema dimostrata dallo studio di progettazione austriaco. Importanza ambientale rispettata anche nelle scelte tecnologiche finalizzate alla realizzazione di tali architetture: gli elementi strutturali e tecnologici sono concepiti e realizzati nel totale rispetto degli alberi di sostegno, in modo da impattare nel minor modo possibile sulla natura.

La *High Line NY* (Fig.II.53) consiste invece nella rinaturalizzazione di una linea ferroviaria dimessa nel centro della metropoli statunitense di New York³³. Mediante una serie di opere paesaggistiche, architettoniche e di arredo urbano, la ex linea ferroviaria sopraelevata è oggi diventata un parco fortemente utilizzato dalla cittadinanza. Recuperare a verde una così ampia porzione di tessuto urbano precedentemente occupato dalla grande infrastruttura ha permesso, di fatto, di introdurre in pieno centro città un nuovo polmone verde importantissimo sia dal punto di vista ambientale che climatologico. Le grandi infrastrutture urbane giocano un ruolo fondamentale nell'occupazione del tessuto urbano, e la loro ricollocazione o spostamento potrebbe procurare interessanti ambiti di ri-progettazione a verde.



Fig.II.52 – A sinistra: Baumraum, casa sull'albero della famiglia Djuren. La tecnologia costruttiva è mista in acciaio e legno. Tutti i dettagli architettonici sono concepiti con l'obiettivo del massimo rispetto possibile per la pianta integrata all'edificio. (Fonte: <http://www.baumraum.de>)

Fig.II.53 – A destra: Scorcio aereo su una porzione della *High Line NY*, New York (USA). Si noti la grande estensione della ex linea ferroviaria sopraelevata ed attualmente inverdita mediante una tecnologia di copertura a verde. La *High Line* attraversa la metropoli statunitense per una lunghezza di circa 2,3 Km. ed è rialzata di 9 m. rispetto al livello carrabile sottostante. (Fonte: http://farm4.static.flickr.com/3435/3251261062_fc1a0a9f70_b.jpg)

Ulteriore esempio del tentativo di città e metropoli contemporanee nel ritornare ad avere una dimensione maggiormente a misura d'uomo, che si contraddistingue sicuramente anche tramite la più

³³ Il sito web ufficiale della *High Line NY* è <http://www.thehighline.org>

o meno elevata presenza di verde urbano pubblico e privato, l'esperienza progettuale di *Infinity Forest Project* (Fig.II.54), ideato da Scale Architecture per la città di Sidney. Lo studio australiano ha realizzato una serie di interventi temporanei – denominate «oasi» – finalizzati alla creazione di nuovi spazi verdi all'interno del tessuto cittadino. Nel caso qui riportato come esemplificazione, si tratta di una nuova area ricavata nello spazio di risulta compreso tra alcuni edifici alti nella *downtown* della metropoli australiana, solitamente utilizzato come “zona fumatori” dalle persone che lavorano in tali grattacieli. L'intervento è realizzato mediante una scatola di legno aperta in copertura, che al suo interno contiene degli alberi e delle pareti specchianti: tali specchiature moltiplicano all'infinito la percezione del verde da parte dei visitatori che vi entrano. L'installazione, seppur provocatoria, lascia comprendere interessanti potenzialità offerte dall'attività progettuale in merito ad una concezione maggiormente naturale dello spazio antropizzato, e consente di intravedere inedite possibilità di rinaturalizzazione dei tessuti urbani delle nostre città e metropoli.

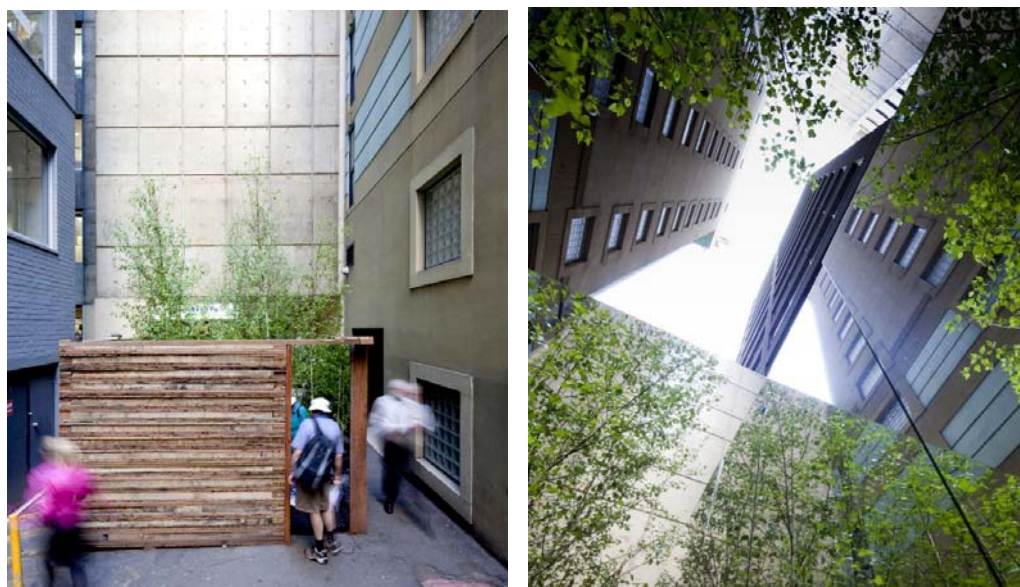


Fig.II.54 – A sinistra: Scale Architecture, *Infinity Forest Project*, Sidney (Australia), 2010. Lo spazio tra alcuni grattacieli è stato temporaneamente trasformato in area verde, mediante l'inserimento di un piccolo edificio di legno contenente alcune specie arboree di piccole dimensioni. (Fonte: <http://www.archdaily.com>)

Fig.II.55 – A destra: Scale Architecture, *Infinity Forest Project*, Sidney (Australia), 2010. Vista dall'interno verso il cielo. Le superfici specchianti dell'installazione moltiplicano all'infinito la percezione della vegetazione. Si noti anche la grande altezza dei grattacieli che attorniano l'installazione. (Fonte: <http://www.archdaily.com>)

In conclusione di questa sezione della trattazione è opportuno evidenziare come nonostante «la natura goda di una libertà tale da resistere al tentativo umano di imbrigliarla, il progettista contemporaneo si ostina a sfidarla, in direzione di una controversa assimilazione tra l'edificio e l'ambiente che lo contiene: architetture che cercano ospitalità nel grembo della terra, residenze costruite attorno a rocce e alberi, spalliere verdi proposte come facciate»³⁴ sono state solo sinteticamente illustrate all'interno di questi paragrafi, dimostrando come l'integrazione tra manufatto

³⁴ POZZI, CARLO, *Ibridazioni architettura/natura*, in bibl., p. quarta di copertina

edilizio ed ambiente naturale sia da lungo tempo riscontrabile, si sia evoluta nel decorso delle epoche storiche e sia tuttora in costante aggiornamento ed implementazione.

II.5. Verde Verticale: una proposta di classificazione

Dopo aver introdotto il concetto generico di Verde Verticale all'interno del paragrafo I.5, si rende necessario procedere alla specificazione di alcune definizioni classificatorie tese ad esplicitare e dimostrare quale sia l'odierna variegata offerta di sistemi per l'inverdimento parietale esistenti. Si procederà dunque con l'introduzione di alcune definizioni³⁵ aventi il compito di declinare quali sono i tre macrogruppi di pareti a verde oggi rilevabili e gerarchicamente sottostanti a quello del Verde Verticale, ossia il *rivestimento a verde*, la *chiusura vegetata* ed il *muro vegetale*.

Macrogruppi aventi comunque il solo scopo di individuare dei campi d'azione differenti ed imputabili alle svariate tipologie di Verde Verticale oggi riscontrabili, pur tenendo debitamente conto del fatto che, come si vedrà meglio nel prosieguo della trattazione, oltre ad esistere la possibilità d'individuazione di altri sottogruppi finalizzati all'essere più precisi nella definizione tecnica e tecnologica dei vari sistemi, dimostrano anche come alcune volte i confini tra le varie tipologie non siano così netti o distinguibili.

Rivestimento Vegetale

Il *rivestimento a verde*³⁶, o *rivestimento vegetale*, è la forma maggiormente storicizzata di Verde Verticale. Esso, come visto, è conosciuto fin dall'antichità, e come dice la stessa parola "rivestimento" indica un qualcosa appoggiato sopra ad un'altra, trattandosi nello specifico di un apparato vegetale in appoggio ad una superficie edilizia. Questa tipologia di sistema, riscontrabile in lingua anglosassone con la locuzione di *green façade*, consiste in un sistema tecnologico molto o relativamente semplice a seconda che il sistema vegetale aggrappi direttamente alla superficie della parete o che lo faccia con l'ausilio di una sottostruttura di supporto (come ad esempio strutture retate, telai, griglie, sistemi tesati, ecc, solitamente in materiale metallico o polimerico). Un rivestimento a verde è quindi considerabile come un sistema vegetale supplementare ad una chiusura edilizia: chiusura che, comunque, potrebbe sussistere anche senza la presenza delle piante (Fig.II.56).

³⁵ Non si ha alcuna pretesa, in questa sede, di fornire un apparato interpretativo univoco in materia, o peggio, quello di imporre una classificazione tassonomica definitiva. L'intenzione è semmai quella del tentare di far luce su un argomento ancora scarsamente approfondito e che gode tutt'oggi di grandissima confusione, interpretandolo coi canoni della Tecnologia dell'Architettura. Si tiene perciò ad evidenziare che sono reperibili in letteratura altri apparati interpretativi e classificatori più o meno discordanti da quello qui proposto. Cfr. LAMBERTINI, ANNA, "Dal verde parietale al giardino verticale. Progettare con la techno-natura", in bibl; BELLINI, OSCAR EUGENIO, DAGLIO, LAURA, *Verde Verticale – Aspetti figurativi, ragioni funzionali e soluzioni tecniche nella realizzazione di living walls e green façades*, in bibl; GRHC – GREEN ROOFS FOR HEALTHY CITIES, *Introduction to Green Walls – Technology, Benefits & Design*, in bibl.

³⁶ Il terzo capitolo della ricerca è completamente dedicato ai *rivestimenti a verde*.

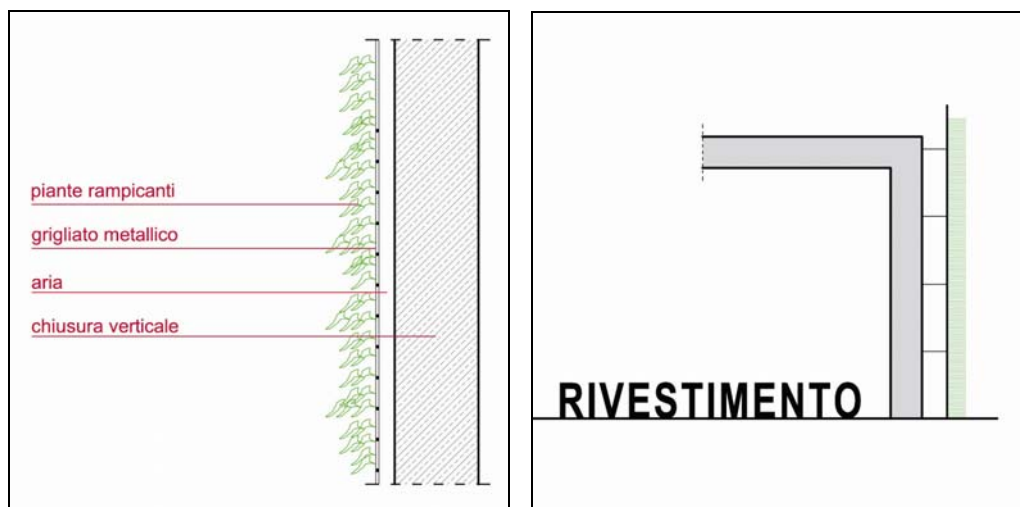


Fig.II.56 – A sinistra. Disegno di dettaglio che illustra la stratigrafia tipo di un rivestimento vegetale, nel caso dell’ utilizzo di specie rampicanti.

Fig.II.57 – A destra. Icona tipologica impiegata nella schedatura dei casi-studio (cfr.III.6), indicante la tipologia del rivestimento a verde.

Tale bassa complessità tecnologica si ripercuote anche nella varietà di specie vegetali impiegabili e nella loro modalità d’impianto. Infatti, le piante utilizzabili con questo sistema sono poche e fanno riferimento alle specie vegetali rampicanti o a portamento decombente, in quanto esse sono le uniche che, grazie alla propria grandezza e possibilità di sviluppo spaziale e nel tempo, riescono a garantire un ricoprimento del paramento murario senza la necessità che i rami siano in stretta vicinanza ai propri organi radicali. Ciò implica che anche il sistema per la messa a dimora dei vegetali sia relativamente semplice, essendo suddiviso tra le specie piantate a terra o mediante vasi/fioriere posti in quota.

Le modalità d’impianto sono due: a terra (Fig.II.58) o mediante specifiche strutture in quota (Fig.II.59). Nella prima la pianta viene collocata alla base del muro da rivestire e necessita, quindi, di un buon volume di terreno dove poter sviluppare il proprio apparato radicale, nonché di un certo tempo per crescere ed inverdire completamente la parete deputata: un tempo idoneo, che dipende dalle caratteristiche della specie e da quelle del contesto ambientale d’impianto. Quando le piante vengono poste in quota richiedono invece un sottosistema di vasi e fioriere poste inter piano o comunque distanti dal suolo, contenenti terreno o substrati organici, dove esse possano perciò anche essere alloggiati a distanza dal piano di campagna. Da tali vasi e fioriere il rivestimento vegetale potrà ricadere verso il basso o arrampicarsi in altezza a seconda che il portamento della specie prescelta sia decombente o rampicante.



Fig.II.58 – A sinistra: Esempio di rivestimento vegetale presso la piscina di Merano (BZ). Questa è la tipologia più semplice in assoluto: la pianta rampicante è collocata a terra e le sue propaggini vegetali aggrappano direttamente sulla superficie muraria.

Fig.II.59 – A destra: Kengo Kuma, edificio Z58, Shanghai (China): dettaglio della facciata. Il rivestimento verde è in questo caso realizzato mediante una serie di fioriere lineari poste a differenti quote in altezza davanti ad una parete vetrata. Le specie vegetali non trovando in questo caso una superficie dove aggrapparsi e crescere, una volta che si saranno maggiormente sviluppate ricadranno verso il basso, formando uno schermo vegetale a portamento decombente. Si noti nell'angolo in basso a sinistra uno dei terminali dell'impianto d'irrigazione automatizzato. (Fonte: LAMBERTINI, ANNA, *Giardini in verticale*, in bibl., p.223)

Chiusura Verticale Vegetata

Stadio evolutivo e diretta conseguenza del progresso tecnologico un'altra tipologia sistemica di parete verde, ossia la *chiusura verticale vegetata* consistente in una chiusura edilizia in cui la porzione di vegetazione è considerabile come una componente funzionale fondamentale ed intimamente integrata alla restante parte tecnologica³⁷. Seppur, a ben vedere, alcune caratteristiche archetipiche di questo sistema potrebbero essere reperite nei *turf buildings* dell'antichità descritti in apertura di capitolo, la chiusura vegetata è comunque da considerarsi un elemento tecnologico prettamente contemporaneo.

Essa si distingue dal rivestimento a verde innanzitutto per un motivo agronomico, e cioè che il sistema in esame è pervaso da uno strato di finitura vegetale che ricopre tutte le parti (o comunque la stragrande maggioranza) di una superficie edilizia. Finitura vegetale superficiale che, inoltre, ne permette un impiego di pressoché tutte le specie vegetali esistenti, una volta che ne siano rispettate le esigenze fisiologiche ed ambientali (come ad es. temperature cardinali³⁸, esposizione solare, richiesta di nutrienti, ecc) delle piante prescelte: si viene così a ricreare tra la superficie architettonica e le specie vegetali un'intima e proficua integrazione (Fig.II.60).

³⁷ Il quinto capitolo della ricerca è completamente dedicato alle chiusure verticali vegetate.

³⁸ Si rimanda al paragrafo IV.5.2 del quarto capitolo per la descrizione di che cosa siano le temperature cardinali minime, ottimali e massime delle piante.

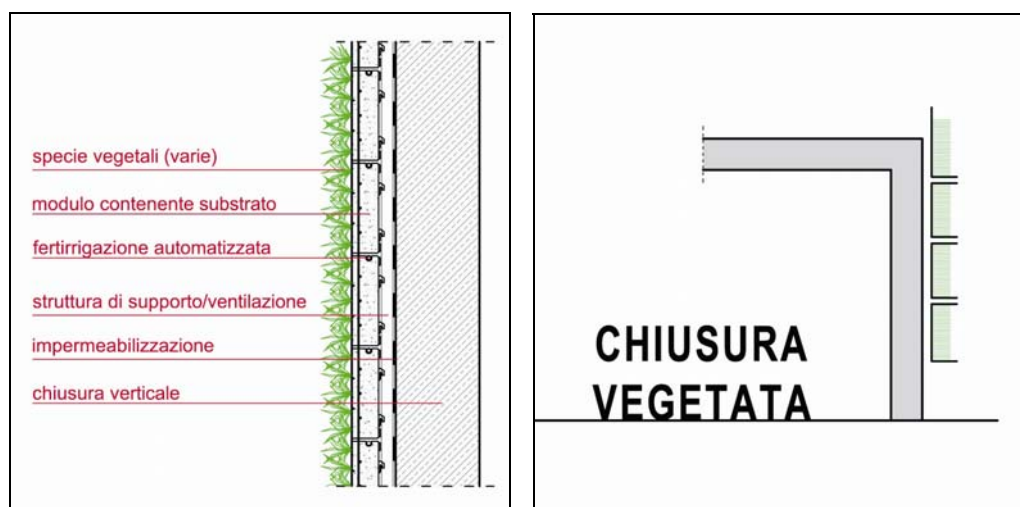


Fig.II.60 – A sinistra. Dettaglio che illustra una stratigrafia tipo di chiusura verticale vegetata. Vista la grande varietà di sistemi esistenti che appartengono alla presente categoria, è stata in questo caso selezionata un’opzione tecnologica fra le molteplici rilevabili, allo scopo di illustrare le caratteristiche del sistema: tutte le variati tipologiche possibili verranno debitamente esplicate nei capitoli centrali della ricerca. Il sistema d’impianto qui raffigurato si compone di moduli scatolari contenenti substrato.

Fig.II.61 – A destra. Icona impiegata nella schedatura dei casi-studio relativi alla tipologia delle chiusure verticali vegetate: cfr. V.3.

Anche la locuzione inglese che solitamente viene utilizzata per indicare questo particolare sistema di Verde Verticale, ossia quella di *living wall*, indica abbastanza esplicitamente ed in maniera enfatica come l’intero muro sia *vivente*, palesando come le piante siano in questo caso, appunto, una componente *tecnologica* vera e propria della facciata: nei rivestimenti verdi le propaggini vegetali invadono il muro nel tempo, mentre concettualizzando si potrebbe in questo caso affermare che nelle chiusure vegetate tutte (o quasi) le parti della parete inglobano una o più specie vegetali viventi. Tale continuità di finitura superficiale si ripercuote inoltre nella necessità di proteggere gli strati funzionali retrostanti dal possibile passaggio di umidità, richiedendo delle attenzioni tecnologiche finalizzate al bloccaggio del passaggio di acqua liquida o sottoforma di condensa: tale esigenza richiede perciò molto spesso uno strato impermeabile di tenuta idrica che fa tendere tale sistema alla totale similitudine con quello che, come detto, è il sistema tecnologico edilizio che ha permesso l’approdo della vegetazione anche alle pareti degli edifici, ossia la copertura a verde. Per il motivo in questione, ossia quello della presenza di uno strato di tenuta impermeabile, tali tipologie di chiusure edilizie possono anche venire definite *verde verticale continuo*, o *pareti a verde continuo*.

Nelle chiusure verticali vegetate la componente tecnologica è fondamentale sia per quanto concerne gli aspetti costruttivi che per quelli gestionali; perciò si è deciso di impiegare il termine “chiusura”, come indicato nella normativa UNI³⁹, al fine di accentuare la declinazione tecnologica del sistema, e per fare inequivocabilmente rientrare tali tipologie all’interno dei sistemi tecnologici riferiti all’edilizia.

Questo per due motivi. Il primo perché quando si ha a che fare con delle tipologie molto evolute e di ultima generazione come quelle in esame si viene a contatto con un’alta tecnologia intrinseca globale che, a differenza del rivestimento vegetale precedentemente illustrato, caratterizzano questi

³⁹ UNI 8290-1:1981, *Edilizia residenziale – Sistema Tecnologico – Classificazione e terminologia*.

mediante un'elevata tecnologia sistemica e dei suoi componenti. Elevata componente tecnologica che porta questi sistemi ad essere configurati mediante partizioni modulari e prodotte industrialmente, sia per quel che ne riguarda le parti costitutive che per quelle impiantistiche, finanche addirittura alla parte vegetale⁴⁰ (Fig.II.62).



Fig.II.62 – Esempio di chiusura verticale vegetata. Si noti la scansione modulare delle parti invedite di facciata, che si ripercuote in una resa formale abbastanza rigida. (Fonte: <http://www.g-sky.com>)

In secondo luogo perché essi nascono tutti in seguito all'invenzione della coltivazione idroponica, assimilabile nelle pratiche e negli assunti teorici ad una produttività tipicamente industrializzata ed intensiva, con la conseguenza che oggi, anche se non è una regola assoluta, la stragrande maggioranza di questi sistemi impiegano proprio tale tipologia di coltivazione. La scelta dell'idrocoltura porta a dover concepire il sistema d'irrigazione come un impianto totalmente automatizzato e programmabile, conducendo quindi anche la modalità di coltivazione ad assumere un'impronta altamente tecnologica.

Queste le caratteristiche principali delle chiusure vegetate come gruppo di classificazione tecnologica che sottende un'ulteriore necessaria specificazione identificativa, ossia quella dei muri vegetali. Essa, seppur nata probabilmente in precedenza, è oggi da considerarsi un sottogruppo delle chiusure vegetate verticali.

⁴⁰ Gran parte dei sistemi industrializzati che stanno nascendo negli ultimi anni adottano una tecnica di pre-vegetatura in vivaio, che permette alle varie industrie di condurre in cantiere dei moduli parietali già completamente provvisti di vegetazione matura o ad un discreto stato di avanzamento vegetativo, solitamente denominati "pronto effetto".

Il Muro Vegetale

Il *muro vegetale*⁴¹ è una particolare sottotipologia di parete a verde, appartenente al gruppo delle chiusure verticali vegetate. Seppur tale tipologia di parete sottenda gran parte delle caratteristiche descritte in precedenza, essa presenta però qualche peculiarità che riesce a conferirgli una declinazione autonoma. La differenza sostanziale sta nella industrializzazione del sistema e nelle sue modalità di realizzazione. Se la chiusura verticale vegetata può essere tranquillamente paragonata ad un qualsiasi altro sistema tecnologico di origine industriale, come ad esempio una facciata ventilata, il muro vegetale viene sì solitamente realizzato mediante componenti che possono anche essere dedotti dalla produzione industriale, ma richiedendo però una presenza più cospicua in tutte le fasi operative che porteranno alla ultimazione dell'opera da parte di colui che sarà deputato a realizzarlo (Fig.II.63).

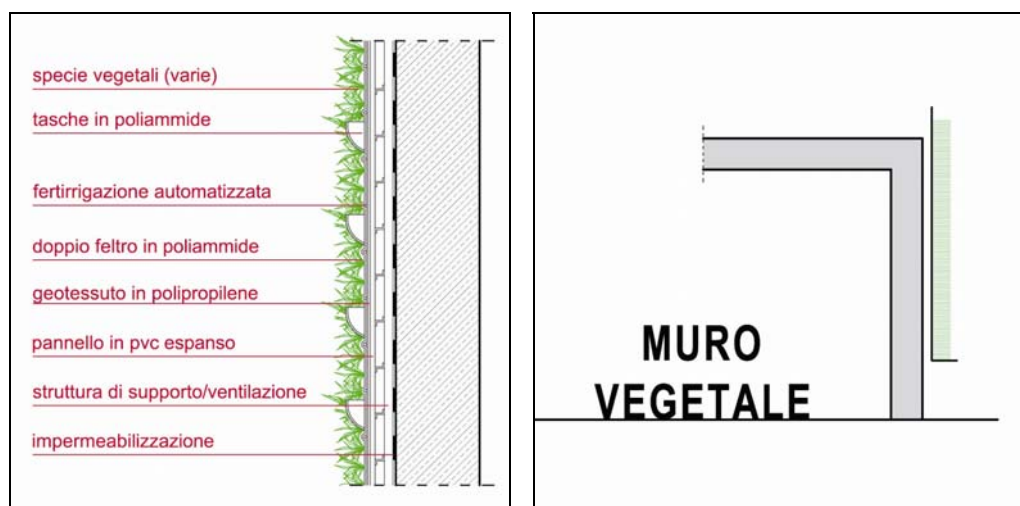


Fig.II.63 – A sinistra. Stratigrafia tipo di un muro vegetale. Il sistema rappresentato è quello brevettato dal botanico francese Patrick Blanc e denominato, appunto, *Mur Vegetal*: tale tipologia utilizza del feltro in poliammide come substrato (inorganico) per l'impianto dei vegetali.

Fig.II.64 – A destra. Icona impiegata nella schedatura dei casi-studio che presentino un muro vegetale: cfr. V.3.

L'invenzione di questo particolare tipo di parete verde è sicuramente, ancora una volta, da imputare a Patrick Blanc, come del resto anche il conio del suo nome: *Mur Vegetal* è infatti il nome che il botanico francese ha scelto per il suo brevetto, mentre *Vertical Garden* la sua traduzione anglosassone. Nomenclatura inglese che assume in questo caso specifico una grande importanza, in quanto proprio la parola "giardino" indica una delle peculiarità che hanno qui notevole peso. Infatti, se nel caso delle chiusure vegetate l'industrializzazione e la modularità del sistema ne provocano una riuscita formale abbastanza rigida dovuta alla presenza di sezioni modulari dalle dimensioni standardizzate, ciò non accade per i muri vegetali che sono sempre concepiti mediante un controllo molto serrato del suo esecutore, implicandone l'attiva presenza durante tutte le fasi progettuali e realizzative. Accade quindi che la parola "giardino" sia quanto mai azzeccata per definire tali tipologie

⁴¹ Una cospicua sezione del quinto capitolo è dedicata ai *muri vegetali*.

sistemiche, in quanto il giardino *verticale*, come da sempre accade per quello *orizzontale*, implica la possibilità di sperimentare infinite forme e combinazioni di vegetazione sempre differenti tra loro; cosa che ovviamente sarebbe molto più difficoltosa da compiere con una sottostruttura compositiva modulare: la chiusura vegetata è più rigida sia formalmente che come possibilità di finitura vegetale (Fig.II.65).



Fig.II.65 – Esempio di giardino verticale. Nel caso specifico si tratta di un modulo dimostrativo prodotto dall'azienda *Verdecrea* sviluppando il brevetto *Mur Vegetal* di Patrick Blanc. Si denota come questa tipologia possa godere di una resa formale molto eterogenea e dall'altissima qualità, componendosi all'occorrenza di un elevato numero di specie vegetali differenti.

Altra caratteristica che si è voluta legare al muro vegetale è la possibilità che esso, appunto in quanto *muro* e non chiusura edilizia, possa anche non fare direttamente parte di un manufatto edilizio ma possa piuttosto, ad esempio, formare una struttura libera finalizzata a rispondere a specifici obiettivi, come una barriera fonoassorbente vegetata piuttosto che elemento puramente decorativo (e senza cioè l'obbligo di rispondere a precisi obiettivi funzionali o di classe esigenziale). Concludendo si potrebbe affermare che la declinazione assoggettata al muro vegetale implica una minor industrializzazione del sistema parallelamente ad una più elevata attività progettuale e realizzativa, esattamente l'inverso di quel che accade per le chiusure verticali vegetate in cui una forte ricerca ed implementazione del prodotto a monte si traduce in minori controllo formale e di realizzazione in cantiere. Perciò, il «giardino verticale può essere allora indagato anche come espressione di un'ideale di *bella natura* concepito per l'ambiente urbano: una *quinta natura* tecnologicamente specializzata, che si sviluppa e cresce grazie all'uso di particolari impianti e tecniche colturali, dando vita a immagini

ibride in cui differenti materiali, organici ed inorganici, vegetali e minerali, si integrano vantaggiosamente.»⁴²

II.6. Il contributo della sperimentazione artistica quale progenitrice del fenomeno della parete verde

Nell'approdo agli attuali modelli del Verde Verticale ha giocato un ruolo importante l'apporto offerto dalle varie forme d'arte. Il contributo degli artisti contemporanei nel pervenire ad una coscienza diffusa che sia stata in grado di acquisire ed accettare la possibilità di inverdire le facciate degli edifici, è sostanzialmente di due tipi tra loro consequenziali. Il primo contributo è di matrice ideologico-concettuale: gli operatori delle arti figurative hanno concorso a sensibilizzare l'opinione pubblica mondiale in merito alle tematiche ambientali, alle criticità attualmente presentate dalla globosfera ed all'ormai insostenibile impronta ecologica della razza umana. Il mondo dell'arte figurativa ha avuto quindi, prima di tutto, un ruolo nella stimolazione culturale delle persone.

In secondo luogo, e in un momento successivo, apparvero delle rappresentazioni artistiche che contribuirono a prefigurare un *immaginario* di verticalizzazione vegetale, partecipando a raffigurare possibili orizzonti sia architettonici che tecnici, dimostrando alcune possibilità in merito ad un impiego differente e inusuale della vegetazione in ambito architettonico⁴³. Fin dagli ultimi decenni del XX secolo la sperimentazione di inedite forme d'arte si è dimostrata particolarmente ricettiva nei confronti dell'impiego della vegetazione con modalità e in contesti non convenzionali, venendo spesso supportata, anche in questo caso, dall'innovazione tecnologica. Grazie all'ideazione della tecnica idroponica – inventata qualche decennio prima nel settore dell'orto-florovivaismo⁴⁴ – fin dai primi anni Settanta si sono potute registrare le prime piccole installazioni di verticalizzazione vegetale, dimostrando probabilmente per la prima volta le potenzialità figurative e tecniche del connubio fra spazio verticale e vegetazione naturale (Fig.II.66).

Di genere e dimensioni completamente diverse ma altrettanto importante per la progressione apportata, un'installazione realizzata a Berlino dallo studio di architettura STERN negli anni Ottanta, denominata *Vertical Swamp* (Fig.II.67). L'idea fu quella di inverdire la parete cieca di un edificio inserito in un blocco urbano mediante una struttura tridimensionale di acciaio ospitante alcune specie vegetali, col tentativo di «umanizzare l'ambiente edilizio mediante tecnologie verdi ed interventi paesaggistici»⁴⁵. Venne così creata un'installazione praticabile di cinque livelli di altezza e costruita in tubolari ed orizzontamenti in acciaio, dove furono alloggiate ad ogni interpiano delle fioriere. La tecnologia costruttiva dell'installazione berlinese era semplice: la struttura di supporto venne realizzata in tubolari prefabbricati da cantiere (simili ai nostri tubi *Innocenti* o alle strutture per la realizzazione di impalcature da cantiere edile) mentre la parte vegetale consistette in normalissimi vasi in polivinilcloruro (PVC) contenenti piante e terriccio alleggerito da fioriere. L'idea di una parete a verde praticabile si dimostrò molto innovativa per il periodo e consentì di aprire inedite vie progettuali all'architettura anche strettamente contemporanea, tanto che essa venne ripresa in periodi successivi mediante altre due installazioni che, evidentemente, pagano un grosso debito a quella di STERN.

⁴² LAMBERTINI, ANNA, "Dal verde parietale al giardino verticale. Progettare con la tecno-natura", in bibl., p.9

⁴³ Si tenga conto che anche le prime opere di Patrick Blanc venivano considerate delle installazioni artistiche.

⁴⁴ Cfr. capitolo V.

⁴⁵ WINES, JAMES, *Green architecture*, in bibl., p.159

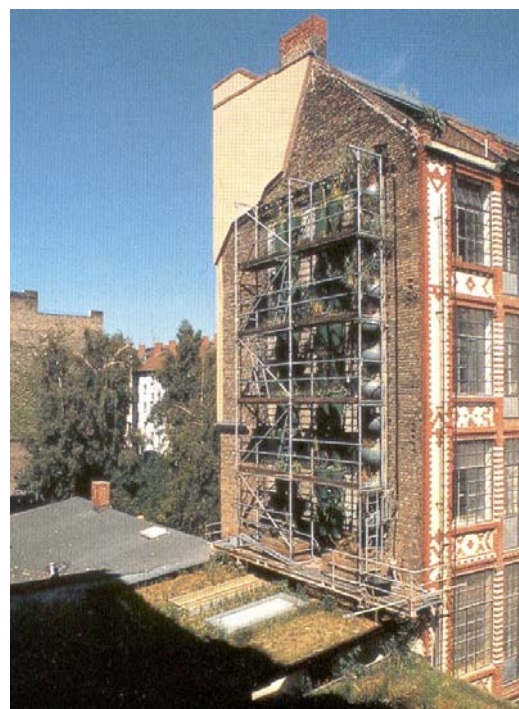


Fig.II.66 – A sinistra: *Schermo fiorito*. L'utilizzo della coltivazione idroponica e l'impiego di specie floreali permisero la realizzazione di questa installazione. (Immagine desunta da: *Grande Enciclopedia del Giardinaggio*, Curcio Editore, 1973. Fonte: Anna Lambertini)

Fig.II.67 – A destra: STERN, *Vertical Swamp*, Berlino (Germania), anni '80. La parete cieca di un blocco urbano venne integrata tramite una struttura composta da un reticolo di profili tubolari in acciaio, ed inverdita mediante l'utilizzo di specie vegetali impiantate in vaso. (Fonte: WINES, JAMES, *Green architecture*, in bibl., p.160)

L'installazione *Park up a building* (Fig.II.68) realizzata nel 1996 da Vito Acconci è un esempio di come si possa realizzare una struttura inverdita praticabile con pochissimi elementi architettonici anche all'interno di un tessuto urbano consolidato. L'artista italo-americano realizzò sulla facciata del *Centro Gallego de Arte Contemporanea* a Santiago de Compostela (Spagna), progettato da Álvaro Siza, una struttura pensile contenente alcune specie arboree di piccole dimensioni. Il sistema era costituito da supporti telescopici in alluminio pendenti dalla copertura dell'edificio, che contenevano a loro volta una serie di passerelle, livelli sfalsati e sedute metalliche. Ai vari livelli dell'installazione di Acconci furono collocati degli alberi appoggiati direttamente con la propria zolla, e senza l'impiego di vasi o fioriere. Mediante la presenza di pochi elementi strutturali e vegetali l'artista riuscì quindi a ricreare «un parco portatile, una struttura modulare pensile adattabile a qualsiasi tipo di parete priva di aperture e che può avere uno sviluppo altimetrico variabile»⁴⁶, dimostrando le potenzialità ecologiche e sociali di tale tipologia di strutture e lanciando un forte messaggio sull'importanza della vegetazione all'interno dello spazio urbano.

Il *Muro Verde di Porta Ticinese* a Milano (Fig.II.69) realizzato dallo studio *Temprano* in collaborazione con gli architetti Massimo Semola, Emanuele Bertolotti e Giovanna Longhi nacque nel 2008 come progetto di comunicazione urbana. Esso aveva l'obiettivo di ingentilire la due pareti cieche di una ferita urbana derivante dai bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale, nonché di

⁴⁶ LAMBERTINI, ANNA, *Giardini in verticale*, in bibl., p.34

testimoniare con forza il ritorno di una cultura ambientale. Anche in questo caso è stata creata una struttura praticabile contenente delle piante e sovrapposta alla parete edilizia di base, realizzandola mediante la tecnologia dei normali ponteggi da cantiere. Le specie vegetali adottate (aleandro, gelsomino, edere, bitosforo e spiree) sono disposte in vasi di PVC posti ad ogni interpiano, mentre l'impianto d'irrigazione è automatizzato e composto da ali gocciolanti sempre in PVC. Questo progetto, inizialmente concepito come installazione temporanea, è stato talmente apprezzato e ben accolto dalla popolazione meneghina che a due anni dall'inaugurazione sembrerebbe che esso debba diventare permanente. Inoltre, questione assai rilevante, è che il condominio sul quale insiste l'installazione percepisce circa 10.000 Euro all'anno⁴⁷ come introito pubblicitario conseguentemente al fatto di ospitare l'installazione⁴⁸. Per di più, oltre alle importantissime funzioni ambientali ed estetiche fornite dalle piante, il *Muro Verde di Porta Ticinese* presenta una funzionalità ulteriore, ossia quella di parete anti-*writers*: da quando sono state collocate le piante sono scomparsi i graffiti dalla superficie edilizia, fino ad allora abbondantemente e costantemente presenti.

Questi tre progetti sono inoltre accomunati da una modalità operativa molto interessante, ossia la realizzazione "a posteriori". Infatti tutti e tre sono stati installati su edifici già esistenti mediante tecnologie leggere, a secco e totalmente reversibili. Tale questione apre un ventaglio di potenzialità progettuali molto ampio, che permette di considerare queste opere come molto preziose e pienamente impiegabili anche in casi di recupero edilizio o *retrofitting* energetico.



Fig.II.68 – A sinistra: Vito Acconci, *Park up a building*, Santiago de Compostela (Spagna), 1996. La struttura gradonata è composta da tubolari telescopici in alluminio e grigliati metallici. Ai vari livelli dell'installazione praticabile sono presenti alcune sedute e specie arboree di piccole dimensioni. (Fonte: LAMBERTINI, ANNA, *Giardini in verticale*, in bibl, p.35)

Fig.II.69 – A destra: Temprano, *Muro Verde*, Milano, 2008. La tecnologia costruttiva è composta da elementi modulari metallici, solitamente impiegati in edilizia per la realizzazione di ponteggi cantieristici. Le piante sono collocate in vasi posti ad ogni interpiano, e l'apporto idrico è assicurato da un impianto automatizzato d'irrigazione. Si noti la somiglianza con il *Vertical Swamp*: cfr. Fig.II.67. (Fonte: <http://www.flickr.com/photos/zetalab/2478628640>)

⁴⁷ Informazione desunta da un intervento di Claudio Parolini dello studio *Temprano* in data 26/03/2010, durante il seminario tecnico intitolato *Verde Verticale e pareti vegetate*, tenutosi a Monza (MB). Tale somma economica è comunque molto inferiore rispetto ai 20.000 € annui percepiti in precedenza dal condominio per ospitare qualche normalissimo manifesto pubblicitario.

⁴⁸ I costi di costruzione e di mantenimento della struttura sono sponsorizzati da *Enel*.

Come già accennato, le sperimentazioni artistiche che in qualche modo hanno contribuito all'espansione della verticalizzazione parietale di piante e fiori sono molteplici, alcune delle quali anche interessanti e profondamente lungimiranti. Esperienze come quelle di *Puppy* (Fig.II.70)⁴⁹, installazione floreale realizzata dall'artista statunitense Jeff Koons, dimostrano le capacità di una sperimentazione artistica assai innovativa, ma interpretabile come derivazione diretta di saperi del passato: l'opera di Koons, infatti, ricorda molto l'*ars topiaria* (Fig.II.71) di origine prima romana e poi francese, che consisteva nel conformare alberi e arbusti secondo canoni e morfologie convenzionali, facendoli assomigliare a oggetti comuni o animali.



Fig.II.70 – A sinistra: Jeff Koons, *Puppy*, 1997. L'installazione è da considerarsi come diretta discendente dell'antica arte topiaria. (Fonte: <http://www.nohaybilletes.com>)

Fig.II.71 – A destra: Esempio di *ars topiaria*: le specie vegetali rampicanti vengono fatte crescere su un grigliato metallico, appositamente conformato secondo l'aspetto dell'oggetto da rappresentare.

⁴⁹ *Puppy* ora si trova a Bilbao (Spagna) nello spazio antistante l'ingresso del *Guggenheim Museum*.



Fig.II.72 – Installazione presso la *Passerpromenade* di Merano (BZ), 2010. L'opera è composta da un insieme di elementi vegetali sia viventi che recisi, come muschi, edere, canne palustri. Il tutto è collocato su un supporto metallico verticale contenente del substrato di coltivo.

Molto interessante, e per buona parte incentrato sull'impiego della vegetazione in contesti non propriamente convenzionali, è l'operato degli artisti inglesi Ackroyd & Harvey. Essi, passando dalla scala del design (Fig.II.73) a quella dell'architettura, riescono ad inserirsi all'interno delle due categorie declinate all'inizio del paragrafo, dimostrando grande attenzione sia alla sensibilizzazione culturale della società, che nei confronti di un approccio maggiormente operativo. Le opere più interessanti ai fini della presente ricerca eseguite dal duo inglese sono sicuramente quelle più recenti. Seppur il *Dilstone Grove* (Londra, Inghilterra, 2003: Fig.II.74) ed il *Life Drawing* (Riga, Lettonia, 2004: Fig.II.75) fossero due installazioni temporanee, esse sono state degli esempi di inverdimento parietale di ultimissima concezione, avendo sorpreso ed essendo sicuramente riuscite a stimolare alcune sperimentazioni architettoniche successive. Mediante una tecnologia di inverdimento sviluppata in collaborazione con l'IGER – *Institute of Grassland and Environmental Research* – ed ottenuta mediante un impasto di acqua, fango e sementi applicati manualmente sulle superfici murarie, i due inglesi sono riusciti a ad inverdire completamente tutte le facce verticali ed orizzontali sia interne che esterne di due edifici storici⁵⁰.

⁵⁰ Il risultato formale dei lavori di Ackroyd & Harvey è notevole, e tali tecnologie d'inverdimento sembra essere state in seguito riprese e implementate dal celebre architetto-paesaggista Edouard François in una delle sue ultime realizzazioni, ossia l'*Immeuble Qui Pousse* a Chateau le Lez nei pressi di Montpellier in Francia.

Ultimo in ordine di tempo, nell'operato di Ackroyd & Harvey, il *FlyTower*; ossia l'inverdimento temporaneo delle chiusure del National Theatre di Londra. Tale installazione è avvenuta nel 2007 utilizzando la medesima tecnologia precedentemente descritta (Fig.II.76).



Fig.II.73 – A sinistra: Ackroyd & Harvey, *Tiger Grass Coat*, 1991. Questa “pelliccia erbacea” venne realizzata sfruttando il principio naturale della produzione vegetale di clorofilla: le parti direttamente illuminate producono maggiore clorofilla che dona, di conseguenza, un colore verde agli apparati vegetali; dove la luce scarseggia le propaggini vegetali tendono ad assumere una colorazione giallognola. (Fonte: <http://www.artsadmin.co.uk/projects/artist.php?id=40>)

Fig.II.74 – A destra: Ackroyd & Harvey, *Dilstone Grove*, Londra, 2003. Vista dell'interno. Tutte le pareti della cappella vennero inverdite mediante una miscela ottenuta impastando acqua, fango e sementi per prato. L'apporto idrico alle piante viene garantito annaffiandole manualmente, a cadenza periodica, con un normalissimo getto d'acqua. (Fonte: <http://igrs.sas.ac.uk/research/CMRS/DilstonGroveImages.htm>)

La ricerca di inedite configurazioni di vegetalizzazione parietale è tutt'oggi in pieno corso, e guardando al mondo dell'arte si possono scorgere molte forme di sperimentazione che contemplino l'integrazione più o meno marcata tra vegetazione ed edificio. Un esempio interessante e assai recente è quello prodotto dal collettivo di artisti spagnolo Luzinterruptus ed intitolato *Garden for a not too distant future*. L'installazione temporanea era composta da 110 contenitori plastici trasparenti del tipo di quelli solitamente impiegati per il confezionamento di prodotti alimentari: tali contenitori inglobavano al loro interno foglie e rami di alberi recuperati nelle aree circostanti alla piazza di Madrid in cui l'installazione è stata segretamente collocata, in quanto non provvista di licenza. Ogni contenitore plastico veniva a sua volta illuminato dall'interno mediante una lampadina, andando così a formare una parete verde illuminata e provvisoria.

Tale opera può essere letta come uno spunto di riflessione provocatorio, che invita anche a riflettere su molte contemporanee modalità di concepire la vegetazione e la sua integrazione con le opere di architettura o di design; inoltre, come dichiarato dagli stessi artisti, è stato operato al fine di «preservare il verde urbano, poiché se la moderna società continuasse a sradicare la vegetazione dagli spazi pubblici o a volerla ridurre su inaccessibili facciate verticali, il solo contatto che potremmo

avere in futuro con la natura potrebbe essere quello dei *freezer* dei supermercati, trovandola imballata con tanto di data di scadenza.»⁵¹



Fig.II.75 – A sinistra: Ackroyd & Harvey, *Life Drawing*, Riga (Lettonia), 2004. Il tempio neoclassico all'interno del cimitero monumentale della capitale lettone venne temporaneamente inverdito in occasione della *European Space Sculpture Quadriennial*. (Fonte: LAMBERTINI, ANNA, *Giardini in verticale*, in bibl, p.43)

Fig.II.76 – A destra: Ackroyd & Harvey, *FlyTower*, Londra (Inghilterra), 2007. Mediante la tecnica d'inverdimento messa a punto in collaborazione col centro di ricerca IGER, il duo inglese ha vegetato due delle quattro facciate della torre scenica del famoso teatro londinese. Ackroyd & Harvey dalle pagine del proprio sito web descrivono quest'opera come il loro «progetto pubblico più ambizioso», in quanto sono riusciti a «trasformare tale icona urbana in un'opera d'arte vivente». (Fonte: <http://www.brokencitylab.org/blog/national-grass-theatre>)



Fig.II.77 – Luzinterruptus, *Garden for a not too distant future*, Madrid (Spagna), 2010. Installazione temporanea composta mediante 110 contenitori alimentari in materiale plastico contenenti foglie e rami. Ogni contenitore è a sua volta illuminato dall'interno. L'opera intende stimolare un dibattito in merito al ruolo della vegetazione urbana. (Fonte: <http://luzinterruptus1.blogspot.com>)

⁵¹ Intervista a *Luzinterruptus* desunta da <http://www.designboom.com>

II.7. Le sperimentazioni della Land Art

Tutte le forme d'arte tendono solitamente ad influenzarsi a vicenda e a fondere tra loro teorie e pratiche applicative. Tra di esse, però, una forma artistica che più di altre si avvicina per certi versi alle metodologie operative tipiche della pianificazione urbanistica e dell'architettura vera e propria è sicuramente la Land Art⁵²: essa consiste nella pratica della macro-modificazione paesaggistica mediante la dotazione ambientale di segni di grande dimensione e leggibili alla scala territoriale, solitamente grazie all'impiego di materiali naturali, creando interventi temporanei o comunque soggetti alle modificazioni legate al trascorrere del tempo ed all'avvicendamento stagionale.



Fig.II.78 – Peter Noever, *The Pit*, Breitenbrunn (Austria), 1971. In uno degli estremi dell'installazione di Land Art è presente uno spazio di riposo le cui pareti inverdite tendono alla verticalità. (Fonte: WINES, JAMES, *Green architecture*, in bibl., p.75)

La Land Art ha avuto un ruolo basilare nell'approdo ad uno sviluppo figurativo legato all'accoglimento del Verde Verticale, in quanto molte delle ibridazioni edificio-ambiente e degli stadi evolutivi precedenti all'approdo alle tecnologie verdi di ultimissima generazione – come ad esempio edifici ipogei, manufatti a gradoni inverditi, coperture a verde dalle grandi pendenze o rasenti la verticalità, sperimentazioni tecnologiche legate all'impiego della materia vegetale – hanno precedentemente trovato nella Earth Art un campo di sperimentazione assai fervido. Se il Verde

⁵² La *Land Art* viene può anche essere indicata col suo sinonimo di *Earth Art*. Non esiste traduzione italiana di tali locuzioni anglosassoni.

Verticale è da considerarsi per ovvie motivazioni legato agli elementi ambientali, il territorio di indagine artistica della Land Art è stato sicuramente uno dei primi contesti dove la verticalizzazione vegetale è nata e si è sviluppata. Le forme di sperimentazione artistico-paesaggistica che si sono rivelate un tramite nel passaggio vegetale dall'ambiente naturale alle facciate degli edifici sono svariate, ma comunque spesso riconducibili a movimentazioni di terreno finalizzate a configurare l'ambiente naturale come uno spazio volontariamente artificioso o tendente alla verticalità; ovvero mediante altre attività progettuali che abbiano impiegato piante ed alberi come elementi architettonici, modificandone la conformazione e la crescita per ottenerne delle vere e proprie architetture viventi.

È palese, ad esempio, come alcune opere di Earth Art degli anni '70 e '80 non possano non aver influenzato l'operato di uno dei padri della *green architecture*, Emilio Ambasz, ed averlo guidato nell'ideazione di edifici come l'ACROS Building di Fukuoka. Quello che in precedenza la Land Art aveva concepito come uno spazio aperto e gradonato, fruibile solo in un verso (Fig.II.78), – cioè dall'esterno – è stato rielaborato da Ambasz per pervenire ad un'opera di Earth Art divenuta architettura vera e propria, agibile sia dall'esterno che all'interno.



Fig.II.79 – Plan 01, *Museo storico della Vendée*, Lucs Sur Boulogne (Francia), 2005. La collocazione ipogea dell'edificio e la conformazione delle falde inverdite di copertura rendono il museo quasi un'ibridazione tra un progetto di architettura ed un'opera di Land Art, a dimostrazione di come i confini tra le discipline non siano così netti e come le due si influenzino a vicenda. (Fonte: ZAMBELLI, MATTEO, "Suolo prismatico", in bibl., p.65)

Altrettanto interessanti sono quegli esempi di edifici ottenuti con l'ausilio di piante vive. Mediante una sapiente prassi agronomica e con l'aiuto del trascorrere del tempo, fusti e rami di piante possono essere modificati a piacimento, facendoli diventare veri e propri elementi strutturali assimilabili a travi e pilastri. Sono esempi di tale pratica le architetture viventi del paesaggista belga Marcel Kalberer, in cui egli riesce ad ottenere edifici veri e propri normalmente utilizzati, come spazi di ritrovo, arene esterne, cappelle ecclesiastiche all'aperto (Fig.II.80). Altro esempio assimilabile all'operato di Kalberer è il lavoro di Giuliano Mauri in cui, mediante la pratica dell'ammaestramento e la modifica *strutturale* della natura vivente, vengono realizzati edifici come ponti, anfiteatri, cattedrali vegetali, tutti completamente fruibili (Fig.II.81 e Fig.II.82).



Fig.II.80 – Marcel Kalberer, *Cupola vegetale* a Weidenbau (Austria). L'installazione è realizzata con alberi di salice viventi e presenta delle dimensioni di 22x8 m. (Fonte: <http://www.cusoon.at/weidenbau>)



Fig.II.81 – A sinistra: Giuliano Mauri, *Cattedrale vegetale*, Borgo Valsugana (TN). Vista d'insieme. L'installazione venne realizzata in occasione di *Arte Sella 2001*, una biennale internazionale di arte nella natura. L'edificio presenta una superficie di circa 1.200 mq distribuiti su tre navate e contiene 80 colonne alte 12 m ciascuna. (Fonte: http://it.wikipedia.org/wiki/Arte_Sella)

Fig.II.82 – A destra: Giuliano Mauri, *Cattedrale vegetale*, Borgo Valsugana (TN). Dettaglio dell'interno della navata. Momentaneamente l'edificio è costruito da un intreccio di rami segati, e ogni colonna contiene al proprio interno un esemplare arboreo di carpino. Col trascorrere del tempo il legno che attualmente compone la cattedrale si decomporrà, lasciando il posto ad una struttura vivente formata dai rami cresciuti della pianta di carpino. (Fonte: <http://commondatastorage.googleapis.com/static.panoramio.com/photos/original/10883723.jpg>)

La succitata tecnica è stata ultimamente implementata mediante l'operato di tre ricercatori del *Massachusetts Institute of Technology* di Boston (USA), capeggiati dall'arch. Mitchell Joachim. Tali studiosi del MIT, all'interno di alcune *visions* attualmente in via di ulteriore sviluppo, prefigurano inedite modalità di vita e di pianificazione urbanistica o architettonica, utilizzando delle specie vegetali vive come base per realizzazioni edilizie con l'obiettivo della mitigazione delle contemporanee criticità residenziali, o di sviluppo insediativo ed infrastrutturale caratterizzante le conurbazioni odierne che dimostrano «una crescita urbana a livello esponenziale, “baraccopoli” dalle dimensioni sempre crescenti, un carattere non sostenibile delle mega-città, la continua e incontrollata espansione di queste, nonché il diffondersi di “non-luoghi” anche a livello interurbano (che, NdA) richiede la costruzione di città nuove, ripensate e create a partire da zero»⁵³. Il gruppo del MIT prendendo sicuramente spunto dalle esperienze ricollegabili a Kalberer ed ai suoi seguaci, unitamente a quella che pare essere una riscoperta di alcune modalità storicizzate come quelle della vita sugli alberi o metodologie tese a modalità maggiormente simbiotiche nei confronti del mondo naturale, propone addirittura l'utilizzo delle specie arboree come base costruttiva e tecnologica per la realizzazione di veri e propri edifici che possano sostituire in modo maggiormente eco-compatibile quelli odierni (Fig.II.83).

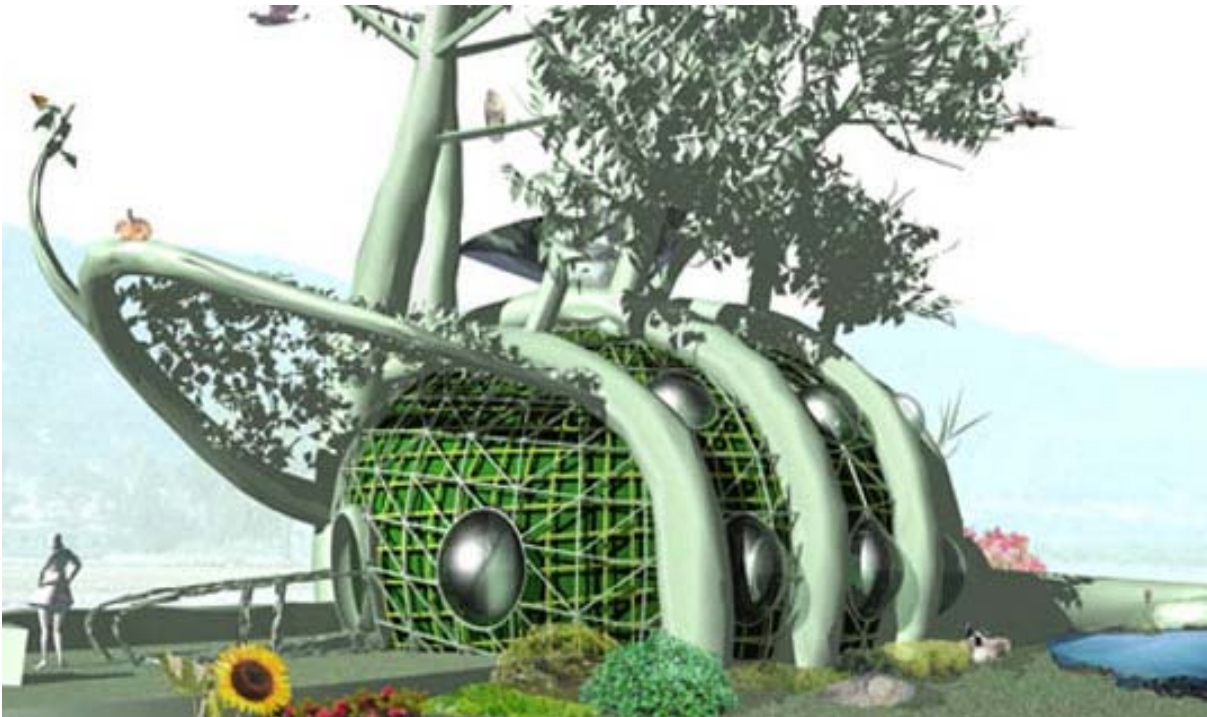


Fig.II.83 – Mitchell Joachim, Lara Greden, Javier Arbona, *Fab Tree Hab*, 2008. Modello tridimensionale di un edificio che impiega come parti strutturali tronco e rami di specie arboree appositamente selezionate. (Fonte: <http://www.archinode.com/bienal.html>)

La tecnica usata in questo caso è quella del *pleaching*, consistente nell'intreccio di giovani alberi con l'obiettivo di formare archi e strutture architettoniche per la realizzazione di edifici e case che per la maggior parte delle proprie strutture portanti e sottostrutture siano realizzati mediante alberi. Il trio

⁵³ RICCHI, DARIO (a cura di), “Cities from Scratch – Intervista a Mitchell Joachim”, in *bibl.*, p.160

americano suggerisce l'impiego di specie arboree grandi e resistenti (ad es. olmi e querce) per le parti strutturali, mentre viti o altre piante flessuose per la realizzazione degli intrecci e reticoli che andrebbero a comporre le chiusure superiori e verticali dell'edificio (Fig.II.84). Le altre parti strutturali di chiusura, sempre nelle intenzioni di tale gruppo di progettazione, verrebbero realizzate mediante paglia o argilla, quindi non distaccandosi molto dai dettami classici della bioarchitettura.



Fig.II.84 – Mitchell Joachim, Lara Greden, Javier Arbona, *Fab Tree Hab*, 2008. Esempio della modalità di realizzazione: col tempo e conseguentemente all'accrescimento vegetale, tronco e rami delle piante raggiungeranno la forma impostagli, trasformandosi in un vero e proprio sistema costruttivo. (Fonte: <http://www.archinode.com/bienal.html>)

II.8. L'attuale ricerca in campo architettonico

Nel Novecento e nei primi anni di questo nuovo millennio si è potuto assistere ad una rivoluzione concettuale che ha profondamente mutato il modo di concepire e realizzare pareti a verde, sia dal punto di vista progettuale che sotto l'aspetto tecnologico. È dunque possibile affermare che questa particolare tecnologia integrata, seppur solo all'inizio della propria contemporanea riscoperta, stia entrando di diritto nel dibattito architettonico odierno, diffondendosi su larga scala. Quello che solo fino a tre anni fa era un argomento sconosciuto alla stragrande maggioranza delle professionalità che hanno a che fare con l'architettura è oggi all'ordine del giorno. In questo ultimo periodo le tecnologie del Verde Verticale stanno conoscendo una fortissima evoluzione sotto tutti gli aspetti che ruotano attorno alle discipline architettoniche e all'interno di tutti i suoi ambiti, avendo portato dall'anno 2006 in poi ad una vera esplosione del fenomeno.

L'innovazione forse più importante è quella caratterizzante l'implementazione del sistema. Se fino a prima del brevetto del *Mur Vegetal* tutte le realizzazioni che prevedessero l'impiego del rivestimento vegetale erano eseguite in modo totalmente artigianale, cioè procurandosi presso i soggetti addetti al loro commercio i vari sistemi vegetali e tecnologici (supporti per la messa in opera, impianti, ecc.) necessari, oggi invece tali sistemi possono godere di un'industrializzazione di prodotto fortissima. Conseguentemente all'introduzione di innovazioni sia *fondamentali* (ad esempio l'invenzione dell'idrocoltura) che *adattive*⁵⁴ (trasferimento tecnologico, ad es. dalla produzione di

⁵⁴ Le innovazioni fondamentali «sono quelle che soddisfano esigenze alle quali prima non si dava risposta, o che le soddisfano in un modo del tutto nuovo. Si tratta di innovazioni che [...] segnano delle tappe nella storia e mettono a disposizione oggetti» o servizi «del tutto nuovi. Quando l'innovazione riguarda il «trasferimento di

facciate ventilate metalliche per la realizzazione di sottostrutture di supporto ai moduli inverditi) provenienti da altri settori specifici, sono riscontrabili sul mercato moltissime aziende o consorzi di produttori che possono fornire tutti le componentistiche ed il *know-how* necessari alla completa realizzazione di un sistema a Verde Verticale partendo dal nulla.

Industrializzazione che, quasi sempre, si muove di pari passo con la ricerca scientifica. È fortissima l'attività sperimentale che le aziende di tutto il mondo occidentalizzato stanno mettendo in campo per fronteggiare questa nascente nicchia di mercato. Produttori ed industria stanno investendo ingenti capitali nelle attività di ricerca applicata e industriale per lo sviluppo del prodotto, o nella estrinsecazione prestazionale dei propri sistemi. Studi prestazionali comunque totalmente volti alle questioni energetiche, ma tralasciando quindi quelle che potrebbero essere tutte le altre svariate potenzialità offerte da un sistema di verde parietale: si pensi ad es. all'acustica, al condizionamento microclimatico, alla produzione di ossigeno, ecc.

Tutto ciò si traduce in un'offerta produttiva in fortissimo aumento. Molte aziende che precedentemente si occupavano di chiusure verticali o tecnologie per coperture a verde hanno oggi colto questa sfida dal mercato, attivando nuove linee di produzione per rispondere alla crescente domanda relativa al Verde Verticale. Considerazione sicuramente degna di nota è quella che la richiesta odierna non solo ha favorito lo sviluppo di tecnologie o tipologie di ultima generazione (Verde Verticale *continuo*) ma ha anche riaperto le porte ad un'implementazione dei sistemi tradizionali. In forza della grande domanda che ruota attorno al Verde Verticale, anche il rivestimento vegetale ha subito un'attività di industrializzazione di subsistemi e componenti, col risultato che oggi anche questa tipologia sta venendo sempre più riscoperta ed apprezzata, spesso proprio grazie al fatto di essere un sistema storicizzato – quindi ben conosciuto ed accettato dalla comunità architettonica – ma di concezione rinnovata e contemporanea.

Come accade per quella industriale, anche la sperimentazione progettuale in atto è notevole. Sempre di più sono rilevabili progettisti che scelgono di adottare queste tipologie di chiusura all'interno dei propri lavori, con gli obiettivi più disparati: alcuni impiegano i sistemi d'inverdimento parietale per le sue qualità estetiche, mentre altri optano per un suo utilizzo finalizzato alle caratteristiche funzionali o di ecosostenibilità che essi offrono. Inoltre, coerentemente con quella che è la tendenza del mercato edilizio odierno specialmente nella nostra nazione, è molto forte un impiego delle tecnologie d'inverdimento nelle opere di recupero del patrimonio edilizio esistente, in quanto possono offrire delle buone caratteristiche estetiche parallelamente a delle prestazioni tecniche o funzionali, il tutto con relativa facilità d'impiego rapportata – in alcuni casi – ad una modesta spesa iniziale.

Fatto interessante è anche quello legato ad uno sviluppo del sistema conseguentemente all'evoluzione normativa. In funzione delle prestazioni microclimatiche⁵ che possono offrire nei confronti sia dell'ambiente interno che di quello esterno (immediato e non), tetti e pareti a verde vengono sempre più inserite, come consiglio o prescrizione, all'interno di regolamenti locali⁵⁵. Questo perché una volta che ne sono state riconosciute le caratteristiche e potenzialità a livello generale, tali tipologie vengono valutate come degli ottimi strumenti di mitigazione climatica ed ambientale. Inoltre, legando ulteriormente questa tematica al recupero edilizio precedentemente citato, è da rilevare come

elementi innovativi (oggetti, materiali, attrezzature, servizi, ecc.) da un settore ad un altro» si parla di innovazioni adattive. Tali elementi innovativi in questo caso «esistono già, ma migrano, opportunamente adattandosi e trasformandosi», da un settore ad un altro. Citazione estrapolata da SINOPOLI, NICOLA, "L'innovazione tecnologica in edilizia: una premessa", p.8, in SINOPOLI, NICOLA, TATANO, VALERIA (a cura di), *Sulle tracce dell'innovazione – Tra tecniche e architettura*, in bibl.

⁵⁵ Si rimanda al paragrafo successivo per una trattazione maggiormente precisa dell'argomento.

chiusure verticali e superiori a verde possano essere facilmente adottate anche nelle opere di *retrofitting*: anche questa precisa caratteristica ne ha permesso un forte aumento nell'impiego e nella prescrizione da parte di norme o regolamenti locali. Purtroppo, tale spinta "locale" verso l'impiego di dette tecnologie non è assolutamente rilevabile a livello di Governo centrale.

Per di più, come accennato anche nel primo capitolo, la tendenza contemporanea culturale ed operativa, sia in ambito architettonico che per quello dell'urbanistica, è quella di un progressivo e sempre più alto inverdimento di edifici e città: tale disposizione è ampiamente riscontrabile sia nelle nuove edificazioni che nel recupero di manufatti e tessuti urbani esistenti. La cultura mondiale è proiettata, forse come mai accaduto prima, verso un ritrovamento della natura dettato da una riscoperta simbiotica dell'ecosistema, tanto che nella sua ricerca di rinaturalizzazione degli spazi di vita l'essere umano sembra quasi proiettarsi verso quella che se valutata coi canoni di solo un paio di decenni fa, dettati dalla crescita produttiva e dalla ricerca di un sempre maggiore sviluppo, potrebbe essere interpretata quasi come un'involuzione tecnologica⁵⁶. Gli edifici odierni tendono molto spesso a diventare dei manufatti totalmente o quasi ricoperti di vegetazione, e la stessa cosa accade per le città richiedendo un grande sforzo alle tecnologie dell'architettura nell'implementazione di prodotti che consentano contemporaneamente la presenza di vegetazione e l'espletamento delle normali prestazioni richieste ad edifici o conurbazioni⁵⁷.

II.9. Lo sviluppo normativo in materia di inverdimento edilizio urbano, conseguente alla riscoperta a scala globale dei benefici climatici recati dalla vegetazione

Esiste oggi una notevole attenzione nei confronti di tutte quelle tecniche che rendono possibile un'integrazione tra edifici ed elementi vegetali. Grande interesse mediato soprattutto dalla scoperta (o riscoperta) delle potenzialità climatologiche offerte dall'impiego vegetale in ambito urbano sotto svariate forme che vanno dai parchi pubblici, alle coperture a verde fino alle facciate vegetate⁵. La diretta conseguenza di tale cognizione climatologica incentrata sulle prestazioni del verde è quella che tutte le forme d'inverdimento conosciute attirino verso di sé grande interesse, in quanto considerate degli elementi atti a «contenere le oscillazioni della temperatura degli ambienti in funzione dell'andamento dell'irraggiamento solare»⁵⁸.

Accade però che nel nostro paese come all'estero non esista alcuna normativa che renda cogente l'impiego del verde per alcune particolari tipologie di opere o edificazioni, benché sia viceversa reperibile un discreto e crescente numero di regolamenti locali, tutti recenti e di natura non apparentemente vincolante, che tendono a premiare l'uso della vegetazione integrata all'architettura per alcune particolari tipologie di edificazioni. Infatti, all'interno dei confini nazionali l'unica normativa

⁵⁶ Sono molte le città che oggi contemplan una massiccia reintroduzione della vegetazione naturale all'interno dei propri piani di recupero o di espansione urbana. Recupero delle specie vegetali in ambito urbano che ovviamente deve essere supportato da adeguate tecnologie. Si veda ad es. il progetto *La Rivoluzione Vegetale* consistente in un progetto utopico di re-inverdimento della città di Torino. <http://www.larivoluzionevegetale.it>

⁵⁷ Le tematiche introdotte solo sinteticamente all'interno di questo paragrafo sono sostanzialmente quelle che compongono obiettivi ed argomenti centrali della ricerca, quindi verranno riprese più volte in seguito ed esplicate in modo maggiormente dettagliato.

⁵⁸ DPR 59 del 02/04/2009, p.11. Tale DPR 59/2009 è il Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n.192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia.

che abbia finora affrontato il tema dei sistemi a verde è la UNI 11235⁵⁹, di recente attivazione, totalmente incentrata sulla corretta pratica progettuale, costruttiva e gestionale di coperture a verde. È perciò altrettanto rilevabile un'altra lacuna normativa che alla luce della tendenza odierna richiederebbe di essere soddisfatta, ossia un corrispettivo della UNI 11235 ma incentrata sui sistemi di verde parietale.

Nell'ultimo ventennio sono state molteplici le sperimentazioni di enti locali che abbiano tentato di favorire la comparsa del verde pensile⁶⁰ in ambito urbano, soprattutto per le sue capacità di mitigazione nei confronti del fenomeno microclimatico dell'*isola di calore* e per le proprie doti di ritenzione idrica. Tutto questo tentando cioè di operare verso l'obiettivo di massimizzare la quota totale di superfici inverdite in ambiente urbano.

Le città tedesche di Amburgo e Wiesbaden fin dagli anni Ottanta del XX secolo svilupparono dei regolamenti edilizi tesi ad aumentare il più possibile la percentuale di inverdimento di tetti e pareti di edifici, mentre a Colonia, sempre in Germania, nel 1993 venne adottato un «Regolamento per lo sviluppo degli interventi privati di inverdimento» con prescrizioni in materia di inverdimento dei cortili interni, di facciate, di tetti e di giardini prospicienti le case, anche in affitto⁶¹ che aveva il compito di favorire la rinaturalizzazione cittadina mediante una serie di sovvenzioni elargite dalla municipalità in proporzione all'entità ed alla tipologia delle opere realizzate. Inoltre sempre a Colonia a partire dal 1994, venne attuato anche un programma di sviluppo della vegetalizzazione architettonica teso a sovvenzionare coloro che realizzassero delle porzioni di parete a verde sui propri edifici.

La città tedesca di Monaco di Baviera è stata probabilmente quella che ha fatto più di tutte in merito ai regolamenti di rinaturalizzazione urbana, in quanto oltre ad essere pervenuta ad un buon strumento che premia la quantità e la qualità dell'inverdimento realizzato dal privato, è stata anche un modello per altre città in tutto il mondo. Infatti, a Monaco di Baviera fin dal 1973 sono stati messi a punto degli strumenti operativi tesi a premiare iniziative di miglioramento dell'ambiente di vita tramite, tra le altre cose, l'inverdimento di edifici e spazi.

Il sistema sicuramente più interessante adottato dal capoluogo bavarese è sicuramente il BAF, acronimo di *Biotope Area Factor*, risalente al 1994: esso, oltre ad essere stato il primo nel suo genere, ha poi ispirato molteplici altri tentativi in tutto il mondo. Il BAF è sostanzialmente un indice – simile ad un normale indice urbanistico – avente l'obiettivo di definire e quantificare la porzione destinata a verde o ad altre funzioni ecosistemiche quando ci si accinge all'edificazione di una qualsiasi opera architettonica. Esso si applica a tutte le forme di edificazione indipendentemente dalla loro destinazione d'uso finale, sia per le attività di recupero edilizio che nelle nuove edificazioni, ed indica gli standard ecologici minimi che una fabbrica edilizia deve avere. Ad ogni differente tipologia di opera viene dato un punteggio calcolato in base ad un apposito algoritmo, che andrà a rappresentare il BAF di quello specifico intervento; a tutte le differenti tipologie di opere possibili viene affibbiato un coefficiente moltiplicatore compreso tra 0 e 1 (coperture a verde =0.7; pareti rivestite da vegetazione =0.5; superficie impermeabile all'aria e all'acqua, e senza vegetazione =0.0; superfici con

⁵⁹ UNI 11235:2007 – *Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione, il controllo e la manutenzione di coperture a verde.*

⁶⁰ L'aggettivo "pensile" verrà qui utilizzato mediante il suo significato più generale, è cioè gli si attribuisce il sinonimo di «staccato da terra» (Definizione da <http://www.treccani.it>). Per "tipologie di verde pensile" si intende quindi, in questo specifico contesto, la sommatoria di tutte le tecnologie di inverdimento degli involucri, e cioè sia parietale che delle coperture.

⁶¹ BELLOMO, ANTONELLA, *Pareti verdi – Nuove tecniche*, in bibl., p.43

vegetazione, connesse al suolo, disponibili per lo sviluppo di flora e fauna = 1.0) che servirà per stabilire il punteggio raggiunto da ogni opera. Ogni edificazione raggiungerà quindi un punteggio in base alla propria modalità progettuale, e tale punteggio dovrà essere superiore ad un valore minimo stabilito dalla municipalità in base alla destinazione d'uso dell'edificio ed al tipo di attività che lo interesserà, sia come nuova edificazione che per modifiche o estensioni del costruito.

Il BAF è quindi uno strumento molto utile e di facile applicazione teso a stabilire l'effettiva entità di naturalizzazione di una data area o insediamento, all'interno di una municipalità e di una nazione che prima di altre si siano poste problemi come la presenza naturale o di biodiversità in un'area. Tale sistema venne poi imitato in altre città del mondo, anche all'interno dei nostri confini nazionali, come verrà illustrato più avanti.

Infatti il BAF è stato ripreso e riadattato anche per altri regolamenti nati in seguito, ad esempio quando nel 2001 la città di Malmö in Svezia si dotò del *Green Space Factor* (GSF). Il modello d'applicazione adottato per il calcolo è qui rispondente a quello coniato per il BAF, ma l'innovazione della città svedese consistette nel rendere maggiormente premiante l'utilizzo di facciate e coperture a verde (rispettivamente 0.8 e 0.7, alzando quindi i parametri adottati da Monaco di Baviera). Anche la città statunitense di Seattle si è dotata nel 2007 di uno strumento simile e basato sulle esperienze di Monaco e Malmö, pervenendo alla definizione del *Seattle Green Factor* (SGF). L'esperienza della città americana è molto interessante ed assai innovativa, in conseguenza del fatto di aver considerato alla stessa stregua coperture e pareti vegetate: l'SGF consegna infatti ad entrambe un coefficiente pari a 0.7. Tale provvedimento va probabilmente interpretato alla luce della forte crescita odierna dei sistemi di Verde Verticale, nonché tenendo conto del fatto che specialmente in tessuti urbani caratterizzati da una notevole altezza edilizia media, come appunto accade a Seattle, le superfici verticali a disposizione sono di gran lunga maggiori che quelle orizzontali o di copertura⁶².

Esperienze interessanti rilevabili nel mondo ce ne sarebbero anche altre, in alcuni casi anche molto diverse tra loro. Quello che interessa comunque far notare in questa sede è lo sforzo che svariate municipalità dei paesi maggiormente industrializzati stanno tentando di operare per fronteggiare i fenomeni legati al surriscaldamento globale, o per garantire ai propri cittadini un maggiore qualità di vita. Più alta qualità globale di vita che, evidentemente, nelle intenzioni di molti passa attraverso un aumento della percentuale di verde (sia visibile e praticabile, che non) all'interno delle conurbazioni e delle metropoli d'oggi. Infatti, solo in tal senso potrebbero essere interpretate scelte come quelle della città giapponese di Tokyo, in cui la municipalità ha disposto che dal 2001 almeno il 20% dei tetti piani venga destinato ad ospitare coperture a verde e giardini. Oppure quanto dichiarato dalla città di Toronto in Canada, in cui «è stata approvata nel 2006 una strategia per promuovere l'uso del verde pensile nella città [...] (con l'obiettivo, NdA) di arrivare a coprire il 50-75% della superficie delle costruzioni, al fine di ridurre l'isola di calore urbana»⁶³. Ma gli esempi riportati in questa sede per dimostrare quanto introdotto potrebbero essere molti altri: ad esempio ricordando che l'amministrazione della città statunitense di Chicago incentiva mediante un finanziamento di 5.000 dollari tutti i progetti che presentino al loro interno delle opere di verde pensile; oppure che la città di Buenos Aires in Argentina ha vinto nel 2006 il *Premio Holcim* per l'architettura sostenibile con il progetto *Cubiertas Verdes*, ponendosi l'obiettivo di creare 3.500 ettari di superficie a verde pubblico

⁶² Si veda la Fig.VII.3 in cui è illustrato come nelle zone dall'alta densità urbana (e specialmente nel centro città) le superfici edilizie verticali a disposizione siano di gran lunga superiori a quelle orizzontali e di copertura.

⁶³ SANTI, VALENTINA (a cura di), *Gli strumenti normativi inerenti l'uso del verde in copertura e in facciata*, in bibl., p.17. Una strategia simile a quella di Toronto è stata messa in atto anche dalla municipalità olandese di Rotterdam.

trasformando i tetti di edifici, esistenti e di nuova realizzazione, in giardini pensili⁶⁴; o ancora ricordando che l'amministrazione di Parigi, attraverso il proprio *Projet d'Aménagement et du Développement Durable*, si è posta l'obiettivo di rendere gli spazi aperti cittadini più vivibili attraverso la valorizzazione del patrimonio naturale, in quanto esso contribuisce al miglioramento delle condizioni di vita e favorisce la biodiversità urbana: una delle strategie che la municipalità parigina ha deciso di adottare è proprio quella di aumentare la percentuale di facciate e tetti verdi mediante il reinverdimento del patrimonio edilizio esistente.

Altra pratica assolutamente degna di nota deriva dalla Svizzera: nel Cantone di Basilea ogni nuovo tetto piano deve essere inverdito; inoltre, se l'area della copertura supera i 500 mq tale nuova superficie a verde dovrà impiegare del suolo locale ed essere realizzata in modo da ricreare dei livelli topografici differenti per massimizzare la biodiversità, andando a creare cioè dei *brown roofs*⁶⁵. Si fa notare come in questo caso i costi per la realizzazione del tetto verde *obbligatorio* non vengano incentivati in alcun modo, ma vengano considerati come dei normali oneri di costruzione.

Per quel che concerne il nostro paese è prima di tutto da rilevare un lieve ritardo nei confronti di quelle che sono le nazioni maggiormente all'avanguardia da questo punto di vista, ossia Germania, i paesi scandinavi, Giappone ed il continente nordamericano. Anche qui da noi è assente una qualsivoglia forma di normazione a livello di Governo centrale – seppur, come già enunciato, le qualità benefiche di tetti e pareti verdi siano largamente riconosciute (si rimanda alle note a piè di pagina n.43 del presente capitolo e n.15 del Cap.I) – mentre, come accade all'estero anche se in forma minore, sono discretamente attive alcune municipalità locali, comunque ancora identificabili sottoforma di eventi sporadici: le svariate declinazioni del verde pensile stanno cominciando a comparire all'interno di molti regolamenti edilizi tendenti a premiarne o prescrivere l'impiego sia nelle attività di recupero edilizio che nelle nuove edificazioni.

La sperimentazione forse più interessante in tal senso è stata messa in campo dal comune di Bolzano nel 2007 e viene denominata RIE, acronimo di *Riduzione Impatto Edilizio*. Tale procedura è volta alla certificazione qualitativa dell'intervento edilizio rispetto alla permeabilità del suolo e del verde⁶⁶. Grazie al coefficiente RIE tutti gli interventi di trasformazione edilizia ed urbanistica ricadenti nel territorio comunale bolzanino, soggetti a concessione edilizia o denuncia di inizio attività che incidano sulle superfici esterne degli edifici (comprese sistemazioni esterne, cortili, aree verdi ed aree pavimentate), dovranno obbligatoriamente sottostare alla procedura in questione per l'ottenimento dei certificati di agibilità o abitabilità. L'obiettivo del RIE è quello di pervenire, in seguito alla risoluzione di un preciso algoritmo fornito dall'amministrazione comunale, ad un coefficiente numerico che esprime l'indice RIE di ogni attività edilizia, in base alla sua collocazione ed alla destinazione d'uso: tale coefficiente numerico, per ottenere l'agibilità edilizia, dovrà essere superiore ad un RIE minimo prefissato. Il coefficiente dato alle coperture a verde è compreso tra 0.20 e 1.00, quindi tali tipologie di copertura vengono ben premiate dalla municipalità e possono esercitare un peso notevole nella definizione del valore finale del RIE. La procedura descritta è molto importante ed interessante in quanto è la prima del suo genere all'interno dei confini nazionali, anche se per ora non viene in alcun modo contemplato l'utilizzo del verde in facciata.

⁶⁴ LAMBERTINI, ANNA, "Dal verde parietale al giardino verticale. Progettare con la techno-natura", in bibl., p.21

⁶⁵ Si rimanda al cap.VII per l'approfondimento di cosa sia un *brown roof*, quali siano le sue peculiarità e come esso debba venire eseguito.

⁶⁶ Informazioni più specifiche sono reperibili al seguente link (ultima visita in data 19/06/2010): http://www.comune.bolzano.it/urb_context02.jsp?area=74&ID_LINK=512&page=8

Altra esperienza che tende a consigliare l'utilizzo di sistemi di verde pensile (ed in questo caso anche parietale) come elemento di mitigazione bioclimatica non è efficace nel contrastare il fenomeno dell'*isola di calore* è quello della città di Firenze⁶⁷, all'interno dell'"Allegato D" del Regolamento Edilizio in vigore dal 31 ottobre 2008.

Sempre per quel che riguarda i confini nazionali anche altre città medio-piccole come Carugate (MI) e Brescia hanno iniziato a contemplare l'uso del verde a fini ecologici e microclimatici all'interno dei propri regolamenti edilizi.

La municipalità di Carugate rende obbligatoria per tutti gli edifici di nuova costruzione, sia residenziali nel caso posseggano un tetto piano che di terziario, «la realizzazione di tetti verdi, con lo scopo di ridurre gli effetti ambientali in estate dovuti all'insolazione sulle superfici orizzontali [...] (garantendovi inoltre, NdA) l'accesso per la manutenzione»⁶⁸. Tale prescrizione è resa cogente purché la superficie di copertura sia libera per almeno il 50% della sua estensione.

Le *Linee guida al regolamento edilizio mirante alla sostenibilità degli interventi sul territorio* redatte dal comune di Brescia ed emanate all'inizio del 2008, sono invece interessanti perché introducono il tema delle pareti verdi articolandone alcune differenti declinazioni tecnologiche. All'interno di tali linee guida viene infatti quantificata nel 25% della superficie dell'intero sviluppo di prospetti e copertura la quota minima d'inverdimento che permette di poter usufruire dell'incentivazione prevista, consistente in alcune facilitazioni di natura procedurale, economica ed edilizia. L'esperienza bresciana è interessante anche perché declina e descrive con discreta precisione all'interno del citato documento alcune diverse casistiche di parete a verde, corrispondenti a quelli che all'interno del presente lavoro sono stati indicate come alcuni sottogruppi del *Verde Verticale*, ossia rivestimenti vegetali e pareti verdi continue⁶⁹, dimostrando quindi un ulteriore avanzamento nella comprensione delle differenze e peculiarità rappresentate dai molteplici sistemi esistenti da parte delle entità normative.

Alla luce delle esperienze sopra riportate emerge che la situazione del nostro paese è sicuramente di lieve arretratezza rispetto ad alcuni altri di paritetico sviluppo ed industrializzazione, anche se sono rilevabili dei casi di fermento all'interno dei confini nazionali che fanno ben sperare. L'appunto più importante riguardante il nostro caso nazionale potrebbe però essere relativa al contesto climatico nel quale si trova l'Italia, ossia quello di una regione geografica a maggioranza di clima caldo. Le specie vegetali, in funzione delle proprie caratteristiche o comportamenti fisiologici e delle stratigrafie tecnologiche che presentano quando accoppiate all'involucro edilizio, si dimostrano maggiormente performanti nei climi e contesti caldi.

Inoltre, altra questione degna di nota è che soprattutto al Sud Italia è preponderante la presenza di tetti piani, che quindi meglio si adatterebbero all'impiego di coperture a verde specialmente nelle opere di recupero del costruito. Rispetto ad altre nazioni siamo lievemente arretrati anche a causa di una minore tradizione costruttiva specifica: come dimostrato in alcuni esempi in apertura di capitolo, stati come Germania o quelli scandinavi sono stati storicamente i precursori in questo senso, inventando di fatto gli archetipi delle odierne coperture a verde e dei sistemi evoluti per l'inverdimento parietale.

⁶⁷ Informazioni più specifiche sono reperibili al seguente link (ultima visita in data 19/06/2010): <http://www.comune.firenze.it/comune/regolamenti/edilizio/RE200831Ott.pdf>

⁶⁸ Comune di Carugate (MI), Regolamento Edilizio in vigore dal 2008, Articolo 114, pp.55-56

⁶⁹ Si rimanda al paragrafo II.5 per la descrizione delle tipologie in questione.

II.10. Tutto ciò che è “verde” risulta anche sostenibile? La natura simulata

Una delle conseguenze dettate dagli odierni paradigmi dello sviluppo sostenibile è il progressivo inverdimento di tutti i manufatti architettonici. Per *inverdimento* in campo edilizio si intende comunque un’accezione più ampia della parola, declinandola in base ad un suo significato molto generico e che sottende cioè sia un minor uso delle risorse direttamente legato alle fasi costruttiva e gestionale della fabbrica, che mediante l’impiego di materiali sempre più naturali e meno impattanti per l’ecosistema e per l’essere umano. Inoltre, ulteriore specificazione ancor più recente è quella finalizzata ad indicare *veri e propri edifici verdi*, intendendovi manufatti architettonici che ospitano vegetazione naturale negli involucri o al loro interno. Se, come visto, tale forte movimentazione si traduce in una grande ricerca formale e tecnologica avente l’obiettivo di pervenire ad architetture che possano presentare un sempre più alto livello di commistione con la natura, tale paradigma potrebbe anche involontariamente condurre ad eventuali fraintendimenti. O contraddizioni (da Fig.II.85 a Fig.II.88).



Fig.II.85 – A sinistra. WEIchlbauerORTis Architekten, casa a Lafnitzdorf (Austria), 2009. Le chiusure verticali dell’edificio sono interamente rivestite con pannelli di erba sintetica. (Fonte: Redazionale di A10, “Country living”, in bibl., p.6)

Fig.II.86 – A destra. Boris Podrecca, edificio polifunzionale a Conegliano (TV), 2008: dettaglio della facciata metallica. Con l’obiettivo della mimesi rispetto alle colline circostanti, le chiusure verticali dell’edificio presentano diverse tonalità di verde. Alcuni moduli di facciata (di colore più chiaro nella foto) sono inoltre trattati mediante dei disegni in rilievo che ripropongono una texture fogliare.

Si corre cioè il rischio che possa essere largamente adottato solo uno dei vari medium che possono anche condurre ad avere degli edifici sempre più *verdi* – cioè quello di “inverdirne” facciate e coperture – ma dimenticando o tralasciando quello che dovrebbe essere poi il reale messaggio, ossia l’obiettivo di un’attività progettuale finalizzata all’edificazione *verde* (intesa come attività edificatoria tendente alla maggiore sostenibilità possibile). Esiste quindi il pericolo che, all’interno della società contemporanea fortemente basata sull’immagine e sulla comunicazione, l’imperativo di dimostrare l’attenzione ambientale di un progettista o di un’edificazione conduca all’errore grossolano di tralasciare quello che è invece l’obiettivo fondante che l’ha promosso, ossia il risparmio delle risorse e la salubrità per le persone.



Fig.II.87 – A sinistra. GRID Architects, *Amalia House*, Styria (Austria), 2007. L’immagine verde offerta dalla casa di vacanze è lievemente contraddetta dal fatto di essere totalmente rivestita da erba sintetica. (Fonte: <http://www.archdaily.com>)

Fig.II.88 – A destra. UDA, *The Green Vision*, Revigliasco (TO), 2009: dettaglio delle chiusure verticali durante le fasi di cantiere. Anche questo edificio bifamiliare presenta delle facciate opache completamente rivestite da vegetazione sintetica. (Fonte: Vittorio Rungo)



Fig.II.89 – A sinistra. Rue Royale Architectes, palestra, Francheville (Francia), 2001. L’involucro è realizzato mediante una pelle edilizia in laminato stratificato ad alta densità, riportante un motivo vegetale raffigurante dell’edera ed impresso in quadricromia mediante il processo del *Digital Print*. (Fonte: <http://www.rueroyalearchitectes.com>)

Fig.II.90 – A destra. SWECO Group, padiglione della Svezia presso l’Expo di Shanghai 2010. Le facciate prospettanti sulle corti interne dell’edificio riproducono fotografie di foreste svedesi a scala gigante. (Fonte: Giovanni Zannoni)

Errori di valutazione che possono perciò anche condurre, come sempre più spesso accade, alla realizzazione di edifici inverditi mediante vegetazione sintetica, o che possano anche presentare facciate e coperture convenzionali “inverdite” con film adesivi recanti serigrafie o immagini di elementi ed apparati vegetali *solo disegnati*. Valutazioni erranee che conducono quindi all’esito opposto di quello desiderato, ossia il risultare involontariamente più inquinanti ed energivori rispetto ad un

semplice componente o sistema convenzionale per l'edilizia, sprovvisto cioè di tale "decorazione" vegetale. Una non corrispondenza – più o meno desiderata – tra forma e sostanza (Fig.II.89 e Fig.II.90).



Fig.II.91 – A sinistra: Andrea Viviani, *Cinecity Multiplex*, Limena (PD), 2005. La facciata principale è stata "inverdita" mediante moduli di edera sintetica.

Fig.II.92 – A destra: ulteriore esempio di "verde, ma non sostenibile" potrebbe essere quello della finta natura esibita a scopi puramente d'immagine: le palme sulla copertura del padiglione dell'Arabia Saudita all'Expo di Shanghai 2010 non erano piante vere, ma delle semplici riproduzioni in materiale plastico. (Fonte: Giovanni Zannoni)



Fig.II.93 – A sinistra: Italo Rota, casa di Roberto Cavalli, periferia di Firenze, 2008. La finitura parietale è in questo caso frutto di un'ibridazione: delle chiusure verticali metalliche che ripropongono un motivo fogliare stilizzato sono accoppiate ad un rivestimento vegetale di specie rampicanti. (Fonte: <http://www.megadesignjob.com>)

Fig.II.94 – A destra: Visiondivision, *Hill Hut*, 2009. In questo ampliamento edilizio tutto il progetto è giocato sulla dicotomia naturale/artificiale. Per creare un piano d'appoggio al nuovo manufatto, la collina pre-esistente è stata integrata mediante un aumento volumetrico artificiale poi mascherato mediante delle superfici di erba sintetica che continuano fino all'interno dell'abitazione. (Fonte: <http://www.designboom.com>)

Si rischia quindi di giungere a un utilizzo della vegetazione a fini esclusivamente ornamentali all'interno di un mondo progettuale sempre più complesso e recante una molteplicità di fattori o criticità, pervenendo ad una progettazione prevalentemente estetizzata nei confronti della vegetazione dove – seppur si possa oggi contare su un livello scientifico e conoscitivo più elevato rispetto a quello della tradizione vernacolare – si concepisca il verde come solo fattore d'abbellimento. In tali casistiche l'impiego vegetale risulterebbe doppiamente tradito, disconoscendone il proprio valore di elemento naturale e vivente, nonché ripudiandone le enormi potenzialità climatologiche ed ambientali.

Per questo, confrontandosi ormai giornalmente con una rappresentazione dell'architettura che racconta senza problemi di edifici inverditi mediante elementi vegetali in PVC o con l'utilizzo di pellicole adesive riproponenti elementi floreali o vegetali, appare un controsenso, una realtà illogica quella di un loro impiego da parte di alcuni professionisti che non tenga conto ad esempio della loro energia incorporata, o dei contestuali costi di smaltimento sia energetici che economici. Il tutto, peraltro, senza debitamente tenere conto del fatto che, come illustrato nel capitolo VI del presente lavoro, gli elementi naturali possono offrire elevate qualità climatologiche benefiche sia nei confronti degli ambienti confinati di edifici, che verso l'ambiente esterno ed alla scala urbana.

II.11. Design verde, design vivente. Un'innovativa tendenza per il disegno industriale

I discorsi fatti in precedenza riguardo il rapporto sempre più stretto che si sta instaurando in questi ultimi anni tra lo sviluppo sostenibile e le materie che hanno a che fare con l'architettura, sono perfettamente rapportabili anche alla disciplina del disegno industriale. Tale stretto rapporto è indicabile, ovviamente, sia per quel che riguarda le sue declinazioni positive che per quanto ne concerne i fraintendimenti. Se l'architettura è costretta, causa le odierne criticità ambientali, a rivalutare o correggere alcune regole che da sempre la supportano, lo stesso accade anche a quella che è una sua prosecuzione alla scala minore, ossia il design. Ma anche in questo caso, la disciplina in questione non si è accontentata all'interno dei suoi sviluppi più recenti di sviluppare una serie di prodotti più ecologici o meno impattanti nei confronti dell'ecosistema, ma ha adottato la materia verde come vero e proprio elemento di sperimentazione progettuale, giungendo a dei prodotti *vivi*, integranti al loro interno delle specie vegetali *vere*.

È così che l'articolo prodotto dal designer, anche nello specifico caso mutando alcune risorse operative da quelle che sono le implementazioni tecnologiche e tecniche provenienti da altri settori, riesce di questi tempi a portare nell'oggetto di uso comune la presenza delle piante: le realizzazioni del disegno industriale riescono, in alcuni casi, a configurarsi come dei microcosmi recanti *la vita*.

Certo, tale pratica potrebbe – seppur direttamente derivabile dalla convenzionale coltivazione di piante casalinghe di uso comune – anche essere giudicata come ingiusta o irrispettosa di un essere vivente com'è quello vegetale, ma ciò che interessa in questa sezione del lavoro non è tanto entrare nel merito della pertinenza o meno di poter dotare un oggetto di disegno industriale della presenza di vegetazione, quanto la possibilità tecnica e progettuale di farlo; e di poterlo fare, inoltre, come conseguenza culturale, formale ed operativa dell'arrivo delle specie vegetali agli involucri edilizi.



Fig.II.95 – A sinistra: Vfr̃ + Sintesi, *Déjeuner sur l’herbe*, 2010. Il tavolo e gli sgabelli sono vegetati mediante alcune specie vegetali opportunamente selezionate, anche se non ancora dichiarate dai progettisti. La finitura del piano superiore del tavolo può essere scelta in base a due modalità differenti: si può optare per un piano di plexiglass soprastante i vegetali oppure scegliere di avere delle piante “a vivo”. (Fonte: <http://www.archiportale.com>)

Fig.II.96 – A destra: Mindscape, *Peddy*, 2008. *Peddy* è una linea di poltrone e sgabelli vegetati a prato, mediante un sistema che ha come base una trama ricavata dal riciclo delle comuni bottiglie di plastica in PET e non richiede la presenza di terriccio. Tali arredamenti vegetati devono ovviamente essere periodicamente annaffiati e potati. (Fonte: <http://www.mindscape.jp>)



Fig.II.97 – A sinistra: Hafsteinn Juliusson, *Growing Jewelry*, 2008. Linea di gioielleria incentrata sulla commistione tra elemento naturale vivente ed oggetto di design. (Fonte: *Nemeton*, n.2, settembre 2009, p.58)

Fig.II.98 – A destra: Verdecreea, *Quadri Vegetali*, 2009. Installazione da parete, contenente piante vive. Le specie impiegabili sono molteplici, ma tutte necessitano sia della normale potatura periodica che di un sistema d’irrigazione automatizzata: si noti a tal proposito il condotto d’acqua che pende dall’angolo in basso a destra del quadro di destra, per poi raggiungere anche quello di sinistra.

Quello che ci si trova molto spesso di fronte oggi giorno nel mondo del design è la presenza sempre più cospicua di specie vegetali integrate ad oggetti d’uso comune, sia alla scala piccola che a quella medio-grande. La risultante è anche in questo caso un’espansione delle possibilità tecniche e progettuali per i professionisti del settore, ma controbilanciate dall’eredità di quelle che sono le criticità intrinseche relative all’utilizzo della vegetazione. Nella fattispecie ci si riferisce alle peculiarità degli organismi vegetali integrati ad oggetti di uso comune in cui, fermo restando quella che è la più pertinente conformazione fisica di un oggetto volta a svolgere al meglio la data funzione al quale esso

è destinato, la necessità è anche quella di garantire la vita ed uno sviluppo vegetativo ottimale alla pianta.



Fig.II.99 – A sinistra: Benetti Stone, *Mosstile*, 2010. Questi paramenti murari vegetali sono realizzati mediante l’impianto di licheni su una base di resina naturale; le specie vegetali non necessitano di irrigazione o fertilizzazione ma sfruttano l’umidità ambientale purché superiore al 50% di umidità relativa. (Fonte: <http://www.benettistone.com>)

Fig.II.100 – A destra: La Chanh Nguyen, *Moss carpet*, 2009. Trattasi di un tappetino da bagno vegetale. Il tappetino è composto da una particolare schiuma chiamata *Plastazote* che ha la caratteristica di non imputridire: ogni poro di *Plastazote* forma il supporto per l’alloggio e la crescita di minuscole e particolari specie di muschi (*Tillandsia*, muschio d’Islanda, muschio di bosco) che ricevono l’acqua ed i nutrienti necessari alla propria vita grazie all’umidità dell’aria ed a quella che scende dal corpo. (Fonte: <http://www.coroflot.com>)



Fig.II.101 – A sinistra: Grassland, *Shade*. La superficie esterna del lampadario è inverdita mediante una particolare specie vegetale erbacea che rinesechisce molto lentamente nel tempo, quindi l’oggetto varierà d’aspetto durante il proprio ciclo di vita fino a diventare completamente giallognolo e secco. (Fonte: <http://www.grassland-site.com>)

Fig.II.102 – A destra: Innovo Design, piattaforma portaombrelli e portascarpe *Green Trace*. Essa contiene al proprio interno dei semi d’erba che, con l’acqua apportata dagli ombrelli o dalle scarpe bagnate, germoglieranno producendo un tappeto inerbito all’interno dell’edificio. (Fonte: <http://www.innovo-design.com/?p=86>)

Ne consegue che l'approdo della vegetazione agli oggetti del disegno industriale può essere accolta come un'innovazione forte che sarà in grado di aprire interessanti orizzonti al design, potendo inoltre beneficiare sempre e comunque, tali manufatti, di quelle che sono le potenzialità rapportabili all'impiego della vegetazione in un dato ambiente. Ma tale innovazione dovrà di volta in volta essere attentamente studiata e ponderata, ponendosi nei confronti del sistema vegetale come verso di quello che esso è nella realtà, ossia un essere vivente; quindi un elemento *vivo*, che qualora decontestualizzato ed immesso in un ambiente che non gli è del tutto consono – la pianta quando integrata a un oggetto di design non si trova esattamente nel suo *habitat* originario – andrà per forza di cose considerata con ancora maggiore attenzione e delicatezza.



Fig.II.103 – A sinistra: Whirlpool, *BioLogic*, 2002. Questa particolare lavatrice, ancora in fase di sperimentazione, ospita delle piante vive che fungono da sistema di fitodepurazione: dopo aver effettuato un ciclo di lavaggio, l'acqua passa all'interno del sistema fitodepurativo dove si purifica e contribuisce a mantenere in vita le piante. Una volta ripulito, lo stesso liquido è pronto ad essere utilizzato per un ulteriore ciclo di lavaggi. (Fonte: *Nemeton*, n.2, settembre 2009, p.55)

Fig.II.104 – A destra: Francesco Castiglione, *Timeless garden*, 2008. L'orologio è auto-alimentato da una reazione chimica che si viene a formare tra il fango in esso contenuto e degli elettrodi metallici. Il fango permette inoltre l'impianto e la crescita di specie vegetali, per un oggetto che si trova a metà strada tra un orologio da tavolo e un vaso. (Fonte: *Nemeton*, n.3, aprile 2010, p.59)

A conclusione del presente capitolo preme sottolineare come la presenza della vegetazione all'interno di tutte le molteplici declinazioni e scale del progetto d'architettura – la forte presenza naturale andrà qui intesa come intima integrazione della materia vegetale alle chiusure edilizie – sia sì storicamente rilevabile all'interno della storia delle costruzioni, ma sarà altrettanto degno di nota evidenziare come la modalità d'integrazione tecnologica tra manufatto edilizio e vegetazione sia oggi più che mai caratterizzata da uno stadio di progressione (mediata anche da una grande spinta sociale e culturale) che ne aumenta fortemente le potenzialità, oltre a poterne prefigurare ulteriori ed inediti orizzonti d'innovazione. Nei capitoli che seguiranno l'obiettivo sarà quello di delineare lo stato dell'arte e di sviluppo di queste tecnologie nel lungo-medio periodo.

II.12. Fonti di riferimento

In questo ultimo paragrafo verranno citati i riferimenti sia bibliografici che derivanti dalla consultazione di pagine *web*, utilizzati nella redazione del capitolo. Tutti i titoli qui segnalati saranno riportati anche nella *Bibliografia e sitografia generale*, reperibile nelle pagine finali della ricerca.



Fig.II.105 – A sinistra: Terreform + Michael Sorkin, *New York city (steady) State*, 2010. Questa proposta, presentata alla Biennale di Architettura di Venezia del 2010, è un progetto di reinverdimento della metropoli di New York. Si notino le facciate invedite dei palazzi, coperture a verde pensile, installazioni per l’approvvigionamento di energia pulita ed orti urbani. (Fonte: <http://www.designboom.com>)

Fig.II.106 – A destra: Progetto de *La Rivoluzione Vegetale*, Torino, 2009. Fotomontaggio satellitare raffigurante il capoluogo piemontese nell’area prospiciente al Lingotto: si possono vedere tutte le strade e gli spazi aperti della città come completamente invediti. (Fonte: <http://www.larivoluzionevegetale.it>)

II.12.1. Bibliografia tematica

1. AA.VV., *Hundertwasser Architecture*, Cologne, Taschen, 1997, pp.320
2. ABRAM, PAOLO, *Giardini pensili – Coperture a verde e gestione delle acque meteoriche*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2004, pp.239
3. BELLINI, OSCAR EUGENIO, DAGLIO, LAURA, *Verde Verticale – Aspetti figurativi, ragioni funzionali e soluzioni tecniche nella realizzazione di living walls e green façades*, Santarcangelo di Romagna (RN), Maggioli Editore, 2009, pp.343
4. BIT, EDOARDO, GIACOMELLO, ELENA, “L’integrazione fra sistemi di involucro e componenti vegetali per la mitigazione ambientale nel clima Mediterraneo”, pp.6, in GERMANÀ, MARIA LUISA (a cura di), *Permanenze e Innovazioni nell’architettura del Mediterraneo – Materiali del VI Seminario OSDOTTA*, 2011 (in corso di pubblicazione)
5. DUNNETT, NIGEL, KINGSBURY, NOEL, *Planting Green Roofs and Living Walls*, London, Timber Press, 2008, pp.328
6. FABRIS, LUCA MARIA FRANCESCO, *Tecnonatura: progetti per la rivoluzione ambientale*, Santarcangelo di Romagna (RN), Maggioli Editore, 2009, pp.252
7. GAUZIN-MÜLLER, DOMINIQUE, *L’architecture écologique*, Le Moniteur, Paris, 2001, (ed. ital.

- MORO, MARCO (a cura di), *Architettura sostenibile*, Milano, Edizioni Ambiente, 2003, pp.258)
8. GRHC – GREEN ROOFS FOR HEALTHY CITIES, *Introduction to Green Walls – Technology, Benefits & Design*, pubblicazione on-line disponibile all'indirizzo <http://www.greenroofs.org>, 2008, pp.38
 9. ISTITUTO LINA BO & P.M. BARDI, *Lina Bo Bardi*, Milano, Charta, 1994, pp.333
 10. LAMBERTINI, ANNA, "Dal verde parietale al giardino verticale. Progettare con la tecno-natura", pp.5-22 in CORRADO, MAURIZIO (a cura di), *Il Verde Verticale*, Bologna, Sistemi Editoriali, 2010
 11. LAMBERTINI, ANNA, *Giardini in verticale*, Firenze, Verbavolant, 2007, pp.240
 12. MCQUAID, MATILDA, *Shigeru Ban*, London, Phaidon, 2003, pp.240
 13. MINGUZZI, GIANLUCA, "L'involucro edilizio: innovazione tecnologica e implicazioni architettoniche", pp.61-73, in *Architettura sostenibile – Una scelta responsabile per uno sviluppo equilibrato*, Milano, Skira Editore, 2008
 14. MUSACCHIO, ANTONIO, TATANO, VALERIA, "Superfici naturalizzate", pp.105-112, in BARUCCO, MARIAANTONIA, TRABUCCO, DARIO, (a cura di), *ARCHITETTURA_ENERGIA – Un'indagine sul complesso rapporto tra la professione dell'architetto e la questione energetica*, Monfalcone, EdicomEdizioni, 2007
 15. POZZI, CARLO, *Ibridazioni architettura/natura*, Roma, Meltemi editore, 2003, pp.118
 16. REDAZIONALE DI A10, "Country living", A10, n.30, nov-dec 2009, pp.4-6
 17. REDAZIONALE DI Detail, "Zahnklinik in Otake", Detail, n.12, 2006, pp.1406-1408
 18. REDAZIONALE DI L'Arca, "Il verde laminato", L'Arca, n.166, 2010, pp.70-73
 19. REDAZIONALE DI The Architectural Review, "Vertical garden city", The Architectural Review, n.1137, 1991, pp.38-41
 20. RICCHI, DARIO (a cura di), "Cities from Scratch – Intervista a Mitchell Joachim", Area, n.99, luglio-agosto 2008, pp.160-163
 21. RICHARDSON, PHYLLIS, *XS Green: big ideas, small buildings*, London, Thames & Husdon, 2007, pp.224
 22. ROTA, ITALO, "La casa cangiante", Abitare, n.486, ottobre 2008, pp.109-121
 23. SANTI, VALENTINA (a cura di), *Gli strumenti normativi inerenti l'uso del verde in copertura e in facciata*, Università IUAV di Venezia, ArTec – Archivio delle Tecniche e dei materiali per l'architettura e il disegno industriale, documento on-line disponibile all'indirizzo <http://www.iuav.it/Ricerca1/centri-e-l/ARTEC/sostenibil/PROGETTARE/Normative-di-riferimento-per-le-supe.pdf>, pp.19
 24. SINOPOLI, NICOLA, TATANO, VALERIA (a cura di), *Sulle tracce dell'innovazione – Tra tecniche e architettura*, Milano, Franco Angeli, 2002, pp.279
 25. TATANO, VALERIA, "La natura normalizzata: le facciate verdi nei regolamenti edilizi", pp.97-113, in TATANO, VALERIA (a cura di), *VERDE: naturalizzare in verticale*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli Editore, 2008
 26. UNGERS, OSWALD MATHIAS, KLOTZ, HEINRICH, *Oswald Mathias Ungers: 1951-1984. Bauten und Projekte*, Braunschweig, Vieweg, 1986, pp.274
 27. WELLER, BERNHARD, REXROHT, SUSANNE, "Material wirkt – Neue Entwicklungen an der Fassade", Detail, n.11, 2005, pp.1292-1298
 28. WINES, JAMES, *Green architecture*, Köln, Taschen, 2008, pp.240
 29. ZAMBELLI, MATTEO, "Suolo prismatico", Arketipo, n.21, marzo 2008, pp.56-67

II.12.2. Sitografia tematica⁷⁰

- <http://www.archdaily.com>

Archdaily è la rivista on-line di architettura più visitata al mondo.

- <http://www.designboom.com>

Designboom è una rivista on-line specializzata in architettura e design.

- <http://www.iuav.it>

Portale web dell'Università IUAV di Venezia.

- <http://www.urbanarbolismo.es>

Urbanarbolismo è «una giovane impresa – spagnola – che opera ai fini dell'integrazione fra architettura e natura». Tale azienda si occupa sia di progettazione edilizia che di realizzare e brevettare sistemi tecnologici ospitanti vegetazione naturale; il sito contiene anche un *blog* interessante, sempre aggiornato in merito a sistemi e progetti provenienti da ogni parte del mondo.

- <http://www.architectmagazine.com>

Sito web ufficiale dell'*American Institute of Architects*.

- <http://www.archiportale.com>

Archiportale è uno spazio web dedicato alle molteplici declinazioni della professione dell'architetto.

- <http://www.baumraum.de>

Baumraum, studio tedesco che si occupa esclusivamente della progettazione e realizzazione di case sull'albero ed edifici a stretto contatto con la natura.

- <http://www.g-sky.com>

Sito della ditta nordamericana *G-SKY*, produttrice di giardini, tetti e pareti a verde.

- <http://www.artsadmin.co.uk>

Arts Admin è una ONLUS inglese che si occupa di scoprire e finanziare l'operato di artisti giovani e sconosciuti.

- <http://www.archinode.com>

Archinode è uno studio statunitense che si occupa di «architettura, ecologia e progettazione urbana».

- <http://www.rueroylearchitectes.com>

Sito dello studio francese *Rue Royale Architectes* con sede a Lione.

- <http://www.mindscape.jp>

Mindscape è uno studio giapponese di design, specializzato nell'operare con piante viventi.

⁷⁰ Ultima visita ai siti web di seguito citati: sabato 12 febbraio 2011.

- <http://www.benettistone.com>

Benetti Stone è un'azienda d'arredamento d'interni; *MOSStyle*, una particolare linea della loro produzione, integra pietra e muschio vivente.

- <http://www.grassland-site.com>

Portale della ditta tedesca *Grassland*, specializzata in oggetti di design integranti specie vegetali vive.

- <http://www.innovo-design.com>

Innovo Design, ditta giapponese che progetta e realizza oggetti di disegno industriale.

- <http://www.larivoluzionevegetale.it>

La *Rivoluzione Vegetale* «nasce come progetto di documentario utopico e fantascientifico legato alle tematiche dell'ambiente e dell'habitat urbano con l'obiettivo di raccontare per quali ragioni, in quali condizioni e a quali costi è avvenuta la 'rivoluzione' urbanistica, economica, culturale ed antropologica.»

- <http://luzinterruptus1.blogspot.com>

Sito web di *Luzinterruptus*, gruppo artistico spagnolo specializzato in installazioni urbane.

- <http://www.brokencitylab.org>

Broken City Lab è «un gruppo interdisciplinare di ricerca artistica, focalizzato sulla città contemporanea, sulla sua comunità e sulle sue infrastrutture».

- <http://commons.wikimedia.org>

Wikimedia Commons è una raccolta di files multimediali (immagini, video, ecc.) gratuiti e a licenza libera.

- <http://www.flickr.com>

Flickr, applicazione on-line per la gestione e la condivisione di fotografie digitali.

- <http://www.hurstwic.org>

Sito web informativo che si occupa di tematiche storiche legate alle popolazioni e alle società vissute in nord Europa durante l'epoca vichinga.

- <http://www.parisdailyphoto.com>

Blog fotografico dedicato alla città di Parigi.



III. I rivestimenti vegetali

Nel terzo capitolo si analizza quella che è la concezione maggiormente storicizzata fra le diverse forme d'inverdimento parietale esistenti, ossia i *rivestimenti a verde*², mirando a fornire adeguata esplicazione tecnologica, impiantistica, costruttiva e gestionale di questa tipologia, e dei sistemi o prodotti attualmente riscontrabili sul mercato ed impiegabili nella sua realizzazione. Successivamente si passerà alla visita dei rivestimenti vegetali in base alle molteplici funzioni alle quali essi possono assolvere. Nella parte finale del capitolo verrà proposto un modello tabulare per la valutazione dei costi di realizzazione e gestionali.

Obiettivo della presente sezione della ricerca sarà dimostrare quello che allo stato dell'arte attuale è il punto d'arrivo di questa particolare tipologia, fornendo delle linee guida per la progettazione dei rivestimenti a verde. Essi rappresentano il sistema d'inverdimento parietale più maturo ed importante, nonché quello maggiormente conosciuto; quello che ha attraversato buona parte della storia delle costruzioni, divenendo una delle matrici culturali e tecnologiche che hanno permesso di approdare all'odierno ulteriore passo evolutivo in materia di Verde Verticale, ossia le *chiusure verticali vegetate* analizzate nei capitoli a seguire.

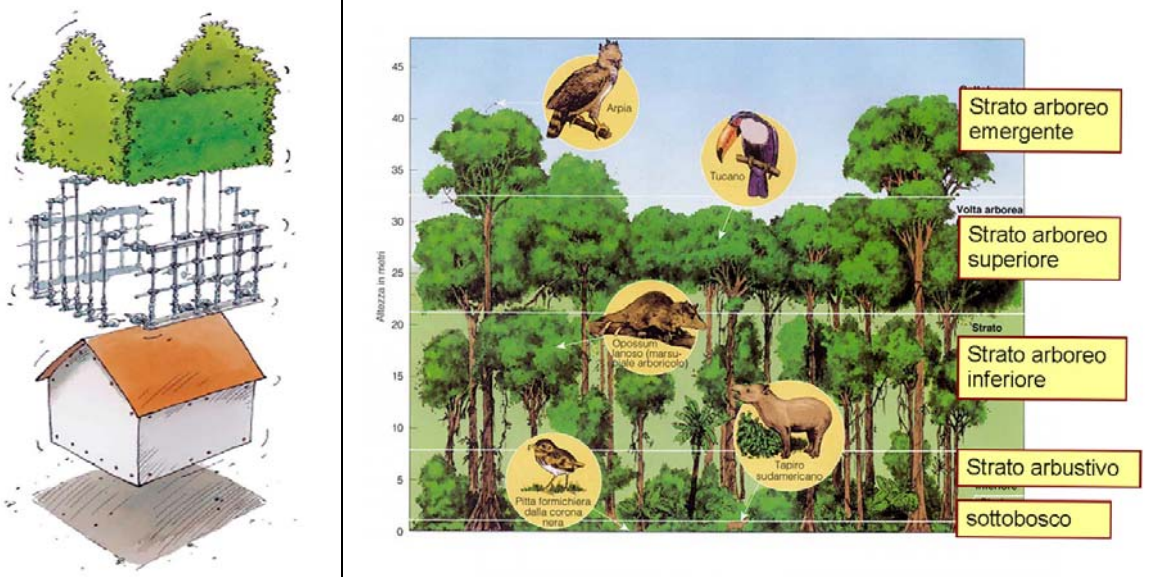


Fig.III.1 – A sinistra. Esploso assonometrico che schematizza le componenti standard di un rivestimento vegetale eseguito con tecniche contemporanee. Oltre all'edificio da inverdire, un rivestimento a verde si compone del sistema vegetale e di una struttura di mediazione finalizzata a supportare lo sviluppo delle piante. (Fonte: Jakob Ingo Lee)

Fig.III.2 – A destra. Schema degli strati vegetali per un qualsiasi ambiente forestale, in funzione della struttura delle piante riscontrabili. L'esempio riportato si riferisce alla foresta tropicale pluviale: in base al contesto di riferimento le specie presenti (vegetali o animali) varieranno di volta in volta. (Fonte: FILESI, LEONARDO, *Dispense del corso di Botanica – Prima parte*, in bibl., p.24)

¹ L'immagine della pagina precedente raffigura un dettaglio di facciata dell'edificio Z58 a Shanghai (Cina), progettato dal giapponese Kengo Kuma. (Fonte: LAMBERTINI, ANNA, *Giardini in verticale*, in bibl., p.223)

² Nel prosieguo del capitolo i rivestimenti a verde potranno talvolta essere indicati con la sola definizione di *rivestimenti*: ciò al fine di semplificare l'apparato testuale della ricerca. Si intende perciò specificare fin da subito che, anche se verrà in alcuni casi omessa la parola *vegetali* (o *a verde*), si continuerà sempre e comunque a riferirsi a sistemi tecnologici che ospitano la vegetazione sulla propria superficie.

III.1. Piante che naturalmente proliferano in verticale e specie più adatte al rivestimento di facciate edilizie

Un *rivestimento a verde*³ consiste in un apparato vegetale che ricopre una superficie edilizia verticale o un sottosistema tecnologico destinato al supporto della pianta, giungendo così a realizzare un sistema composito formato dalla collaborazione sinergica fra componente vegetale ed apparati strutturali, dove l'elemento più importante e caratterizzante è rappresentato dalla vegetazione (Fig.III.1).

Tutte le piante, o quasi, hanno la tendenza a svilupparsi verticalizzando, nella ricerca della luce solare come fonte d'energia, il cui sfruttamento sarà necessario alla crescita degli organi vegetali. D'altra parte è anche rilevabile come tutte le specie⁴ di pianta possono crescere – qualora rispettate alcune specifiche condizioni – anche se impiantate su superfici verticali: seppur solitamente si tenda a pensare ai vari strati vegetali visibili⁵ come a degli elementi verticali che nascono dalla superficie orizzontale del terreno (Fig.III.2), ogni tipo di pianta può anche trovare alloggio e crescere aggrappandosi o arrampicandosi su delle superfici verticali.

Mediante alcuni specifici espedienti tecnologici o d'impianto è possibile posizionare su una superficie verticale qualsiasi tipologia di specie vegetale (Fig.III.3), andando quindi a realizzare quelle particolari tipologie di chiusure edilizie vegetate e profondamente integrate agli elementi vegetali in esse contenute che, all'interno del paragrafo II.5, sono state declinate come *chiusure verticali vegetate* o *muri vegetali*. Tuttavia esistono anche delle specie che in funzione delle proprie particolari caratteristiche di crescita e portamento hanno la capacità di arrampicarsi verticalmente su qualsiasi oggetto esse incontrino (Fig.III.4): tali piante sono appunto dette *rampicanti*.

Le piante rampicanti sono composte da una parte radicale sotterranea, una legnosa ed una fogliare, ma non vi è nettamente riscontrabile un fusto che abbia la capacità di sviluppo in verticale⁶. Le specie rampicanti – spesso reperibili in letteratura anche col solo aggettivo di *rampicanti* – appartengono alle più diverse famiglie botaniche, e possono essere declinate come delle specie «a metà strada tra un'erba, un cespuglio e un albero ad alto fusto; si differenziano da quest'ultimo per il portamento dei fusti, esili e particolarmente flessibili, e perciò richiedono un supporto rigido per sostenersi»⁷. Grazie alle caratteristiche fisiche proprie ed agli organismi che ne compongono le propaggini vegetali, esse riescono ad arrampicarsi su superfici verticali mediante differenti modalità. Alcune di esse riescono infatti ad autosostenersi, potendo disporre di radici aeree o ventose, mentre altre, presentando la tendenza a verticalizzare intrecciandosi secondo varie modalità, necessitano di

³ Nel paragrafo II.5 è stata fornita la descrizione della locuzione *rivestimento a verde*.

⁴ All'interno della gerarchia tassonomica di classificazione biologica degli esseri viventi presenti sulla terra la *specie* si trova al livello più basso, ed è considerabile come «l'unità fondamentale di base del sistema di classificazione: dal punto di vista biologico è costituita da un complesso di organismi tra loro interfecondi e in grado di dare origine a prole feconda; gli organismi di una stessa specie condividono un patrimonio genetico che si considera sostanzialmente chiuso rispetto a quello di altre specie». Essa può quindi essere considerata come l'unità di base che univocamente accomuna degli organismi uguali. (Fonte: <http://www.treccani.it>)

⁵ Partendo dallo strato superficiale della crosta terrestre e procedendo verso l'alto sono rilevabili alcune stratificazioni vegetali in funzione delle differenti tipologie ed altezze delle varie specie naturalmente presenti. Dal basso verso l'alto si possono annoverare: lo strato *erbaceo* per alcuni centimetri al di sopra della superficie, quello *arbustivo* che arriva fino a 5-7 metri dalla crosta terrestre, ed alcuni differenti strati *arborei* dipendentemente dall'altezza degli alberi presenti: arboreti di prima, seconda o terza grandezza. Cfr. FILESI, LEONARDO, *Dispense del corso di Botanica – Prima parte*, in bibl., p.24

⁶ Una specie arborea solitamente si compone di radici, fusto, rami e foglie; inoltre, alcune piante possono presentare fiori e/o frutti come organi destinati alla riproduzione. Ognuno dei citati apparati è destinato a specifiche funzioni, necessarie alla vita della pianta.

⁷ BELLOMO, ANTONELLA, *Pareti verdi – Linee guida alla progettazione*, in bibl., p.59

particolari elementi di sostegno: tra queste si possono annoverare le piante volubili, quelle che si aggrappano mediante l'ausilio di viticci e le specie ad intreccio (Fig.III.5).



Fig.III.3 – A sinistra. Piante spontaneamente cresciute tra gli anfratti di roccia. Le cavità massive vengono facilmente colonizzate dalle piante: il vento trasporta dapprima terra e polveri che accumulandosi diventano substrato; in tempi successivi, il flusso ventoso o gli insetti possono trasportare i semi di alcune piante che trovano in quei substrati ottimali territori su cui proliferare. Tale concetto di *parete ospitante al proprio interno sacche e volumi di substrato per l'impianto di vegetali* è quello che sta alla base delle chiusure verticali vegetate o dei muri vegetali.

Fig.III.4 – A destra. Una volta che i rampicanti incontrano un qualsiasi elemento lungo la propria crescita tendono a seguirne la conformazione geometrica. Dalla foto ciò è ben comprensibile: una pianta di edera cresciuta in prossimità di un palo telefonico si è sviluppata seguendo la morfologia. L'edera ha dapprima avvolto il fusto verticale, continuando poi ad avanzare anche sul filo trasversale sospeso sulla via carrabile.

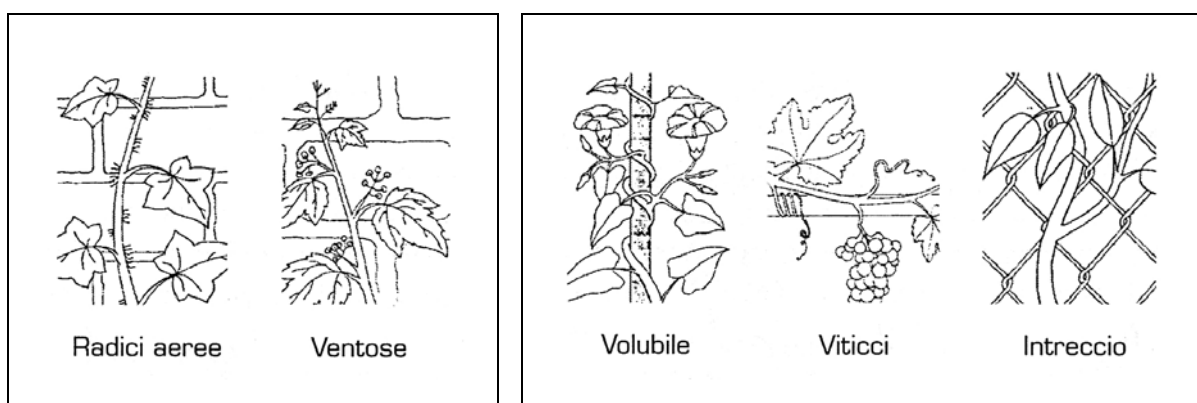


Fig.III.5 – Modalità di ancoraggio dei rampicanti. A sinistra: piante che si autosostengono aggrappandosi direttamente alle superfici mediante proprie radici aeree o ventose. A destra: piante che necessitano di apposite strutture di sostegno. (Rielaborazione da: BELLOMO, ANTONELLA, *Pareti verdi – Linee guida alla progettazione*, in bibl., p.73)

Da notare che tali tipologie di piante, seppur particolarmente adatte all'inverdimento di pareti edilizie o superfici verticali che incontrassero durante le fasi di crescita, qualora non trovassero alcun oggetto lungo il proprio cammino si svilupperebbero orizzontalmente. Accrescimento orizzontale che, a quel punto, potrebbe essere identificato con un portamento *strisciante* e "in larghezza", mediante uno sviluppo geometricamente assimilabile ad una superficie concentrica imperniata nel punto il cui il fusto si insinua nel terreno.

Le piante autosostenenti sono quelle rampicanti per eccellenza, essendo in grado di sviluppare degli appositi organi vegetali (Fig.III.6) che gli permettono di attecchire e svilupparsi in verticale. Tali organi possono essere delle radici *aeree* o *a ventosa*, e consentono ai rami del rampicante di progredire in altezza col trascorrere del tempo. Potendo aggrappare direttamente sulla superficie ad esse deputata, tali piante non necessitano di alcuna sottostruttura di supporto o di ancoraggio alla chiusura. Esempio di piante rampicanti sono, tra le molteplici rilevabili, tutte quelle appartenenti alle famiglie di edera (nome botanico: *Hedera*).



Fig.III.6 – A sinistra. Esempio di radice a ventosa: *Parthenocissus tricuspidata* (vite vergine) aggrappata direttamente all'intonaco murario.

Fig.III.7 – A destra. Esempio di aggrappo a viticci: la normale vite da uva (*Vitis vinifera*) è una pianta che si sostiene mediante l'ausilio dei viticci. Essa necessita, perciò, di adeguate strutture di sostegno per potersi sviluppare sia in verticale che orizzontalmente: nel caso specifico è stato adottato un reticolo ortogonale di cavi metallici in tensione.

Esistono poi delle specie che possono svilupparsi verticalmente solo se assistite da opportune sottostrutture atte a sostenerle o guidarle nella crescita. Tali tipologie di piante tendono a crescere avvolgendosi⁸ agli oggetti che incontrano (Fig.III.7), e qualora non possano contare su degli appositi elementi strutturali finalizzati al loro sostegno assumerebbero un portamento strisciante. Due esempi sono il *Jasminum* (gelsomino) e il *Wisteria* (glicine).

⁸ Come visibile in Fig.III.5 i tipi di intreccio possono essere tre. Nel primo caso il fusto della pianta si attorciglia completamente al supporto: queste specie vegetali solitamente presentano un fusto molto pronunciato e delle propaggini di dimensioni minori. Nel secondo caso, la pianta sviluppa dei viticci attraverso le propaggini vegetali: saranno tali cirri ad aggrapparsi alla struttura, avvolgendola. Il terzo caso, invece, prevede che siano tutti gli organi della pianta ad avvolgersi, quindi sia il fusto che i rami.

In base alle differenti particolarità che ogni pianta avrà di verticalizzare avvolgendosi, andranno opportunamente conformati e dimensionati i sistemi di supporto (Fig.III.8). Per le piante *volubili* sono preferibili supporti dalla conformazione verticale, consistenti in cavi tesati o strutture rigide.

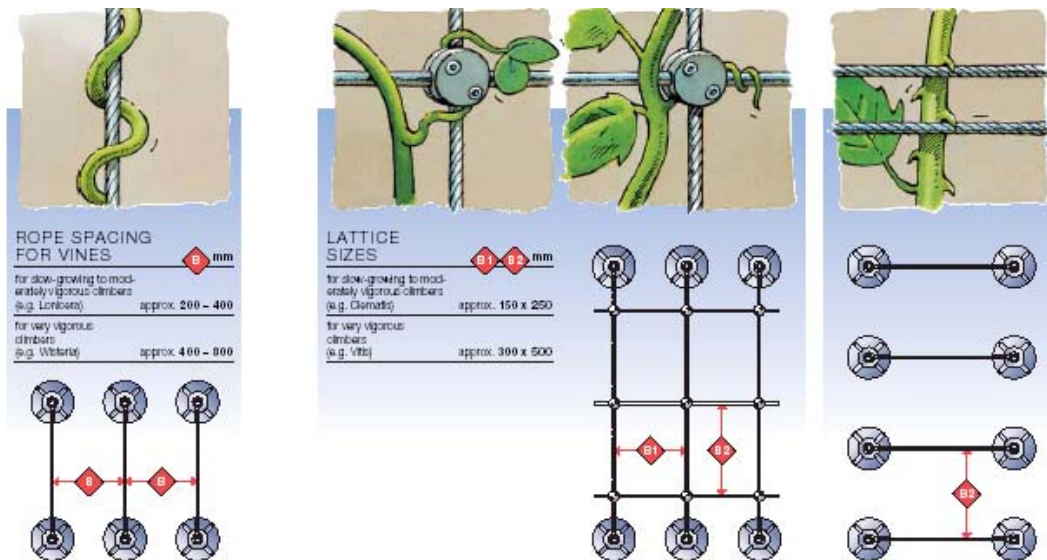


Fig.III.8 – Schematizzazione delle configurazioni di supporto alla vegetazione necessarie in base alla modalità di sviluppo della pianta. Le specie a crescita volubile (prima colonna a sinistra) richiedono supporti lineari verticali; le piante a viticci (seconda e terza colonna) necessitano di conformazioni a griglia; le strutture orizzontali si adattano meglio alle piante che aggrappano mediante spine (quarta colonna). Gli interassi fra i supporti e le dimensioni degli stessi andranno concepiti in base alle specifiche caratteristiche fisiche delle piante selezionate. (Fonte: catalogo *Jakob Inox Line*)

Nel caso dei viticci⁹, che restano avventizi finché non trovano un elemento attorno al quale avvolgersi, dovranno essere usati sostegni molto sottili in modo che i cirri possano attorcigliarvisi completamente. Si potranno in questo caso impiegare supporti rigidi, fili, corde o legacci, garantendo comunque uno spazio idoneo¹⁰ tra il supporto e la superficie muraria, in modo che la pianta possa trovare lo spazio per avvolgersi. A seconda della specie, i viticci potranno formarsi come modificazione del fusto (ad esempio per la vite – *Vitis vinifera*) o derivare da trasformazioni della foglia, come accade per alcune specie leguminose: tale divergenza di conformazione, comunque, non richiede differenze nella progettazione della struttura ad esse destinata.

Le piante a *intreccio* prediligono graticci o strutture retate, e sarà sempre fondamentale fissare le propaggini vegetali alla sottostruttura di supporto mediante legacci, sia nelle prime fasi d'impianto che per indirizzarne la crescita (Fig.III.9 e Fig.III.10): in caso contrario questa particolare tipologia di piante tenderebbe ad avere un portamento strisciante.

Esiste poi, seppur scarsamente impiegata nei rivestimenti a verde, un'ulteriore tipologia di specie che potrebbero essere impiegate nella verticalizzazione vegetale, ossia quelle che sviluppano organi vegetali esterni a spina o "ad uncino". Queste appartengono alla famiglia delle *Rosaceae* (ad esempio il *Rubus idaeus* ossia il lampone, le rose convenzionali o i rovi) e trovano nelle strutture orizzontali

⁹ I viticci sono detti anche *cirri*.

¹⁰ In Tab.III.55 vengono riportate le distanze minime da rispettare tra rivestimento e parete.

quelle ottimali alla propria verticalizzazione. Ciò accade in quanto spine ed uncini aggrappano con facilità su correnti orizzontali equidistanti.



Fig.III.9 – A sinistra: elementi per il supporto della pianta nelle prime fasi d’impianto e/o per indirizzarne lo sviluppo. Trattasi di un’asola metallica a muro, completata da un legaccio che sostiene le propaggini di una *Parthenocissus tricuspidata*. Seppur tale specie possa contare sulle proprie radici a ventosa, l’utilizzo di elementi d’indirizzamento è a discrezione dell’agronomo che ne gestisce la crescita, qualora si voglia ottenere una copertura vegetale uniforme.

Fig.III.10 – A destra: utilizzo di filo metallico per l’indirizzamento in orizzontale e verticale di un’edera. La pianta aggrappa direttamente sulla superficie di calcestruzzo mediante le proprie radici aeree, mentre i fili metallici servono esclusivamente a “forzarne” l’andamento formale.



Fig.III.11 – Pianta a crescita volubile: il sistema metallico rigido e verticale serve a sostenere e guidare l’elemento vegetale nel suo sviluppo verticale. La specie in questione è una *Wisteria sinensis purple*: appartiene cioè alla famiglia delle glicini.

Fig.III.12 – Esempio di pianta a sviluppo rampicante: l’edera aggrappa direttamente sulla superficie muraria di calcestruzzo armato mediante proprie radici a ventosa. Questa è una pianta di *Parthenocissus tricuspidata*, volgarmente denominata vite vergine.

Altra tipologia di vegetali impiegata nei rivestimenti verdi, seppur in forma molto ridotta rispetto ai rampicanti, è quella delle piante a portamento decombente: le decombenti – reperibili in letteratura anche con l'appellativo di ricadenti, prostrate o striscianti in funzione delle specifiche caratteristiche della chioma – anziché svilupparsi arrampicando, tendono a ricadere verso il basso (Fig.III.13). Esse, come accade anche nel caso dei rampicanti, non possono contare su un fusto particolarmente alto o robusto; inoltre non presentano radici aeree o a ventosa, né tanto meno la possibilità di crescere avvolgendosi. Tali tipologie, quasi sempre arbustive e di piccolo taglio, si sviluppano quindi strisciando o ricadendo a seconda che trovino o meno alla propria base una superficie d'appoggio¹¹. Anch'esse possono appartenere a numerose famiglie vegetali o specie botaniche e, viste le particolarità del portamento, sono sempre impiegate tramite coltivazioni in vaso sollevate da terra. Esempi di piante decombenti molto diffuse sono i gerani, la petunia e le felci.

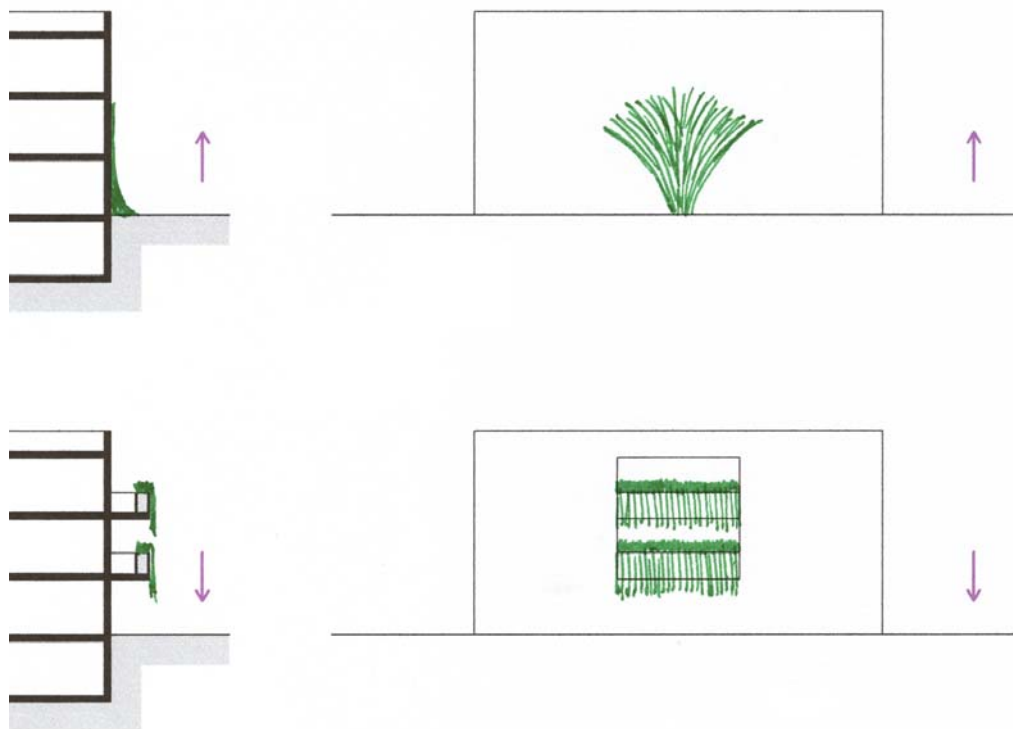


Fig.III.13 – Schema delle modalità d'impiego e di sviluppo delle specie rampicanti (sopra) o decombenti (sotto). A sinistra dell'immagine è rappresentato un edificio in sezione, mentre a destra sono schematizzati dei prospetti. Le frecce indicano la direzione di sviluppo della pianta: i rampicanti vanno verso l'alto, le decombenti tendono a ricadere.

Le decombenti si comportano quindi in modo opposto rispetto ai rampicanti – se questi ultimi salgono verso l'alto, le decombenti ricadono verso il basso – e, come detto, i rivestimenti vegetali attuati mediante decombenti sono meno usuali. Questo perché le specie decombenti richiedono

¹¹ Si precisa che anche i rampicanti, non trovando una superficie o un oggetto su cui proliferare verticalizzando, tenderebbero ad assumere un portamento strisciante – cioè orizzontale – o ricadente (Fig.III.17). La differenza tra un rampicante e una specie decombente è quindi che il primo potrà verticalizzare solo se rispettate certe regole, mentre la seconda, non possedendo le caratteristiche per verticalizzare, potrà rivestire una parete soltanto ricadendovi "a cascata".

obbligatoriamente la presenza di una serie di sottostrutture tecnologiche molto o sufficientemente complesse per la propria messa in opera, come vasi e fioriere posti ad una certa altezza da terra; differente quel che accade con alcune specie rampicanti: esse possono tranquillamente proliferare su una superficie edilizia in modo totalmente autonomo e senza la presenza di alcuna sottostruttura.



Fig.III.14 – A sinistra: edificio montano. Le balconate e lo spazio esistente tra di esse sono stati quasi totalmente vegetati sfruttando il portamento decombente delle piante di geranio.
 Fig.III.15 – A destra: Shigeru Ban, *Hayek Center*, Tokyo, 2007. La parete multipiano prospiciente sull’atrio d’ingresso è stata inverdita mediante piante sempreverdi a portamento decombente: grandi fioriere, giustapposte sia in altezza che orizzontalmente, ospitano una combinazione di otto specie vegetali indigene e tropicali. (Fonte: Francesca Pettenon)

In campo architettonico, il rivestimento di un’intera superficie muraria mediante specie decombenti è un evento raro in quanto, considerate le peculiarità di queste tipologie di piante, l’inverdire ampie superfici renderebbe necessario il posizionamento di una grande quantità di vegetali, unitamente ad un elevato numero di sottostrutture anche molto ingombranti o robuste a causa del peso del terreno da disporre in quota. Ciò nonostante sono rilevabili, sia nel passato che nei tempi della contemporaneità, alcune interessanti sperimentazioni che abbiano impiegato tale tipologia di rivestimento (da Fig.III.14 a Fig.III.16).

Concludendo questa introduzione incentrata sulla descrizione di quali famiglie vegetali siano o meno portate alla verticalizzazione, risulta utile riassumere come ed in quali casi alcune specie possano essere impiegate nel rivestimento di una parete edilizia.

Qualsiasi tipologia di pianta, una volta attuate particolari strategie d’impianto e coltivazione, potrebbe essere adottata nella realizzazione di una *chiusura verticale vegetata*, in quanto tali chiusure sono destinate ad integrare, sulla propria superficie, spazi e tecnologie che possano consentire ad una specie vegetale di sopravvivere anche in assenza o scarsità di terreno. Altra cosa sono invece i *rivestimenti a verde*, nei quali le propaggini vegetali delle piante dovranno, col tempo, invadere e rivestire – parzialmente o totalmente, a seconda delle necessità progettuali – una superficie edilizia verticale. Nel far ciò si dovranno impiegare esclusivamente specie vegetali dal portamento rampicante

o decombente, realizzando di volta in volta adeguati espedienti architettonici o tecnologici che permettano a tali piante di proliferare, e quindi di poter rivestire facciate di edifici.



Fig.III.16 – A sinistra: Francois Valentiny, padiglione del Lussemburgo presso l’Expo di Shanghai 2010. Creando delle fioriere equidistanti in altezza sull’intero sviluppo della superficie muraria verticale, e sfruttando il portamento decombente delle specie vegetali, si possono inverdire consistenti superfici edilizie. In questo caso sono state impiegate sia specie sempreverdi che floreali: le piante, col trascorrere del tempo, andranno a colmare gli spazi ora vuoti tra una fioriera e l’altra, creando un inverdimento pressoché omogeneo della corte interna al padiglione. (Fonte: Giovanni Zannoni)

Fig.III.17 – A destra: Luciano Giorgi e Liliana Bonforte, *Showroom Benetton*, Vicenza, 2010: dettaglio della finestra. Esempio di ibridazione fra tecniche di realizzazione. Le piante di vite vergine (*Parthenocissus tricuspidata*) sono messe a dimora in vaso e in quota, e ne viene sfruttato sia il portamento rampicante che decombente. Le propaggini della pianta davanti alla superficie vetrata, non trovando alcun appiglio, ricadono verso il basso; i rami prossimi alla parete invece, trovando lungo la propria crescita la muratura e il sistema di cavi tesati, verticalizzano.

III.2. La tecnologia del rivestimento a verde

Il rivestimento a verde consiste in un apparato vegetale posto sopra o in aderenza ad una chiusura edilizia. Esso, quindi, si compone sostanzialmente di due sistemi giustapposti: quello tecnologico di chiusura e quello vegetale che, a sua volta, potrà essere essenzialmente di due tipi in base al portamento delle piante. Tali due sistemi collaboranti – ossia parete edilizia e componente vegetale – potranno¹² eventualmente essere abbinati a dei sottosistemi destinati alla messa in opera o al mantenimento delle funzionalità tecnologiche del sistema *chiusura-rivestimento*.

Di tutte le tipologie d’inverdimento possibili per le chiusure edilizie il rivestimento è quella più semplice, in quanto la pianta è da considerarsi esclusivamente un elemento complementare senza il quale la chiusura edilizia potrebbe comunque continuare a svolgere pienamente tutte le funzioni che

¹² Anche se sarebbe più corretto usare il verbo *dovranno* in quanto, come spiegato nel paragrafo III.2.3, anche nel caso si utilizzino specie vegetali che abbiano la capacità di sostenersi ed aggrappare autonomamente in verticale, risulterà sempre opportuno impiegare un apparato tecnologico di mediazione tra chiusura edilizia e strato vegetale.

la normativa gli destina: il sistema vegetale andrà in questo caso considerato come un componente edilizio *funzionale ma non fondamentale* alla vita del sistema tecnologico «chiusura verticale»¹³. Si tratta quindi, nel caso specifico, di un elemento vegetale (*rivestimento*) in appoggio ad uno architettonico (*chiusura verticale*), ossia di un sistema vegetale che integra e ne riveste uno tecnologico. D'ora in avanti, all'interno del presente capitolo, ci si concentrerà perciò esclusivamente sulla trattazione di sistemi vegetali a rivestimento di chiusure edilizie, ed ai sottosistemi tecnologici – fondamentali o facoltativi – impiegabili sia per la loro vita funzionale che nella loro messa in opera (Fig.III.18).

Il rivestimento a verde è un sistema relativamente semplice e si compone, oltre che dell'apparato vegetale vero e proprio, di una serie di sottostrutture o elementi tecnologici funzionali all'impianto dei vegetali e alla loro proliferazione biologica. Tali elementi consistono nel supporto strutturale alla messa a dimora della vegetazione (strutture retate o tesate per contenere e direzionare le propaggini vegetali, vasi e fioriere, ecc.) e nell'eventuale sistema per la fornitura idrica necessaria alle piante.



Fig.III.18 – Esempio di supporto strutturale industrializzato, destinato alla crescita di vegetazione: nella foto sono ben visibili tutti i sottosistemi che andrebbero impiegati per la realizzazione di un rivestimento a verde. Il sistema, distanziato qualche cm dalla parete edilizia (di colore scuro, sullo sfondo), si compone di supporti verticali e correnti orizzontali in acciaio zincato, a loro volta tamponati con della rete a maglia fitta di circa 1 cm. Piante di *Parthenocissus tricuspidata* “*Veitchii*” sono piantate in prossimità di ogni supporto e si svilupperanno utilizzando la rete come base d'appoggio. Nella fascia “a corteccia” alla base dei rampicanti è interrato un sistema automatizzato d'irrigazione, con lo scopo di fornire alle piante l'apporto idrico loro necessario. (Fonte: Carlo Bordini)

¹³ Come da definizione della norma UNI 8290-1:1981, intitolata *Edilizia residenziale – Sistema Tecnologico – Classificazione e terminologia*.

La tecnologia del rivestimento, essendo ormai matura¹⁴, ha subito molteplici stadi di affinamento tecnologico, che gli hanno donato un forte progresso soprattutto per quel che concerne le modalità di messa in opera. Se storicamente si utilizzavano esclusivamente piante rampicanti che potessero attecchire direttamente sulla superficie edilizia in funzione delle proprie caratteristiche fisiche e senza la necessità di sottosistemi per il posizionamento in opera (Fig.III.19), le modalità d'integrazione tra rivestimento ed edificio si sono evolute nel tempo. Nei secoli addietro furono dapprima inventati elementi strutturali come *trellages* e pergole atti a manipolare lo sviluppo formale delle piante, fino a giungere alla pratica odierna in cui l'industrializzazione di elementi e sistemi per la messa a dimora dei vegetali è diventata prassi (Fig.III.20).



Fig.III.19 – A sinistra. In passato i rivestimenti a verde venivano eseguiti mediante l'impiego di piante rampicanti direttamente aggrappate alle superfici edilizie. Nell'edificio storico raffigurato non esiste alcuna sottostruttura di mediazione fra i vegetali e la superficie muraria.

Fig.III.20 – A destra. Matteo Thun, Terme di Merano (BZ), 2005: scala di accesso al parcheggio interrato. La vegetazione è supportata da un reticolo di cavi metallici tesi e distanziati qualche cm. dalla superficie della chiusura retrostante. Come si può notare nella parte destra della foto, l'ancora non completo sviluppo della pianta lascia intravedere il sistema di supporto.

A conclusione del paragrafo è interessante notare come la distinzione fra rivestimenti vegetali e chiusure verticali vegetate non sia prettamente tecnologica, ma profondamente concettuale. La componente vegetale di un rivestimento a verde, consistendo sostanzialmente in un sistema giustapposto ad una chiusura edilizia già di per sé conformata e finita, è del tutto assimilabile ad un *componente* edilizio, in quanto tale parte vegetale può sì aumentare le prestazioni energetiche, tecnologiche o formali della chiusura edilizia, ma se anche tale sistema vegetale non fosse presente la chiusura potrebbe benissimo sussistere ed espletare le proprie funzioni. Diverso il discorso per chiusure verticali vegetate o muri vegetali: in essi la componente verde è strettamente integrata e fondamentale per gli elementi che compongono la chiusura, e tale chiusura non potrebbe sussistere senza la presenza della vegetazione¹⁵. Per tali motivi, se un rivestimento è del tutto assimilabile ad un componente integrativo della chiusura edilizia, *chiusure verticali vegetate* e *muri vegetali* sono invece

¹⁴ All'interno del capitolo precedente, l'argomento dei rivestimenti vegetali è stato trattato nella sua declinazione di sviluppo storico.

¹⁵ Mancanza vegetale che dovrebbe in tal caso essere sostituita o surrogata mediante altre modalità o componenti tecnologiche.

pienamente assimilabili ad un sistema tecnologico di chiusura vero e proprio, completo e finito in sé stesso.

III.2.1. L'elemento vegetale

L'elemento vegetale rappresenta la parte più importante e delicata di un rivestimento a verde, nonché quella basilare nei confronti della riuscita formale e tecnologica del sistema. Risulterà perciò fondamentale, fin dalle prime fasi di progetto, una stretta collaborazione con figure specialistiche esperte nella gestione delle piante (come ad esempio un agronomo), in quanto l'impianto e la gestione di un apparato a verde appartiene a discipline che poco hanno a che fare con la normale pratica architettonica.

Le piante sono esseri viventi, perciò durante tutte le fasi di progettazione ed esecuzione dell'opera si dovrà da operare con l'obiettivo di garantire al vegetale ottimali condizioni vitali e di sviluppo biologico: qualora la pianta non riesca ad ottenere delle condizioni vegetative esaustive, potrebbero venire meno o decadere tutte o in parte le ragioni morfologiche e/o funzionali del rivestimento, e quindi del progetto. Si tenga conto, perciò, che saranno debitamente da conteggiare quei fattori che differenziano o accomunano le varie specie vegetali e le loro modalità d'interazione col contesto d'applicazione. Essi sono direttamente collegati alle varie caratteristiche fisiche e fisiologiche delle differenti specie, e corrispondono nello specifico a:

- ciclo vegetativo stagionale;
- esigenze di esposizione alla radiazione solare diretta;
- dimensione massima raggiungibile;
- velocità di crescita;
- densità del manto fogliare.

III.2.1.1. Ciclo vegetativo stagionale

Consiste nell'arco di tempo annuale in cui la pianta è provvista di foglie, ossia nel rapporto deciduità/fogliazione. La prima distinzione, fondamentale nella selezione di una specie vegetale finalizzata all'inverdimento parietale, sarà quindi quella di capire se sia conveniente o meno l'impiego di una specie sempreverde piuttosto che una decidua¹⁶. Diverrà innanzitutto opportuno selezionare una specie con un dato ciclo vegetativo in funzione delle esigenze progettuali, al fine di massimizzare le ricadute architettoniche nell'impiego di un rivestimento; ossia, esemplificando, si può affermare che se una delle esigenze di progetto fosse quella del rendimento bioclimatico nel guadagno solare di una superficie trasparente esposta a Sud, sarebbe opportuno scegliere una specie vegetale che perda le foglie d'inverno e le mantenga durante il periodo estivo, in modo da bloccare il flusso energetico caldo e dannoso durante i periodi caldi, permettendo invece ai raggi solari di penetrare nell'edificio durante l'inverno.

¹⁶ Le specie *decidue* sono quelle che perdono le foglie durante l'inverno. Esse vengono definite anche *caducifoglie*.

Il ciclo vegetativo stagionale è regolato dai cambiamenti di temperatura e dalle ore di luce che gli organi della pianta riescono a percepire, e perciò, anche se non è possibile definire con assoluta precisione e per ciascuna specie un periodo di deciduità/fogliazione, è comunque possibile affermare che la pianta tenderà a perdere le foglie in autunno per ripresentarle durante la primavera. Le piante sempreverdi non hanno invece un vero e proprio periodo di riposo: esse rallentano le proprie attività vegetative durante l'inverno, pur non perdendo mai le foglie.



Fig.III.21 – CBA Progetti, ristrutturazione dello *Studio Caruzzo & Associati*, Treviso, 2006. L'utilizzo di una specie decidua rende la pelle edilizia mutevole durante l'arco dell'anno. In inverno (foto a sinistra) sono visibili solo il reticolo strutturale e gli esili rami della pianta senza foglie, mentre nelle altre stagioni (a destra) l'edificio si ricopre di uno strato vegetale. Sempre nella foto a destra si noti come a quasi quattro anni dall'impianto del rampicante le propaggini vegetali non abbiano ancora raggiunto la sommità dell'edificio.

Ai fini della gestione del manufatto edilizio sarà perciò necessario conoscere il periodo di deciduità delle specie impiegate, in modo che la presenza di foglie non vada a interagire negativamente con le prestazioni dell'edificio. Tenendo conto del fatto che sono comunque reperibili in letteratura tabulazioni indicanti il ciclo vegetativo stagionale per ogni specie vegetale, una regola progettuale sempre valida potrebbe essere quella dell'impiego di piante autoctone¹⁷: queste, essendosi naturalmente evolute in una data fascia climatica o in un preciso *bioma*¹⁸, sono in equilibrio

¹⁷ Le specie autoctone (sia vegetali che animali) sono quelle tipiche e storicamente rilevabili in una data regione geografica e possono perciò anche venire definite specie *indigene*. Tale concetto si contrappone a quello di alloctonia: le specie alloctone provengono da altri areali e – spesso a seguito dell'opera volontaria o involontaria dell'essere umano – sono state introdotte in un dato luogo solo in un secondo momento, trovandovi delle caratteristiche favorevoli alla propria sopravvivenza. Alcuni tipi di specie alloctone possono creare problemi a quelle autoctone, limitandone lo sviluppo o addirittura prendendone il sopravvento fino a farle scomparire. Un esempio di contrapposizione tra specie è quello delle coccinelle asiatiche che stanno prendendo il sopravvento su quelle europee. Le specie alloctone che si contrappongono in modo aggressivo a quelle autoctone sono dette invasive. Per informazioni più dettagliate si veda il paragrafo IV.2.1 del capitolo successivo.

¹⁸ I biomi «possono essere definiti come Ecosistemi zonali, in quanto sono ecosistemi (pressoché omogenei, NdA) che interessano una intera regione bioclimatica e sono classificati in funzione della struttura della vegetazione dominante. Temperatura e precipitazioni sono i principali elementi del clima. Le medie annuali forniscono una approssimazione di larga massima delle condizioni climatiche. Una conoscenza migliore del clima di una data località è data dall'andamento di precipitazioni e temperature nell'arco dell'anno». Esempi di bioma potrebbero essere la Tundra, la Taiga, la Savana, i deserti, la Foresta Tropicale Pluviale, ecc. FILESI, LEONARDO, *Dispense del corso di Botanica – Seconda parte*, in bibl., p.23. (Per una descrizione più dettagliata si veda il paragrafo IV.2 del quarto capitolo)

col loro luogo d'origine. Ciò significa che tutte le fasi vitali della pianta sono strettamente legate alle condizioni meteorologiche ed atmosferiche tipiche del clima di provenienza, e quindi anche il periodo di fogliazione sarà correlato a clima e soleggiamento medio di un'area¹⁹.

III.2.1.2. Esigenza di esposizione alla radiazione solare

L'esigenza dell'esposizione solare è la caratteristica, differente per ogni specie vegetale, che descrive se essa richieda, tolleri o rifiuti completamente la presenza dei raggi solari. Tutte le piante hanno un comportamento differente nei confronti dell'esposizione solare, perciò ogni specie vegetale andrà opportunamente selezionata solo dopo aver debitamente conteggiato anche questo aspetto climatico.

Alcune tipologie di rampicanti richiedono espressamente il posizionamento *in pieno sole* (ad esempio *Clematis viticella*, *Jasminum officinale*, *Campsis radicans*), perciò la loro collocazione su facciate a Nord o comunque sempre in ombra potrebbe portare a dei gravi scompensi vegetativi per la pianta, finanche addirittura alla sua morte; altre, per contro, necessitano di collocazioni in zone d'ombra o mezz'ombra (ad esempio *Hydrangea Sexifragaceae*), perciò gli sarebbe deleteria una posizione fortemente esposta alla radiazione diretta. Tutte le piante – anche quelle più delicate nei confronti dei raggi solari – necessitano della radiazione solare come fonte energetica per svolgere le proprie attività fotosintetiche, ma alcune di esse prediligono soleggiamenti meno diretti o essenzialmente diffusi, perciò sarà necessario l'impiego di idonee tipologie vegetali in funzione della collocazione del rivestimento e del contesto di progetto²⁰.

III.2.1.3. Velocità di crescita

Le piante rampicanti presentano un ritmo di crescita più rapido rispetto a quello delle specie arboree. La loro velocità di sviluppo può inoltre variare sensibilmente a seconda della specie prescelta – le piante a crescita lenta hanno un accrescimento medio che si attesta intorno ai 50 cm annui, quelle considerate veloci hanno uno sviluppo mediamente stimabile sui 200 cm l'anno – ed in funzione della messa a dimora, cioè che si tratti rispettivamente di piante collocate in piena terra o in vaso (Tab.III.22). Tale aspetto è comunque «sempre in dipendenza, oltre che delle caratteristiche fisiologiche proprie di ogni singola specie, anche delle condizioni climatiche e pedologiche (ossia del terreno che le ospita, NdA) del luogo, della messa a dimora, del tempo di attecchimento e della gravità dello stress da trapianto subito, e, infine, delle cure colturali che le saranno date»²¹. Si consideri che se la scelta di specie a crescita rapida consente un inverdimento veloce della parete ad esso deputata (Fig.III.23), andranno debitamente tenuti presenti, per contro, gli interventi di potatura a frequenza maggiore che le specie a sviluppo più rapido solitamente richiedono.

¹⁹ Per lo stesso motivo le piante autoctone solitamente necessitano di minori quantità idriche rispetto ad esempio a specie alloctone provenienti da altre zone del mondo, magari maggiormente piovose: la richiesta d'acqua di una specie autoctona è tendenzialmente in equilibrio con le precipitazioni medie della sua area di provenienza.

²⁰ In merito alla precisa caratteristica qui descritta si vedano le contestuali colonne all'interno di Fig.III.31 e Tab.III.79

²¹ BELLOMO, ANTONELLA, op. cit., p.81

FLUSSO DI CRESCITA	AVANZAMENTO MEDIO ANNUO
Rapido	> 200 cm
Veloce	100-200 cm
Medio	50-100 cm
Lento	< 50 cm

Tab.III.22 – Flussi di crescita e dimensione media annuale di accrescimento per le specie rampicanti. (Rielaborazione da: BELLOMO, ANTONELLA, op. cit., p.81)

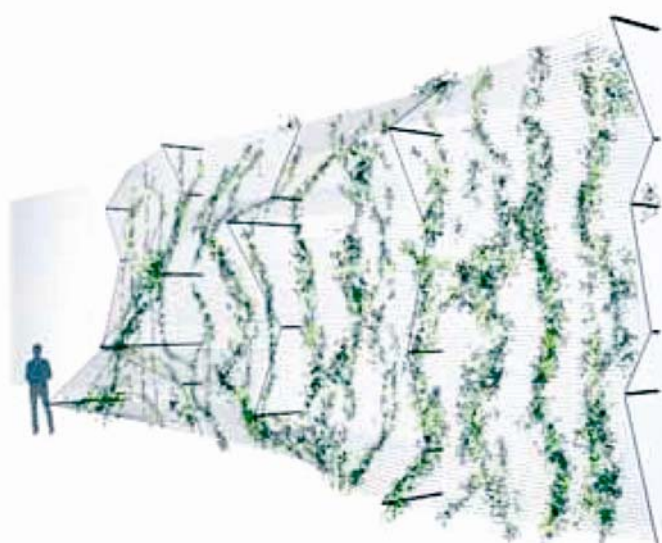


Fig.III.23 – A sinistra. Luciano Giorgi e Liliana Bonforte, *Showroom Benetton*, Vicenza, 2010: facciata laterale. Il tempo di crescita dei vegetali è un parametro da non sottovalutare. Nel caso rappresentato, vista la scarsità di punti d’impianto e la loro lontananza reciproca, trascorreranno anni prima che si possa pervenire ad un rivestimento completo della facciata: la specie impiegata è una *Parthenocissus tricuspidata* (vite vergine) che presenta un ritmo di crescita di circa 2 m all’anno. Si noti la particolare scansiono ottenuta tramite la disposizione dei cavi metallici: anch’essi possono presentare interessanti valenze formali ed essere oggetto di progettazione.

Fig.III.24 – A destra. La tecnologia *Greenover*, prodotta da *Tecnoimage*, permette grande flessibilità nel concepimento morfologico del sistema di supporto alla vegetazione; in modo che, in attesa del completo inverdimento parietale, anche la struttura possa giocare un ruolo primario nell’immagine del manufatto. (Fonte: catalogo *Tecnoimage*)

Nel momento in cui ci si appresti alla progettazione di una parete totalmente o parzialmente rivestita da vegetali sarà da tenere debitamente in considerazione, oltre che le citate tempistiche di crescita medie, anche l’andamento geometrico-formale che una specie rampicante presenta durante lo sviluppo. Un rampicante, nel corso delle proprie fasi di crescita, assume un andamento che si allarga “a ventaglio” nei confronti del punto in cui esso è stato piantato: il suo andamento formale è quindi assimilabile ad un trapezio isoscele rovesciato, con l’asse di simmetria posizionato nel punto in cui la pianta si insinua nel terreno (Fig.III.25 e Fig.III.26). Perciò, qualora l’intento progettuale fosse quello di avere una parete completamente rivestita dal vegetale, sarà necessario provvedere all’indirizzamento forzato della pianta (mediante legacci, asole o simili: Fig.III.9 e Fig.III.10) soprattutto

durante le prime fasi di sviluppo, in modo che i rami vadano a ricoprire anche le porzioni di superficie che altrimenti ne rimarrebbero sprovviste.



Fig.III.25 – A sinistra. Esempio di andamento formale nella crescita di un rampicante ancora giovane. Si noti come la pianta possa essere assimilata ad un trapezio isoscele capovolto, col centro della base minore corrispondente al punto d’impianto nel terreno. Se nel caso specifico, nella parte in alto a sinistra della pianta alcune fronde vegetali tendano a sfuggire alla conformazione “di trapezio”, è solo perché si sono qui utilizzati dei fili metallici d’indirizzamento (Cfr. Fig.III.10) con l’obiettivo di donare maggiore orizzontalità allo sviluppo vegetale.

Fig.III.26 – A destra. Ulteriore esempio di come una pianta rampicante (nella fattispecie due esemplari affiancati di *Hedera helix*) si sviluppi mediante una conformazione geometrica a trapezio. Se la vegetazione risulta meno folta nel punto in cui il fusto della pianta si insinua nel terreno, la causa è da imputarsi all’attività umana di potatura: solitamente – come descritto nel paragrafo III.2.1.5 – le specie rampicanti sono più folte alla base e meno in sommità. (Fonte: Marco Devecchi)

III.2.1.4. Dimensione massima raggiungibile

Altra questione da mettere a bilancio in fase di progettazione sarà l’altezza massima raggiungibile da ogni differente specie vegetale. Come accade per le piante arboree, infatti, anche i rampicanti non presentano tutti le stesse possibilità di sviluppo. Alcune di esse, anche a completa maturazione e dopo molti anni trascorsi dalla data d’impianto, riescono a raggiungere solo dimensioni limitate, mentre altre possono attestarsi senza problemi anche su altezze considerevoli (ad esempio la *Clematis alpina* non supera i 2-3 metri in altezza, la *Clematis montana* “superba” può raggiungere anche gli 8-10 metri, mentre l’*Hedera canariensis* può tranquillamente spingersi fino ai 25 metri – Fig.III.31). Sarà perciò importante la pertinente selezione in fase progettuale di specie vegetali che riescano ad assecondare appieno le esigenze di progetto, in modo da poter contare su piante che possano garantire nel tempo un completo ed esaustivo sviluppo del rivestimento.

Nella ricerca di uno sviluppo vegetale che possa rivestire la totalità superficiale della parete, giocano un ruolo importante le tempistiche di accrescimento della pianta, in quanto prima di poter contare su un effetto “finito” del rivestimento potrebbero essere necessari diversi anni: ad esempio sia l’*Hedera helix* che la *Parthenocissus tricuspidata* possono giungere a degli sviluppi in altezza superiori ai 20 metri; solo che la prima, avendo un ritmo di crescita lento, ci impiegherebbe verosimilmente una

quarantina d'anni, mentre l'altra, ad accrescimento veloce, potrebbe raggiungere i 20 metri di altezza in "soli" in 10-15 anni. È quindi palese come le tempistiche medie di accrescimento giochino un ruolo importante nell'attività progettuale o gestionale del manufatto, in quanto il tempo trascorso prima di giungere ad un'immagine architettonica "completa e finita" non è affatto trascurabile. Ciò potrebbe ripercuotersi, oltre che sulla configurazione formale dell'edificio, anche sulle sue caratteristiche funzionali: ad esempio, un fabbricato che ospiti un rivestimento a verde come elemento di mitigazione bioclimatica, presenterebbe delle perdite temporanee nella funzionalità o nell'efficienza energetica durante il lasso di tempo trascorso prima che il sistema vegetale possa giungere al completo sviluppo.

Ulteriore considerazione che scaturisce da quelle introdotte negli ultimi due paragrafi è che, qualora si abbia la necessità di inverdire superfici verticali che superino i 20 metri in elevazione, sarà necessario provvedere alla creazione di più aree d'inverdimento giustapposte in altezza, pervenendo alla realizzazione di impianti in quota. Tale questione andrà risolta mediante la collocazione di vasi o fioriere fuori terra, aventi il compito di ricreare la base di substrato²² necessaria per la disposizione di più fasce vegetali distanziate da terra ed alte al massimo 20 metri ciascuna²³ (Fig.III.27).



Fig.III.27 – Nuova casa naturale, fiera Floriade, 2002. Esempio di giustapposizione in verticale di più fasce inverdite mediante l'espedito tecnico della creazione di fioriere in quota. Nel caso specifico le fioriere orizzontali corrispondono alle fasce marcapiano dell'edificio. (Fonte: Marco Devecchi)

²² All'interno della disciplina dell'agronomia il termine *substrato* indica la superficie su cui vive una pianta. Esso normalmente consiste nella composizione di uno o più materiali organici (ad esempio terreno naturale, torba, ecc.) o inorganici (roccia, argilla espansa, feltro, fibra di vetro o di ceramica, ecc.) adeguatamente miscelati a seconda delle specifiche caratteristiche delle specie vegetali che vi dovranno insistere. Come descritto in seguito (Cfr. III.2.2), qualora la collocazione dei vegetali non avvenga a terra ma si opti per un impianto in vaso, non sarà possibile l'utilizzo di semplice terreno naturale ma si riveleranno necessarie composizioni di substrato opportunamente selezionate e progettate.

²³ L'argomento della messa a dimora in quota dei vegetali sarà descritto con maggiore precisione nel paragrafo III.2.2

III.2.1.5. Densità e spessore del manto fogliare

La densità del manto fogliare consiste nel numero di foglie e nella loro superficie totale per metro quadrato. Tale parametro viene descritto mediante l'indice LAI, acronimo di *Leaf Area Index*. Esso è differente per ogni specie vegetale, ed è molto importante oltre che per le risultanti formali di un rivestimento verde, anche per le funzioni bioclimatiche associabili alla copertura vegetale di una data superficie²⁴: dal LAI dipendono infatti le caratteristiche di ombreggiamento relative ad una specie vegetale posta in rivestimento ad una chiusura edilizia verticale opaca o trasparente.

Anche lo spessore del manto fogliare contraddistingue in maniera diversa ogni specie, ed ha notevoli ripercussioni sia formali che bioclimatiche rispetto alla chiusura su cui insiste: alcune specie possono presentare degli spessori anche molto considerevoli (ad esempio la *Wisteria sinensis* può raggiungere i 150 cm di spessore, l'*Hedera helix* anche i 250 cm), mentre altre si attestano su porzioni molto meno abbondanti, come la *Lonicera brownii* che può arrivare solo a 20 cm. Il parametro dello spessore del manto fogliare è individuato dal fattore FHT.

Ulteriore questione da considerare quando si progetti un rivestimento mediante specie rampicanti, sarà che lo spessore maggiore della pianta è riscontrabile nei punti più vicini alla base d'impianto, mentre tenderà a scemare nelle propaggini vegetali più distanti dal fusto, in quanto esse sono le ultime sviluppatasi in ordine di tempo (Fig.III.28).

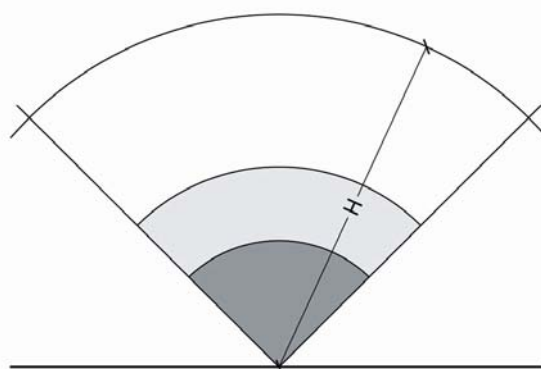


Fig.III.28 – A sinistra. I rampicanti presentano uno spessore vegetale maggiore in prossimità del fusto, mentre tendono a diradarsi nelle propaggini più distanti da esso. Si noti come in prossimità del pilastro in primo piano (che ospita il fusto della pianta) lo spessore del rivestimento sia molto consistente, mentre nei punti più distanti l'FHT diventi più esiguo. Se in prossimità del fusto lo spessore vegetale è stimabile nell'ordine dei 30-40 cm, esso cala fino ai 15-20 cm sul pilastro in secondo piano, per diminuire ulteriormente all'aumentare della distanza dal punto d'impianto. La specie vegetale in questione è una *Parthenocissus tricuspidata* (vite vergine).

Fig.III.29 – A destra. Distribuzione del peso di fogliame e componente legnosa per i rampicanti. La maggiore o minore percentuale di legno è rappresentata dall'intensità del colore grigio: il maggior volume legnoso si trova nelle vicinanze del terreno. In bianco la distribuzione del peso del fogliame, sempre presente in percentuale maggiore rispetto a quella legnosa. "H" rappresenta l'altezza massima raggiungibile da un rampicante.

²⁴ Si rimanda al sesto capitolo per una trattazione esaustiva dell'argomento, e delle ricadute del Verde Verticale sull'efficienza energetica di un manufatto architettonico.

SPECIE VEGETALE	DISTANZA DALLA PARETE (cm)	NUMERO DI FOGLIE	GRANDEZZA MEDIA FOGLIE (cm ²)	GRADO DI COPERTURA	DENSITÀ DI COPERTURA
<i>Phaseolus coccineus</i>	30	108	38.5	1.7	0.042
<i>Lagenaria sinceria</i>	30	28	113.3	1.3	0.024
<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	30	470	5.3	1	0.022
<i>Fallopia auberti</i>	30	68	13.2	0.4	0.03
<i>Lonicera tellmanniana</i>	30	88	40.8	1.5	0.073
<i>Cabota, Ipomonea, Lathyrus</i>	30	372	8.8	1.3	0.061
<i>Clematis montana</i>	30	582	5.2	1.2	0.039

Tab.III.30 – Confronto tra il grado e la densità di copertura di alcune specie. Le misurazioni sono state effettuate su campioni di massa vegetale delle dimensioni di 25x35x35 cm. Il grado di copertura è stato ottenuto con la formula: superficie fogliare/(25x35x35); la densità di copertura mediante: superficie fogliare/[(25x35x35) x spessore del sistema]. (Rielaborazione da: BAUMANN, RUDI, *Begrünte Architektur*, in bibl.)

Anche il *portamento secondario* è un elemento ulteriore che può influire sull’FHT. Alcune specie possono infatti presentare dei portamenti ulteriori rispetto a quello *primario*²⁵. Certe piante possono infatti assumere dei portamenti secondari decombenti – ciò significa che alcune fronde più distanti dalla superficie edilizia possono ricadere su sé stesse – o “a cespuglio”. Questione che incide notevolmente sullo spessore finale della pianta matura che tende, di conseguenza, ad aumentare ulteriormente dal punto di vista dimensionale. Tale accrescimento di spessore potrebbe incidere sulle attività o sui costi gestionali di potatura del rivestimento, qualora per motivi architettonici o formali ci fosse l’esigenza di uno spessore vegetale molto esiguo o il più possibile complanare.

²⁵ In tutti i casi qui citati, il portamento primario è sempre quello rampicante.

Specie	H	Spessore manto	Modo di ancorag.	Portam. /massa fogliare	Ritmo di crescita	Esposiz. alla rad. solare	Fiore		Foglia	
							colore	stag.	colore	stag.
Altezza raggiungibile fino a 5 m										
<i>Clematis alpina</i>	2-3 m	0,20 m	viticci	R / semirada	lento	○●	blu-violetto	V-VI	verde scuro	V-X
<i>Clematis viticella</i>	4 m.	0,30 m	viticci	R / semirada	medio	○	rosso-porpora	VI-IX	verde scuro	V-X
<i>Jasminum nudiflorum</i>	3-5 m	0,50 m	per intreccio	R, D/fitta	medio	○●	giallo	II-III	verde scuro	V-X
<i>Lonicera brownii</i>	3-4 m	0,20 m	volubile	R/folta	lento	○●	arancio-rosso	V-VIII	verde scuro	IV-X
<i>Lonicera caprifolium</i>	3-5 m	0,30 m	volubile	R/folta	medio	○●	bianco-giallo	V_VI	verde scuro	IV-X
<i>Lonicera heckrottii</i>	4-5 m	0,30 m	volubile	R/folta	lento	●	rosso-giallo	VI-IX	verde scuro, bluastro	IV-X
<i>Lonicera japonica</i>	2-5 m	0,20 m	volubile	R/folta	lento	●	bianco	VI-X	verde brillante	IV-X
<i>Lonicera periclymenum</i> (belgica, Aurea)	5 m	0,30 m	volubile	R/folta	medio	●●	bianco – giallo/rosso	V-VI	verde scuro	IV-X
Altezza raggiungibile fino a 10 m										
<i>Actinidia arguta</i>	6-8 m	0,40 m	volubile	R/folta	veloce	○●	bianco	V-VI	verde scuro	IV-XI
<i>Actinidia chinensis</i>	8-10 m	0,60 m	volubile	R/folta	rapido	○●	bianco	V-VI	verde-chiaro	IV-XI
<i>Akebia quinata</i>	8-10 m	0,50 m	volubile	R/folta	veloce	○●	bianco	IV-V	bruno-purpureo	IV-XII
<i>Clematis montana</i> varietà 'rubens' varietà 'superba'	8-10 m	0,70 m	viticci	R/folta	rapido	○●	rosa bianco	IV-VI	verde scuro verde scuro	IV-X
<i>Clematis tangutica</i>	6 m	0,30 m	viticci	R/semirada	medio	○●	giallo-oro	IV-IX	verde-scuro	IV-X
<i>Hedera colchica</i> varietà 'Dentata' var. 'Dentata variegata'	6-8 m	1,50 m.	radici aeree	R, D/fitta	medio	●●			verde chiaro verde chiaro/ crema	sempre verde
<i>Jasminum officinale</i>	6 m	0,50 m	si intreccia	R, D/folta	media	○	bianco	V-VI	verde scuro	V-X
<i>Lonicera henry</i>	8 m	0,30 m	volubile	R/semifolta	veloce	●●	giallo-rosso	V-VIII	verde scuro	sempre verde
<i>Vitis coignetiae</i>	8-10 m	0,60 m	viticci	R/folta	veloce	○●	insignificante	IV-VI	verde brillante, rossastre in autunno	IV-X
ESPOSIZIONE ALLA RADIAZIONE SOLARE: ○ pieno sole ● mezz'ombra ● ombra										

Fig.III.31 – Prima parte: la tabella presenta una sintesi delle caratteristiche fisiche, strutturali e di necessità d'esposizione solare delle specie rampicanti più comuni. (Fonte: BAUMANN, RUDI, *Begrünte Architektur*. Rielaborazione da: BELLOMO, ANTONELLA op. cit., pp.84-85)

Specie	H	Spessore manto	Modo di ancorag.	Portam. /massa fogliare	Ritmo di crescita	Esposiz. alla rad. solare	Fiore		Foglia	
							colore	stag.	colore	stag.
Altezza raggiungibile fino a 15 m										
<i>Campsis radicans</i>	12 m	0,50 m	radici aeree	R/folta	veloce	○	rosso-arancio	VI-IX	verde chiaro	V-X
<i>Clematis vitalba</i>	12-14 m	1,10 m	viticci	R/folta	rapida	○●	bianco crema	VII-IX	verde scuro	IV-X
<i>Hydrangea petiolaris</i>	10-15 m	0,60 m	radici aeree	R/folta	medio	●●	bianco	VI-VII	verde scuro	IV-XI
<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	10-15 m	0,60 m	viticci/vent.	R, D/folta	veloce	○●			verde brillante, rosso vivo in autunno	III-X
<i>Vitis vinifera</i>	10-15 m	0,50 m	viticci	R/folta	veloce	○●	insignificante	IV-VI	verde chiaro	IV-X
<i>Wisteria floribunda</i>	10-15 m	0,80 m	volubile	R/folta	veloce	○●	bluviolento	IV-VI	verde chiaro	V-XI
Altezza raggiungibile fino a 25 m										
<i>Hedera canariensis</i>	20-25 m	1,00 m	radici aeree	R, D/fitta	veloce	●●	insignificante		verde scuro, foglie molto grandi	sempre verde
<i>Hedera helix</i>	20-25 m	2,50 m	radici aeree	R, D/fitta	lenta	●●	insignificante		verde scuro	sempre verde
<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	20-25 m	0,20 m	ventose	R, D/fitta	rapida	○●	insignificante		verde brillante, arancio rosso in autunno	III-X
<i>Wisteria sinensis</i>	25-30 m	1,50 m	volubile	R/fitta	rapida	○●	lilla	IV-VI	verde chiaro	V-XI
ESPOSIZIONE ALLA RADIAZIONE SOLARE:										
○ pieno sole ● mezz'ombra ● ombra										

Fig.III.32 – Seconda parte: continuazione della tabella precedente. (Fonte: BAUMANN, RUDI, *Begrünte Architektur*. Rielaborazione da: BELLOMO, ANTONELLA op. cit., pp.84-85)

III.2.1.6. Specie vegetali per i rivestimenti a verde

A differenza di quel che accade per le chiusure verticali vegetate che normalmente vengono realizzate mediante l'impiego di numerose specie vegetali sia autoctone che alloctone, i rivestimenti a verde hanno la caratteristica di essere eseguiti mediante un *range* di specie molto più ristretto. Seppur l'uso di piante indigene sarebbe sempre raccomandabile, tale fatto difficilmente accade per chiusure verticali vegetate e muri vegetali, la cui realizzazione implica una grandissima varietà di specie – quasi mai rampicanti – anche all'interno della stessa parete. Diversamente, probabilmente in forza di una cultura operativa storicizzata, unitamente ad una diffusione capillare e globale dei rivestimenti vegetali, la tecnologia descritta in questo capitolo presenta maggiore attenzione all'uso di un numero minore di





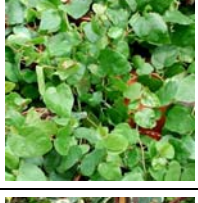

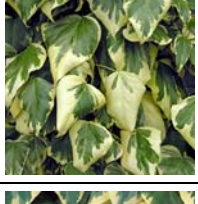

specie, e sempre, o quasi, si è preoccupata di selezionare piante che fossero in equilibrio col contesto climatico d'inserimento²⁶.






Di seguito una tabella (Tab.III.33) riportante le caratteristiche principali di alcune specie vegetali impiegate nella realizzazione di rivestimenti a verde. Seppur nella maggioranza dei casi le piante utilizzate si riducano ad un numero limitato – nella fattispecie quelle appartenenti alle famiglie botaniche di *Vitaceae* (ad esempio *Parthenocissus tricuspidata*, *Parthenocissus quinquefolia*, *Vitis vinifera*), *Araliaceae* (come *Hedera helix*, *Hedera colhica*, *Hedera canariensis*) e *Leguminosae* (*Wisteria sinensis*, *Wisteria floribunda*, ecc.) – la casistica di quelle potenzialmente impiegabili risulta maggiore; inoltre oggi, tutte le aziende che operano con le tecnologie per l'inverdimento parietale tendono a fornire anche una lista di specie raccomandate e con le quali esse solitamente operano. Ma esistendo sempre la possibilità di effettuare rivestimenti a verde in modo semiartigianale, cioè realizzando e mettendo in opera autonomamente – senza appoggiarsi a produttori specializzati – sia l'impianto dei vegetali che le eventuali strutture destinate al loro supporto, la selezione delle piante può non avvenire sempre in modo così immediato. La tabella in questione non avrà la pretesa di fornire un elenco finito e definitivo per la selezione delle specie da abbinare alle strutture del rivestimento, ma dovrà semmai essere considerata come uno strumento di partenza, una guida alla selezione.




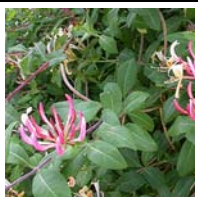




Si è optato per l'indicare in tabella solo le caratteristiche principali delle varie specie. Quindi, oltre al *nome botanico* della pianta, verranno riportati: il *tipo di fogliazione* (sempreverde o decidua), fondamentale ad operare, durante la fase progettuale, precise considerazioni in materia di bioclimatica; la *stagionalità fogliare*, così da poter mettere il progettista nelle condizioni di conoscere in quale periodo dell'anno la pianta sia provvista o meno degli apparati fogliari; la *velocità di crescita*, discriminante fondamentale per prevedere in quanto tempo la parete possa risultare completamente inverdita; la *modalità di ancoraggio del rampicante*, perché in funzione di essa – come spiegato nei paragrafi successivi – andrà progettata la struttura di supporto alla crescita della pianta. Nell'ultima colonna un'immagine avente l'obiettivo di illustrare le caratteristiche morfologiche e fogliari delle specie descritte. Si tenga conto che alcune delle piante riportate in tabella presentano anche una fioritura o fruttificazione stagionale: tale periodo è stato tralasciato, in quanto solitamente molto breve rispetto a quello di fogliazione. Ove possibile, comunque, il seguente contributo fotografico riporta sia la conformazione fogliare che quella di fioritura o fruttifera del vegetale.






²⁶ Come accade, appunto, per tutte le specie indigene, che si trovano sempre in equilibrio con l'ecosistema di appartenenza.

SPECIE VEGETALE	TIPO DI FOGLIAZIONE	STAGIONALITÀ FOGLIARE	VELOCITÀ DI CRESCITA	MODALITÀ DI ANCORAGGIO DEL RAMPICANTE	DESCRIZIONE FOTOGRAFICA
<i>Actinidia arguta</i>	D	apr-nov	V	VL	
<i>Actinidia chinensis</i>	D	apr-nov	R	VL	
<i>Akebia quinata</i>	D	apr-dic	V	VL	
<i>Ampelopsis Brevipedunculata</i>	D	mar-ott	V	VT	
<i>Campsis radicans</i>	D	magg-ott	V	RA	
<i>Clematis alpina</i>	D	magg-ott	L	VT	
<i>Clematis montana rubens</i>	D	apr-ott	R	VT	

<i>Clematis montana superba</i>	D	apr-ott	R	VT	
<i>Clematis tangutica</i>	D	apr-ott	M	VT	
<i>Clematis vitalba</i>	D	apr-ott	R	VT	
<i>Clematis viticella</i>	D	mag-ott	M	VT	
<i>Ficus repens</i>	S	–	R	RA	
<i>Hedera canariensis variegata</i>	S	–	V	RA	
<i>Hedera colchica dentata</i>	S	–	M	RA	
<i>Hedera colchica dentata variegata</i>	S	–	M	RA	

<i>Hedera helix</i>	S	-	L	RA	
<i>Humulus Lupulus</i>	S	-	V	VL	
<i>Hydrangea petiolaris</i>	D	apr-nov	M	RA	
<i>Ipomoea Hederacea</i>	S	-	V	VL	
<i>Jasminum nudiflorum</i>	D	mag-ott	M	I	
<i>Jasminum officinale</i>	D	magg-ott	M	I	
<i>Lonicera brownii</i>	D	apr-ott	L	VL	
<i>Lonicera caprifolium</i>	D	apr-ott	M	VL	

<i>Lonicera heckrottii</i>	D	apr-ott	L	VL	
<i>Lonicera henryi</i>	S	–	V	VL	
<i>Lonicera japonica</i>	D	apr-ott	L	VL	
<i>Lonicera periclymenum</i>	D	apr-ott	M	VL	
<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	D	mar-ott	V	RA	
<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	D	mar-ott	R	RA	
<i>Passiflora</i>	D	magg-ott	V	VT	
<i>Rhyncospermum jasminoides</i>	S	–	V	I	

<i>Tropaeolum</i>	S	–	M	VT	
<i>Vitis coignetiae</i>	D	apr-ott	V	VT	
<i>Vitis vinifera</i>	D	apr-ott	V	VT	
<i>Wisteria floribunda</i>	D	magg-nov	V	VL	
<i>Wisteria sinensis</i>	D	magg-nov	R	VL	

Tab.III.33 – Caratteristiche principali delle specie rampicanti più comuni nella realizzazione di rivestimenti a verde. La tabella vuole rappresentare uno strumento finalizzato alla pre-selezione delle piante: scelta che andrà poi obbligatoriamente verificata in base al contesto d’impianto ed alle esigenze progettuali, mediante l’ausilio di una figura professionale esperta di piante. Legenda: S= sempreverde, D= deciduo; R= rapido, V= veloce, M= medio, L= lento; VT= viticci, I= intreccio, VL= volubile, RA= radici aeree o ventose. Si precisa inoltre che le specie sempreverdi, non perdendo mai le foglie, esulano dalla stagionalità. (Fonte delle immagini: <http://commons.wikimedia.org>)

III.2.2. Messa a dimora a terra, in vaso o in quota

Nella realizzazione di un rivestimento, in funzione delle esigenze di progetto, si renderà necessario operare una decisione riguardante la modalità di messa a dimora dei vegetali. La scelta della tipologia d’impianto è, infatti, la prima che dovrà essere eseguita, tenendo debitamente conto del fatto che verranno richieste, di conseguenza, differenti strategie progettuali o agronomiche. Le opzioni possibili sono sostanzialmente due, declinabili come impianto *in piena terra* o *in vaso*. Inoltre quest’ultima potrà

a sua volta contare sulla duplice opzione di vaso collocato a terra o in quota, anche se solitamente è assai raro che vengano posizionati dei vasi al livello del terreno²⁷.

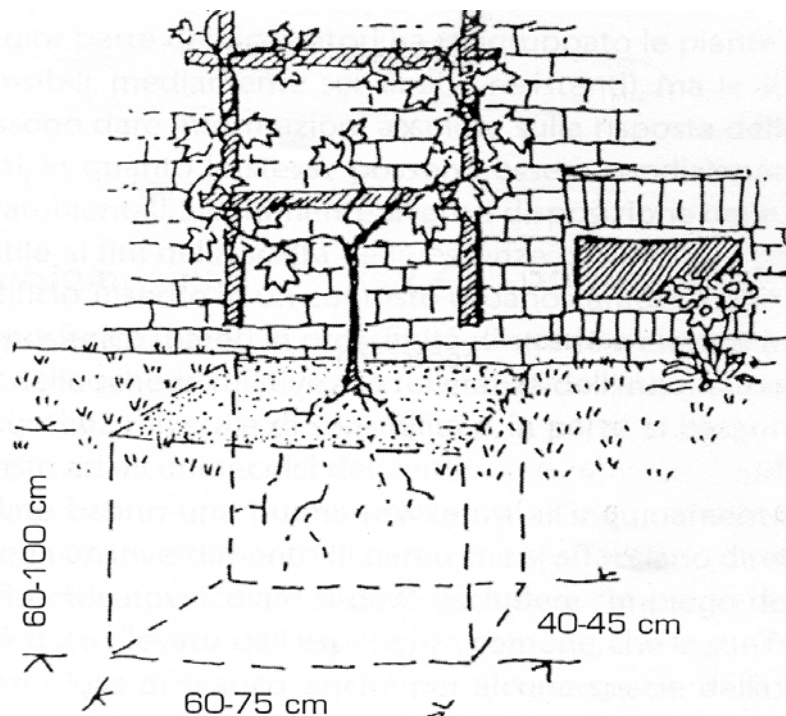


Fig.III.34 – Dimensioni medie del volume di terreno necessario per la messa a dimora *in piena terra* di specie vegetali rampicanti. (Fonte: BELLOMO, ANTONELLA, op. cit., p.64)

Partendo dal presupposto che l'impianto di un rivestimento richiederà sempre un'adeguata dose di terreno a disposizione del vegetale, sarà necessario comprendere come e dove tale terreno debba essere posizionato. Se, in linea di massima, sarebbe sempre consigliabile l'impianto in piena terra dei vegetali²⁸, alcune condizioni di progetto spesso conducono il progettista ad optare per la collocazione in vaso. Tali condizioni di progetto potrebbero consistere, ad esempio, in una eccessiva grandezza della parete da rivestire che obbligherebbe il progettista a giustapporre in verticale più fasce inverdite, nel rispetto dei limiti dimensionali della specie prescelta (Fig.III.31); oppure nella volontà di realizzare un rivestimento mediante l'ausilio di piante a portamento decombente che, vista la particolare conformazione strutturale, possono essere messe a dimora esclusivamente mediante vasi in quota; o ancora, semplicemente, quando si opti per la collocazione in vaso esclusivamente a seguito di una scelta formale-compositiva.

²⁷ Ciò accade, ad esempio, quando alla quota di campagna non esista la disponibilità di accedere al terreno naturale: condizione tipica dei contesti urbani.

²⁸ Quando un vegetale viene collocato a terra potrà verosimilmente contare su un maggior volume di terreno destinato ad accoglierne lo sviluppo radicale, rispetto ad una qualsiasi altra specie sistemata in vaso. Più alto quantitativo di terreno che, proporzionalmente, conterrà maggiori porzioni d'acqua o di sostanze nutritive per la pianta stessa.



Fig.III.35 – A sinistra. Piscina di Merano (BZ): padiglione d’ingresso. Esempio di rivestimento con messa a dimora in piena terra del sistema vegetale.

Fig.III.36 – A destra. Arnold Gapp, edificio polifunzionale a Marleno (BZ): vista del prospetto rivolto a Sud. Esempio di messa a dimora in vaso e in quota di alcuni esemplari di specie vegetali differenti. Il rivestimento a verde è in questo caso impiegato con l’obiettivo della schermatura solare.

Nei confronti dei vegetali, il terreno assolve ad una serie di funzioni fondamentali alle loro attività fisiologiche. Innanzitutto c’è quella di ospitarne le radici: queste si insinuano nel suolo occupandone un volume considerevole e differente a seconda della specie, ed hanno la funzione primaria di radicare saldamente la pianta al suolo. Inoltre, il terreno offre ai vegetali le sostanze idriche e nutritive di cui essi abbisognano: nutrienti che vengono trasportati dal substrato agli apparati vegetali proprio grazie alle funzioni esercitate delle radici. Nella terra, infatti, sono presenti sali e nutrienti organici che gli organismi vegetali sfruttano per la propria crescita; l’acqua di falda che risale capillarmente dal sottosuolo, o quella meteorologica imprigionata all’interno dei substrati, formano un serbatoio di accumulo idrico funzionale agli organi della pianta, soprattutto durante i periodi più caldi dell’anno in cui essa, alla stregua di qualsiasi altro organismo fisiologico, necessita di un maggiore apporto idrico per svolgere le normali funzioni vitali.

Per tali motivi sarà importante garantire un adeguato volume di terreno (Fig.III.34) alla base d’impianto dei vegetali. Quantitativo che comunque non potrà essere sempre ricavato all’interno del terreno naturale: potrebbe accadere che delle particolari condizioni di contesto (ad esempio in ambiente urbano dove la presenza di terreno naturale è pressoché nulla) o progettuali (come la volontà dell’architetto di inserire le piante in corrispondenza degli interpiano di un edificio) richiedano la collocazione dei vegetali in appositi vasi o fioriere (Fig.III.36). Sistemazione in vaso che richiederà delle attenzioni maggiori relative a: dimensionamento corretto della sua capienza; composizione stratigrafica e bilanciamento dei substrati ivi contenuti; apporto idrico e dei nutrienti necessari alla vita e allo sviluppo vegetativo.

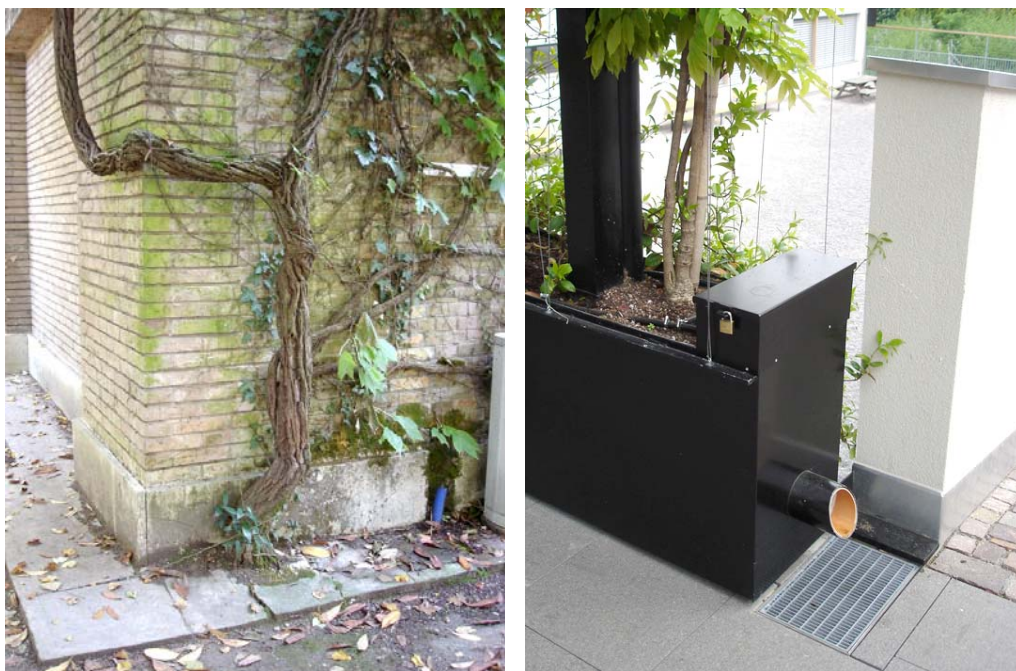


Fig.III.37 – A sinistra. Joaquin Vaquero Palacios, Padiglione spagnolo presso i Giardini della Biennale di Venezia, 1952. Esempio di messa a dimora in piena terra del sistema vegetale. Si noti la dimensione del tronco: la pianta di *Parthenocissus tricuspidata* (vite vergine) ha un'età stimabile intorno ai 50 anni, ed il fusto alla propria base misura circa 25-30 cm.

Fig.III.38 – A destra. Arnold Gapp, Edificio polifunzionale a Marleno (BZ): dettaglio della fioriera per la messa a dimora in quota dei vegetali. Dall'immagine sono visibili la superficie superiore del substrato di coltivo, le *ali gocciolanti* dell'impianto d'irrigazione e il sistema di drenaggio della fioriera, avente la funzione di evacuare il liquido eventualmente in eccesso direttamente nel sistema di smaltimento acque meteoriche e poi verso l'impianto fognario. La porzione più alta della fioriera, al centro della foto, ospita un pozzetto d'ispezione.

L'impianto in vaso è sempre più critico di quello in piena terra in quanto, se nel caso di collocazione a terra gli apparati radicali potrebbero raggiungere uno sviluppo pressoché infinito, unitamente al fatto di poter contare su una riserva idrica²⁹ potenziale maggiore, nel caso della sistemazione in vaso eventuali errori di progettazione agronomica potrebbero tradursi in scompensi alla pianta più o meno gravi, finanche addirittura alla sua morte. Sarà perciò necessario prestare adeguata attenzione al dimensionamento del volume di substrato all'interno dei vasi, in quanto un volume troppo esiguo limiterebbe la crescita nel tempo del vegetale.

Inoltre, essendo di fatto la collocazione in vaso una configurazione d'impianto che è possibile definire come "artificiale", saranno altrettanto importanti la corretta composizione e il bilanciamento degli elementi che andranno a realizzare i vari substrati all'interno dei vasi: essa dovrà, prima di tutto, risultare non eccessivamente pesante al fine di non gravare sulle strutture principali dell'edificio; inoltre, tali substrati dovranno presentare un adeguato rapporto tra le proprietà drenanti e quelle di ritenzione idrica. Gli organi radicali necessitano di ossigeno per il proprio sviluppo, perciò l'acqua stagnante potrebbe creare il decesso delle radici per asfissia; per contro, sarà sempre importante assicurare un'adeguata presenza idrica all'interno delle fioriere, come riserva per la pianta.

²⁹ Il terreno, mediante la propria capacità di ritenzione idrica derivante dalle intrinseche caratteristiche di composizione, costituisce una riserva d'acqua per le piante.

Tale duplice valenza viene solitamente garantita da una pertinente composizione stratigrafica del substrato all'interno dei contenitori, mirante ad un corretto bilanciamento tra gli elementi drenanti e quelli di ritenzione dell'acqua, nonché nella corretta realizzazione tecnica della fioriera. All'interno di un vaso per la messa a dimora di rampicanti saranno quindi presenti varie stratificazioni materiche, anche molto diverse da caso a caso, ma tutte fondamentali alla vita della pianta³⁰: strati che potranno essere realizzati con componenti anche molto diversi tra loro, purché garantiscano adeguate prestazioni in favore dell'attività vegetativa³¹. Partendo quindi dalla sommità del vaso (dove il sistema vegetale si insinua nel terreno) e procedendo verso il basso, si incontreranno alcune stratificazioni di diverso spessore.

Il *substrato di vegetazione* fornisce alloggio alle radici della pianta, garantendo al contempo una serie di funzioni complementari, come peso ridotto ed elevata capacità drenante anche in condizioni di massima saturazione d'acqua, capacità di ritenzione idrica ed un adeguato rapporto aria/acqua al proprio interno³², resistenza al gelo, stabilità di struttura fisica e chimica. I materiali utilizzati per comporre il substrato sono solitamente degli elementi a matrice terrosa (terriccio, torba, humus, ecc, in funzione della specie prescelta e delle necessità che essa presenti).

Il compito dello *strato filtrante* è quello di impedire la discesa delle particelle fini del substrato nello strato sottostante, ossia quello *drenante*: fattore che ne limiterebbe parzialmente o totalmente le funzionalità. Esso dovrà inoltre poter accogliere l'ancoraggio degli apparati radicali. Solitamente per la realizzazione dello strato filtrante si impiegano dei materiali geotessili³³ appositamente studiati e presentanti adeguate caratteristiche di resistenza a trazione, taglio e punzonamento. Proprietà che andranno a sommarsi ad opportune doti di permeabilità all'acqua.

Le funzioni dello *strato drenante* hanno a che fare sia con la gestione della presenza idrica che nei confronti degli apparati radicali. Tale tipo di stratificazione dovrà provvedere al drenaggio dell'acqua in transito nel substrato d'impianto, in quanto un ristagno della stessa potrebbe provocare l'asfissia delle radici: perciò anche l'aerazione degli apparati radicali dipenderà da esso. Ulteriore funzione esercitata sarà quella di accumulo idrico, dovendo lo strato drenante, nella propria parte bassa, accumulare dell'acqua di riserva da fornire agli apparati radicali nei momenti di maggiore stress idrico (dovuto ad esempio a scarsità di precipitazioni meteoriche o conseguente ad eventuali guasti nell'impianto d'irrigazione). Nei casi di vasi e fioriere lo strato drenante viene solitamente realizzato in materiali sfusi che abbiano elevate capacità di ritenzione idrica e drenaggio (come lapilli vulcanici, pomice, argilla espansa, ecc)³⁴.

³⁰ La tecnologia della composizione del substrato presente nei vasi è simile a quella impiegata nella realizzazione di substrati per coperture a verde, essendo simili, in entrambi i casi, sia le esigenze agronomiche che di progetto.

³¹ Le nozioni qui riportate, vista l'interdisciplinarietà dell'argomento in questione e la specificità rappresentata dalla realizzazione dei substrati, andranno interpretate esclusivamente come delle argomentazioni introduttive ed indicative, essendo comunque consci che la pratica della composizione dei substrati per impianti in vaso di grandi dimensioni è materia specialistica ed eseguita da opportune figure professionali.

³² Si ricorda che gli apparati radicali necessitano allo stesso tempo della presenza sia di acqua che di ossigeno.

³³ I *geotessili* fanno parte della più vasta famiglia dei *geosintetici*, e consistono in materiali – commercializzati sottoforma di fogli, tessuti o simili – realizzati con fibre sintetiche. Essi vengono solitamente utilizzati a contatto col terreno, dove svolgono compiti come separazione tra strati diversi, filtrazione, protezione meccanica e/o di rinforzo. Le loro specifiche caratteristiche derivano dal polimero usato per realizzarne le fibre e dal tipo di lavorazione: i polimeri solitamente impiegati sono poliestere e polipropilene (che risultano essere i materiali di gran lunga più utilizzati), poliammide e polietilene. I geotessili si distinguono in due grandi categorie dipendenti dalle loro modalità di realizzazione, e possono essere *tessuti* o *non tessuti* – questi ultimi comunemente ed impropriamente chiamati anche "tessuti non tessuti". (Fonte: <http://www.ntanet.it>)

³⁴ ABRAM, PAOLO, *Giardini pensili – Coperture a verde e gestione delle acque meteoriche*, in bibl., p.116-122

Eventuali stratificazioni integrative (ad esempio materassini di ulteriore accumulo idrico, guaine, strati antiradice, ecc.) potrebbero essere impiegate all'occorrenza, qualora le caratteristiche fisiche del vaso non riuscissero ad assicurare le proprietà necessarie allo sviluppo biologico vegetale. Tutte le stratigrafie solitamente presenti in vaso e qui citate, si risolvono in soluzioni e combinazioni compositive che riescano ad armonizzare il non eccessivo peso dei vasi a delle buone doti di ritenzione/drenaggio idrico (Fig.III.39 e Fig.III.40).

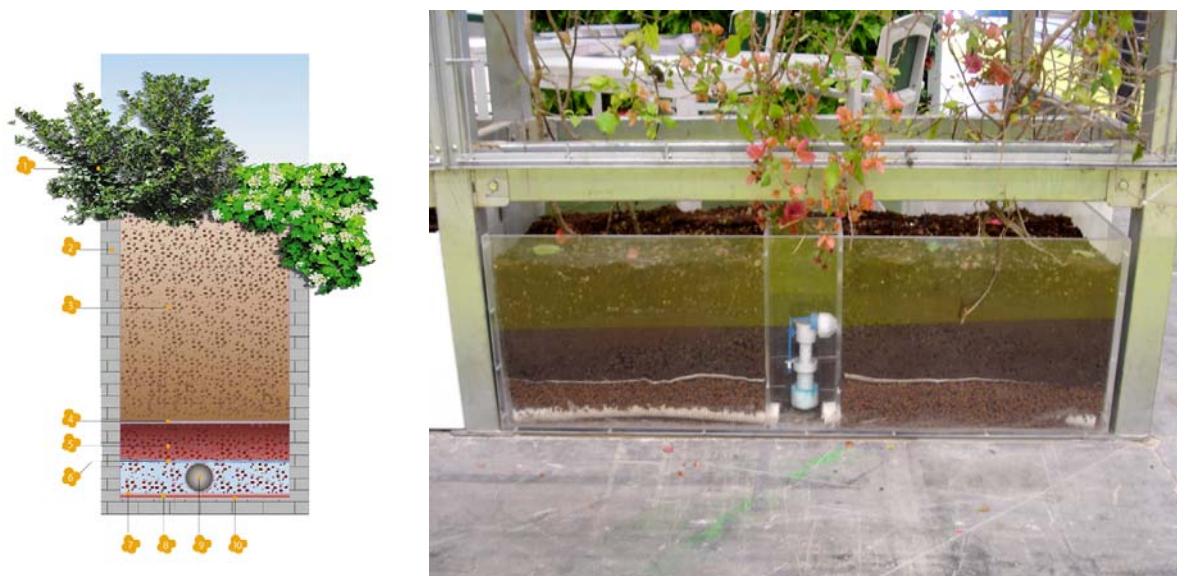


Fig.III.39 – A sinistra. Schema di composizione del substrato per fioriere destinate ad ospitare piante rampicanti. Partendo dalla componente vegetale (cioè la pianta) alla sommità dell'immagine e procedendo verso il basso si incontrano, nel caso specifico, diversi strati, quali: substrato di vegetazione, strato filtrante, strato drenante, materassino di separazione in TNT, guaina antiradice ed un ulteriore materassino in TNT. (Fonte: *Optima Giardini Pensili*). Si tenga conto che comunque, quella qui rappresentata è solo una tra le molteplici opzioni compositive possibili: ogni produttore ed ogni agronomo, tendenzialmente, possiedono proprie strategie e prassi d'azione.

Fig.III.40 – A destra. Fioriera dimostrativa dalle pareti trasparenti. Si può notare la variegata composizione stratigrafica nella realizzazione del substrato d'impianto. In grigio e blu, al centro della foto, il sistema d'irrigazione automatizzato per la fornitura idrica alla vegetazione.

La composizione dei substrati andrà sempre realizzata in funzione delle specie vegetali ad essi abbinate, in quanto ogni specie presenta particolari esigenze pedologiche³⁵: in altre parole, il terreno che una specie vegetale trova confortevole potrebbe rivelarsi deleterio per un'altra; come del resto non tutte le specie vegetali tollerano la collocazione in vaso (Tab.III.41). Alcune specie necessitano di sostanziosi quantitativi di terreno per potersi sviluppare in modo ottimale: condizione che, ovviamente, non può essere garantita dai modici volumi di substrato collocabili nei vasi.

³⁵ La pedologia è la «scienza del suolo e, più precisamente, del terreno agrario [...], che indaga la formazione, la struttura fisica, la composizione chimica, il contenuto in sostanze umiche, le proprietà fisico-chimiche dei diversi terreni, nonché le azioni biologiche che vi si svolgono, allo scopo di approfondire le conoscenze relative alla distribuzione delle piante in generale e alla possibilità di coltivazione delle piante agrarie.» (Fonte: Enciclopedia Treccani)

GENERE	COLTURA IN PIENA TERRA	COLTURA IN VASO
<i>Actinidia</i>	SI	NO
<i>Akebia</i>	SI	NO
<i>Campsis</i>	SI	SI
<i>Clematis</i>	SI	SI
<i>Hedera</i>	SI	SI
<i>Hydrangea</i>	SI	NO
<i>Jasminum</i>	SI	SI
<i>Lonicera</i>	SI	SI
<i>Parthenocissus</i>	SI	SI
<i>Vitis</i>	SI	SI
<i>Wisteria</i>	SI	NO

Tab.III.41 – Tipologia di messa a dimora da adottare in funzione della specie vegetale. Dalla tabella si evince come alcune specie vegetali non tollerino la sistemazione in vaso, in quanto necessitano di cospicui volumi di terreno per poter giungere ad un congruo sviluppo. (Rielaborazione da: BAUMANN, RUDI, *Begrünte Architektur*, in bibl.)



Fig.III.42 – Expò di Shanghai 2010, *Info Point*. La verticalizzazione vegetale verrà in questo caso ottenuta mediante una serie di vasi in quota e degradanti in altezza, dove trovano dimora delle specie vegetali a portamento decombente. (Fonte: Giovanni Zannoni)

A conclusione del presente paragrafo è opportuno ricordare che, a livello generale, le piante in vaso presentano costi iniziali sensibilmente minori ma spese gestionali più alte, mentre gli impianti in piena terra, pur avendo dei costi iniziali più elevati, possono vantare minori spese gestionali. Nella realizzazione di un rivestimento non si potrà esimersi dall'interfacciare la progettazione architettonica con quella agronomica, fin dalle primissime fasi di sviluppo del progetto.

III.2.3. Il supporto strutturale allo sviluppo della vegetazione

Una volta selezionata la specie per l'inverdimento di una facciata edilizia, si rende necessario comprendere le modalità per la messa in opera dell'apparato vegetale. Se, come visto, la componente verde rappresenta quella più importante e "delicata" di un rivestimento, particolare attenzione sarà da dedicare alla scelta di un sistema idoneo al suo supporto.

Come visto, alcune specie vegetali (ad esempio *Parthenocissus tricuspidata*, *Hydrangea petiolaris*) hanno la capacità di aggrappare e crescere in verticale in funzione delle proprie caratteristiche fisiche, grazie a delle radici aeree o a ventosa, mentre tutte le altre tipologie di rampicanti necessitano di un sottosistema destinato a guidare e supportare lo sviluppo delle loro propaggini fogliari. Inoltre, seppur le specie autosostenenti non necessiterebbero di alcuna struttura di mediazione tra esse e la superficie edilizia destinatavi, è comunque sempre consigliabile prevedere un sistema di supporto, in quanto le radici aeree o le ventose degli apparati radicali possono, col trascorrere del tempo, creare danni alle murature: l'interazione fisica o chimica degli organi radicali con le facciate edilizie può infatti portare, in alcuni casi particolari ed in funzione delle caratteristiche vegetali o murarie, al deperimento fisico o funzionale delle chiusure. Gli organi radicali aerei dei rampicanti hanno la tendenza ad insinuarsi nelle fessure o nelle porosità delle pareti che le ospitano, nella ricerca di nutrienti: tale interazione con la superficie muraria può portare a disgregazioni o criticità fessurative, soprattutto nelle chiusure porose o che presentino bassa resistenza meccanica. Esistono perciò delle pareti edilizie poco adatte ad un'interazione diretta coi vegetali autosostenenti. Esse sono³⁶:

- superfici idrofobe (ad esempio rivestimenti minerali o pietre calcaree): la porosità del materiale le rende inadatte all'interazione diretta con gli organi aerei dei rampicanti;
- finiture a intonaco con bassa resistenza meccanica: tali intonaci sono vulnerabili alle radici aeree, che tendono ad insinuarvisi provocando rotture;
- murature con mattoni a vista. Il problema sono i giunti di malta, ove la penetrazione della pianta può determinarne la disgregazione. Il medesimo problema è rilevabile in alcuni casi di prefabbricazione pesante: anche in tal caso i giunti si rivelano punti critici;
- superfici edilizie ottenute da materiali organici (ad esempio legno) e/o richiedenti manutenzioni frequenti: le propaggini vegetali ne limitano le possibilità manutentive; inoltre la presenza della pianta può aumentare l'umidità di facciata, a discapito dell'integrità meccanica della chiusura.

³⁶ Alcune delle nozioni appartenenti al seguente elenco puntato sono desunte da: BELLOMO, ANTONELLA, op. cit., pp.94-96

Tali criticità d'azione interattiva tra specie vegetale e parete edilizia rende in tutti i casi consigliabile l'adozione di una struttura di mediazione fra la componente vegetale e la superficie da inverdire. In altre parole vi è la necessità di un sistema di supporto alla crescita fogliare, adeguatamente progettato e dimensionato in funzione delle caratteristiche del vegetale prescelto: ogni specie, in funzione delle intrinseche modalità di ancoraggio e crescita, richiederà un supporto differente per conformazione geometrica e passo strutturale (Fig.III.43 e Fig.III.44).

Modalità di ancoraggio	Passo delle maglie	Dimensioni e forma dei correnti	Configurazione dei sostegni e
Piante dotate di viticci. Fogliame rado/viticci corti	10x10 – 35x35	Sezione di qualsiasi forma fino a 25 mm	Strutture a forma di graticcio, asticelle, o costruzioni con funi in tensione.
Fogliame fitto/viticci lunghi	25x25 – 60x60	Fino a 50 mm	
Piante volubili Fogliame rado/crescita contenuta	20x30 – 40x60	A sezione circolare Ø fino a 30 mm	Montanti lineari verticali, con "sicure" per consentire un ancoraggio stabile delle piante.
Fogliame fitto/crescita vigorosa	30x40 – 50x120	Ø fino a 50 mm	In questo caso va previsto un montante verticale o un cavo tesato, per ogni individuo piantumato.
Piante che si intrecciano	Elementi orizzontali posti a una distanza non superiore ai 30 cm	Di qualsiasi forma e dimensione	Asticelle o strutture tesate, per quelle piante che tendono a crescere orizzontalmente.

Fig.III.43 – Configurazione delle strutture di sostegno in funzione delle modalità di ancoraggio al supporto delle varie tipologie di pianta. (Fonte: BELLOMO, ANTONELLA, op. cit., p.87)

Supporti che potranno essere semplici (ad esempio strutture retate o di cavi tesati fissati alle chiusure mediante tasselli, grigliati rigidi metallici o lignei, ecc. – Fig.III.45), relativamente complessi (come doppie pelli retate ed appositamente progettate, mensole aggettanti che contengono vasi o fioriere, ecc. – Fig.III.46) o molto complicati (vere e proprie strutture spaziali progettate *ad hoc* e dimensionate di conseguenza, spesso richiedenti un grande sforzo progettuale ed una stretta collaborazione tra progettazione architettonica, tecnologica e strutturale – Fig.III.47), in funzione delle necessità progettuali e d'impianto caratterizzanti ogni singolo manufatto. Specificità la cui risposta necessiterà, di volta in volta, di un progetto differente, ma comunque generalizzabili mediante alcuni tratti comuni conseguenti all'impiego delle piante selezionate e alle loro modalità di crescita.

Specie	Modo di arramp.	Presenza del sostegno	Configurazione in funzione della direzionalità	Profili dei correnti (dimensioni massime)		Distanze tra i correnti		Dimensionamento estensione (m)		
				Circolari	A spigolo	Larghezza	Altezza	Altezza	Altezza	Ampiezza
				diam. (cm)	vivo (cm)	(cm)	(cm)	media	massima	
<i>Actinidia arguta</i>	volubile	necessaria	III \ \ / / + + +	3,5	—	20-45	50-100	5	8	3
– <i>chinensis</i>	volubile	necessaria	III \ \ / / + + +	4	—	20-45	50-150	7 9	3,5	8
<i>Akebia quinata</i>	volubile	necessaria	III \ \ / / + + +	4	—	20-45	30-100	7	11	2
<i>Campsis radicans</i>	radici aeree	consigliata	== = xxx + + +	—	—	30-60	30-60	8	13	4
<i>Clematis alpina</i>	viticci	necessaria	xxx + + +	—	4	10-30	10-30	2	3,5	1,5
– <i>montana</i>	"	"	"	—	5	15-30	15-40	7	10	2
– <i>tangutica</i>	"	"	"	—	3	15-40	15-40	5	7	3
– <i>vitalba</i>	"	"	"	—	4	15-40	15-40	8	16	3,5
– <i>viticella</i>	"	"	"	—	4	10-30	10-30	3	4,5	1,5
<i>Hedera helix</i>	radici aeree	raramente nec.	== = xxx + + +	—	—	—	—	—	—	—
<i>Hydrangea petiolaris</i>	radici aeree	consigliata	== = xxx + + +	—	—	30-60	30-60	8	14	5
<i>Jasminum nudiflorum</i>	si intreccia	necessaria	== = xxx + + +	—	—	25-60	25-50	2	5	4
<i>Lonicera brownii</i>	volubile	necessaria	III \ \ / / + + + xxx	2	—	20-40	40-80	2	4	1,5
– <i>caprifolium</i>	"	"	"	2	—	20-40	40-80	4	5	1,5
– <i>henryi</i>	"	"	"	2,5	—	15-40	60-120	6	8	3
– <i>japonica</i>	"	"	"	2	—	20-40	40-80	3	5	2
– <i>perclymenum</i>	"	"	"	2	—	20-40	40-60	4	5	1,5 5
<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	viticci	spesso necess.	(++ + xxx)	—	5	15-30	15-40 8	15	3,5	15
– <i>tricuspidata</i>	ventose	nessuna	(++ + xxx)	—	—	—	—	—	—?	
<i>Vitis coignetiae</i>	viticci	necessaria	(++ + xxx)	—	8	20-40	20-40	8 10 3 10		
– <i>vinifera</i>	viticci	necessaria	(++ + xxx)	—	6	30-50	30-50	10	15	3,5
<i>Wisteria floribunda</i>	volubile	necessaria	III \ \ / / + + +	7,5	—	35-80	60-200 10	15	3	> 15
– <i>sinensis</i>	"	"	III \ \ / / + + +	8	—	35-80	60-200	15	28	3

Configurazione in funzione della direzionalità di crescita:

III	verticale, eventualmente con pioli
\ \ / /	ripida verso l'alto, senza inroci acuti, eventualmente con pioli
+ + +	a rettangoli incrociati
xxx	a diagonali incrociate
= = =	orizzontale

Fig.III.44 – Morfologia delle strutture per il supporto dei vegetali in funzione delle caratteristiche di crescita e sviluppo delle diverse specie. (Fonte: BAUMANN, RUDI, *Begrünte Architektur*, in bibl. Rielaborazione da: BELLOMO, ANTONELLA, op. cit., p.101)



Fig.III.45 – A sinistra: dettaglio di un sistema metallico rigido a maglie ortogonali per la realizzazione di rivestimenti vegetali. (Fonte: catalogo *Brandmeier Begrünungssysteme GmbH*)
 Fig.III.46 – A destra: CBA Progetti, Ristrutturazione di *Caruzzo & Associati*, Treviso, 2006. Le chiusure verticali dell'edificio sono avviluppate da una pelle vegetale distaccata dal manufatto originale e presentante proprie fondazioni e strutture in elevazione. Esempio di come il rivestimento possa disgiungersi dalla parete ad esso deputata, per divenire elemento autonomo.

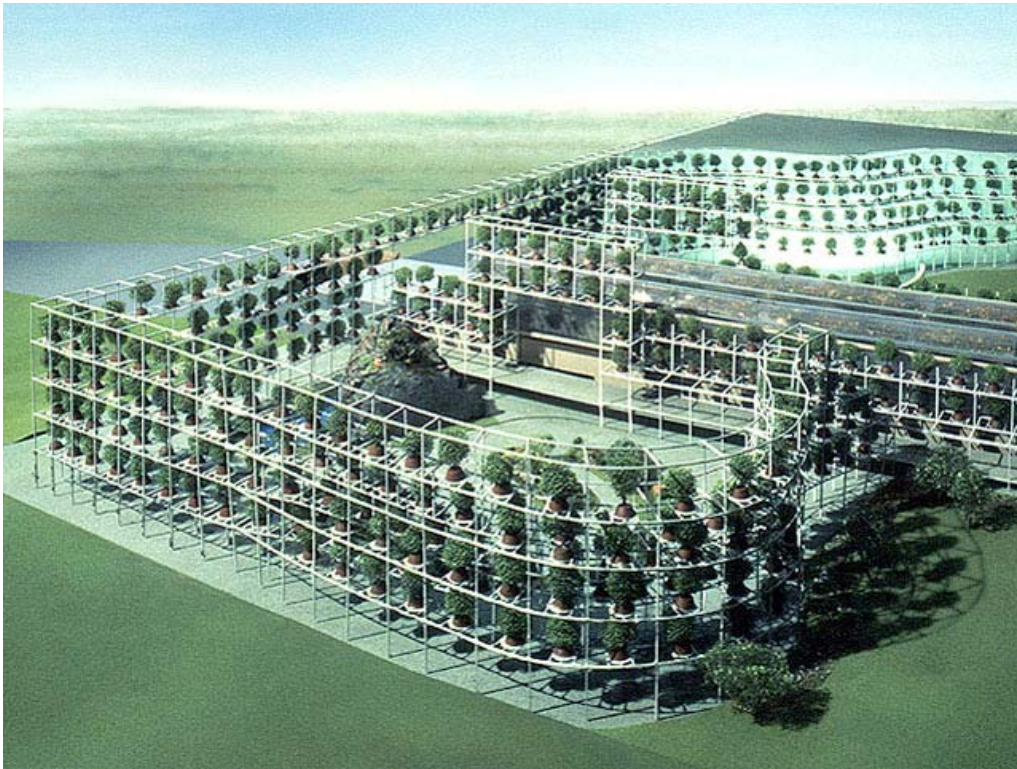


Fig.III.47 – Emilio Ambasz, Progetto per il nuovo centro urbano di Nishiyachiyo (Giappone): vista del plastico. Edifici e spazi aperti sono contornati da strutture in elevazione metalliche e multipiano: queste contengono, all'interno dei reticoli che si vengono a formare, delle specie arboree collocate in vasi. (Fonte: <http://www.emilioambaszandassociates.com>)

Come visto, le specie vegetali impiegabili nei rivestimenti presentano difforni modalità di crescita in funzione delle intrinseche caratteristiche fisiche e fisiologiche: diverse specificità di sviluppo che richiederanno altrettante attenzioni nella realizzazione del supporto. Le piante volubili, presentando un'espansione prettamente verticale, necessitano di strutture lineari dalla spiccata verticalità: cosa che andrebbe quindi a discapito della dimensione orizzontale d'inverdimento e di una possibile uniformità del rivestimento.

L'interazione tra specie volubili e la chiusura edilizia ad esse destinata viene quasi sempre risolta mediante l'ausilio di cavi metallici tesi posizionati in verticale (Fig.III.48). All'occorrenza, specie volubili potrebbero comunque essere deviate anche verso direttrici orizzontali, mediante l'ausilio di sottosistemi come legacci o altro, durante le fasi iniziali di crescita della pianta. Generalizzando, è possibile affermare che per le piante volubili a sviluppo moderato³⁷ la distanza ottimale fra i supporti verticali è di 20-40 cm, mentre per quelle a crescita vigorosa i supporti potrebbero anche essere distanziati fino ad un massimo di 80 cm. Il tutto senza tralasciare il fatto che ovviamente, come conseguenza, entrerebbero in gioco anche altri aspetti, non ultimo quello economico: l'eventualità d'impiegare maggiori o minori quantitativi di materiali si ripercuote sul costo finale dell'opera.

³⁷ Per sviluppo moderato si intende quello di piante che, giunte ad uno stadio di accrescimento maturo, non presentino rami o propaggini fogliari particolarmente vigorose o di grandi dimensioni.



Fig.III.48 – A sinistra. Sistema di supporto in cavi tesati di acciaio inox senza montanti orizzontali. La conformazione verticale lo rende particolarmente idoneo per piante a sviluppo volubile. Alle estremità dei cavi sono visibili diversi elementi di ancoraggio e tendicavo, fissati a muro mediante tasselli chimici: essi hanno anche la funzione di distanziare adeguatamente le propaggini fogliari dalla superficie edilizia retrostante. (Fonte: catalogo *Jakob Inox Line*)

Fig.III.49 – A destra. Dettaglio di *mozzo cilindrico* in acciaio inox, per il raccordo tra elementi orizzontali e verticali in strutture a graticcio composte da cavi tesati di acciaio. Tali elementi cilindrici, appositamente studiati, sono fissati a muro mediante tasselli. (Fonte: catalogo *S3i*)

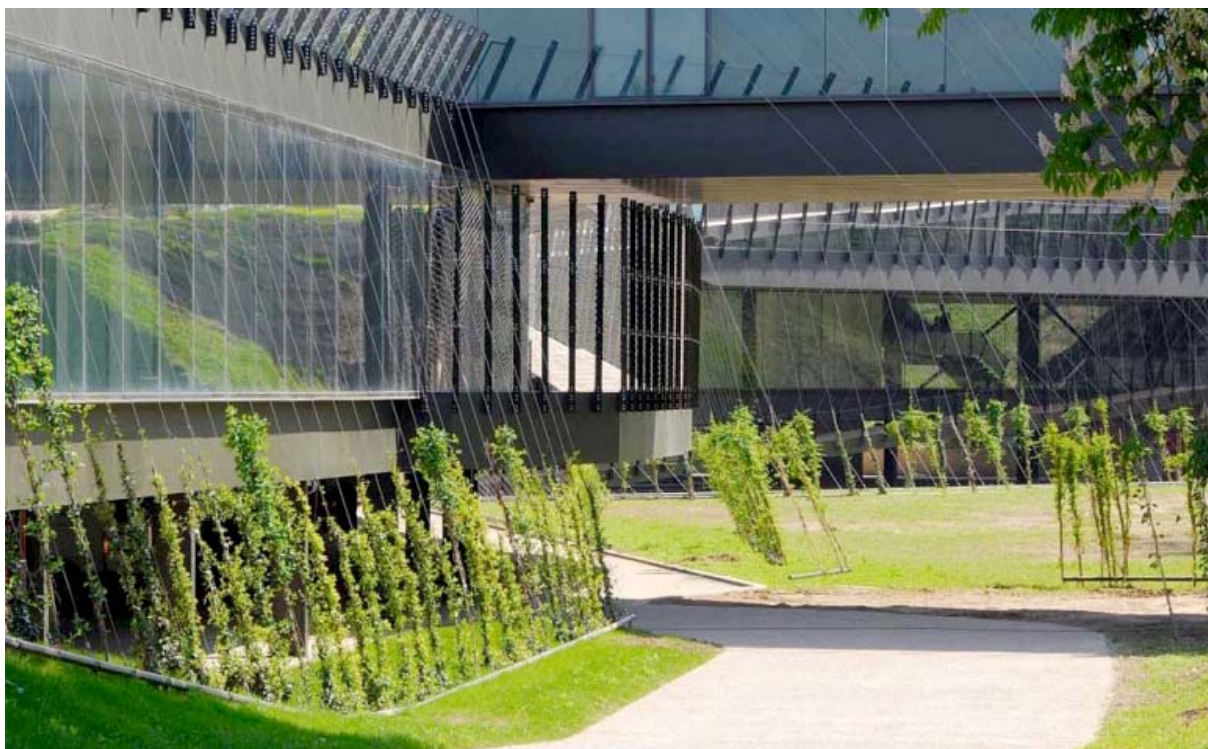


Fig.III.50 – Foreign Office Architects, *Centro di formazione per l'innovazione tecnologica*, La Rioja (Spagna) 2009. Il rivestimento, ospitante specie a sviluppo volubile (in questa foto raffigurate subito dopo l'impianto), è realizzato mediante cavi tesati verticali di acciaio: esso, una volta che la vegetazione sarà adeguatamente sviluppata, avrà l'aspetto di elementi verticali inverditi e giustapposti. (Fonte: http://www.cyberarchi.com/images/articles/13710_11_z.jpg)

I vegetali che per autosostenersi impiegano viticci, o le piante ad intreccio, richiedono dei supporti che combinino le direttrici verticali ad una dimensione orizzontale. Sostegni che possono essere ottenuti sia attraverso la combinazione di cavi tesati (Fig.III.49) che mediante strutture retate o grigliate (ad esempio la combinazione tra sostegni lineari rigidi orizzontali e verticali dei materiali più differenti, strutture retate a matrice metallica o polimerica, reti elettrosaldate da cantiere, ecc. – Fig.III.51 e Fig.III.52). La dimensione della maglia retata può essere indicativamente compresa tra i 10 e i 60 cm, sempre in funzione del minore o maggiore vigore di crescita delle specie utilizzate.

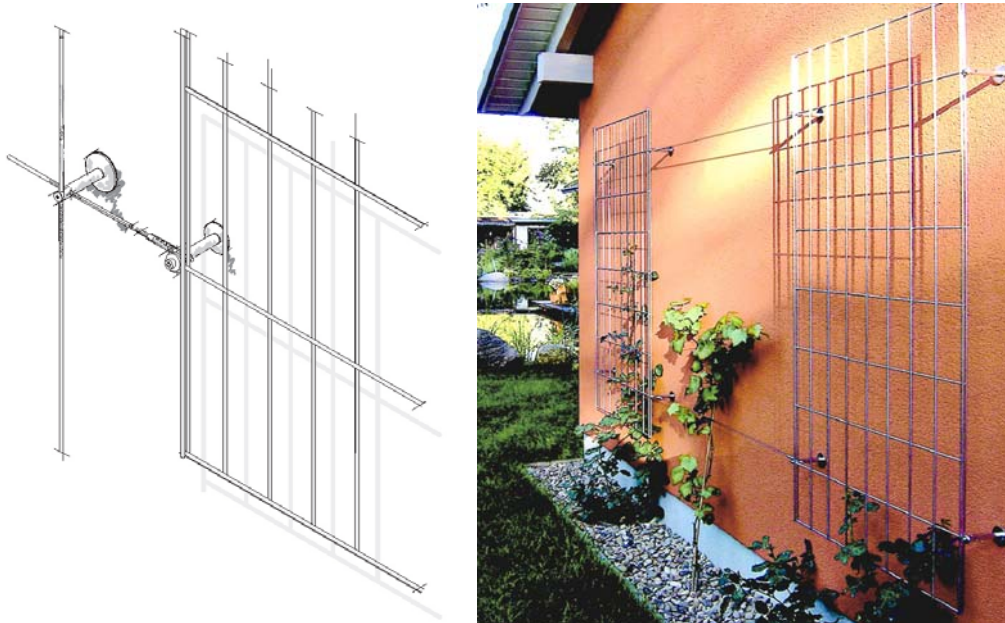


Fig.III.51 – A sinistra. Schema di sistema rigido a maglie ortogonali per la realizzazione di rivestimenti a verde. Esso si compone di una griglia realizzata mediante tondini in acciaio inox e di alcuni supporti puntiformi destinati a fissare la griglia metallica alle chiusure edilizie. Le dimensioni della maglia ortogonale e la distanza dalla parete sono in funzione della specie vegetale. (Fonte: catalogo *Brandmeier Begrünungssysteme GmbH*)

Fig.III.52 – A destra. Esempio d'impiego di un sistema rigido a maglie ortogonali in acciaio inox. Nel caso specifico, le dimensioni laterali dell'elemento a griglia sono fisse: la giustapposizione laterale o verticale di più elementi modulari può permettere l'inverdimento di superfici molto grandi. Anche qui la struttura metallica è fissata alla chiusura edilizia mediante tasselli. (Fonte: catalogo *Brandmeier Begrünungssysteme GmbH*)

Un discorso a parte richiedono le piante dotate di organi aerei. Seppur non necessario, anche nel caso del loro impiego sarà sempre consigliabile l'adozione di una struttura tra la superficie edilizia e la pianta, a causa dei danni che le propaggini fogliari potrebbero apportare alle superfici edilizie. Le radici aeree e quelle a ventosa presentano un interesse molto fitto tra un organo radicale e quello successivo, e solitamente tendono a proliferare con facilità su superfici continue come murature o tronchi d'albero (Fig.III.4). Perciò, nella creazione di un supporto strutturale destinato alla crescita di questi particolari tipi di piante, bisognerà mirare a riprodurre la massima continuità superficiale possibile. Motivo per cui, nella selezione del supporto destinato a tali specie vegetali, si tende ad optare per elementi retati a maglia fitta, morbidi o rigidi, dalle dimensioni indicative di maglia che si stanzino sui 2-10 cm (Fig.III.53).

Questione ulteriore è quella del peso proprio (Pp) della pianta: esso aumenta proporzionalmente alla crescita di tronco principale, rami ed apparati fogliari e può giungere, in alcuni casi estremi, fino ai 50 Kg/m². In considerazione di ciò si renderà necessario dimensionare attentamente gli elementi strutturali³⁸ e, nel caso delle strutture tesate, provvedere alla registrazione di supporti ed elementi di raccordo, preoccupandosi di rimettere in tensione, mediante avvvitamento, tutti gli apparati strutturali una volta che la dimensione della pianta aumenti. È quindi opportuno prevedere alla base del rivestimento – in quanto luogo maggiormente accessibile dell'intera struttura – degli elementi tendicavo, al fine di poter eseguire con la massima agevolezza l'operazione di rimessa in tensione: elementi tendicavo di cui, peraltro, tutte le aziende che producono rivestimenti vegetali in sistemi tesati provvedono puntualmente a dotare i propri sistemi.

Si ritiene inoltre opportuno, in chiusura di paragrafo, fare presente che fra tutti quelli finora descritti i sistemi metallici retati o a cavi tesati sono quelli maggiormente diffusi a livello globale, sia per la loro praticità d'impiego che conseguentemente al fatto che le specie volubili e quelle ad organi aerei sono quelle largamente più impiegate.

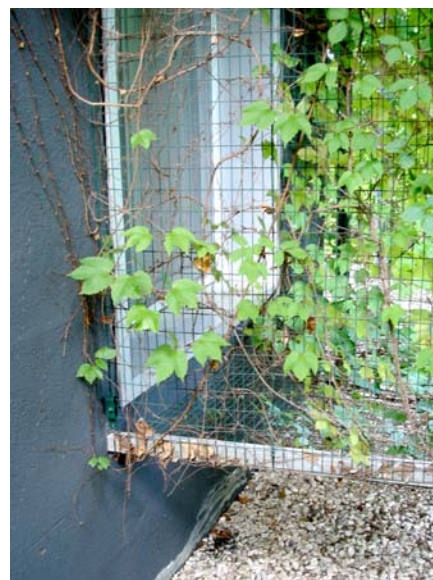


Fig.III.53 – A sinistra. Esempio di supporto eseguito mediante sistema retato a maglie non rigide. (Fonte: catalogo *Carl Stahl Décorcable*)

Fig.III.54 – A destra. CBA Progetti, Ristrutturazione di *Caruzzo & Associati*, Treviso, 2006. Dettaglio della finestra: per ricreare una continuità superficiale destinata agli organi aerei della pianta di *Parthenocissus tricuspidata* è stata impiegata una rete metallica molto fitta. Da notare che per colpa di una carenza manutentiva le propaggini della pianta hanno trasbordato sulla muratura.

III.2.3.1. L'interfaccia fra il rivestimento vegetale e le parti del sistema di chiusura

Attenzione rilevante consisterà nel prevedere un'opportuna distanza tra l'apparato vegetale e la superficie edilizia. Tutte le tipologie di strutture finora descritte andranno realizzate a qualche centimetro dalla retrostante chiusura, in quanto dovranno garantire uno spazio idoneo per la crescita e

³⁸ Si rimanda al paragrafo III.2.3.3 per l'esplicazione di tale argomento.

la presenza delle propaggini fogliari, oltre ad assicurare che rami e organi vegetali non interferiscano con la superficie muraria (Fig.III.54). È possibile affermare che ogni differente specie richiederebbe una distanza diversa dalla parete ma, generalizzando al fine di facilitare le modalità di messa in opera e industrializzazione del sistema, si possono adottare alcune dimensioni standard (Tab.III.55). Inoltre, anche il requisito dell'ispezionabilità della struttura dovrà essere debitamente conteggiato e risolto in fase di progettazione, sia che si tratti di sistemi direttamente collegati alla chiusura (Fig.III.45) che nel caso di opere maggiormente complesse (Fig.III.46 e Fig.III.47).

TIPO DI PIANTA	DISTANZA DALLA PARETE
Specie vegetali a basso o medio vigore di crescita (ad esempio <i>Clematis</i> , <i>Lonicera</i>)	80-150 mm
Specie vigorose o molto vigorose (ad esempio <i>Wisteria</i> , <i>Fallopia</i> , <i>Celastrus</i>)	150-200 mm

Tab.III.55 – Distanze minime indicative da adottare tra il sistema vegetale e la superficie muraria. Tale spazio libero serve a garantire che le propaggini fogliari possano svilupparsi pienamente e senza interferire con le chiusure retrostanti.

Seppur la tecnologia descritta in questo capitolo sia da considerarsi come un sistema composito (vegetale+strutturale) in appoggio ad una chiusura edilizia che potrebbe normalmente sussistere anche senza la sua presenza, sarà importante che gli elementi d'interfaccia tra le specie vegetali e la struttura destinata al loro supporto vengano progettati e realizzati nel modo più opportuno, pena il malfunzionamento del sistema. Ulteriormente agli elementi di connessione tra sottosistema tecnologico e chiusura verticale illustrati in precedenza, esistono altre parti dell'edificio che potrebbero entrare in contatto col rivestimento: queste sono l'attacco a terra, l'attacco al cielo, l'eventuale presenza di porte o finestre, e quella sempre eventuale di aggetti o rientranze edilizie (Fig.III.56).

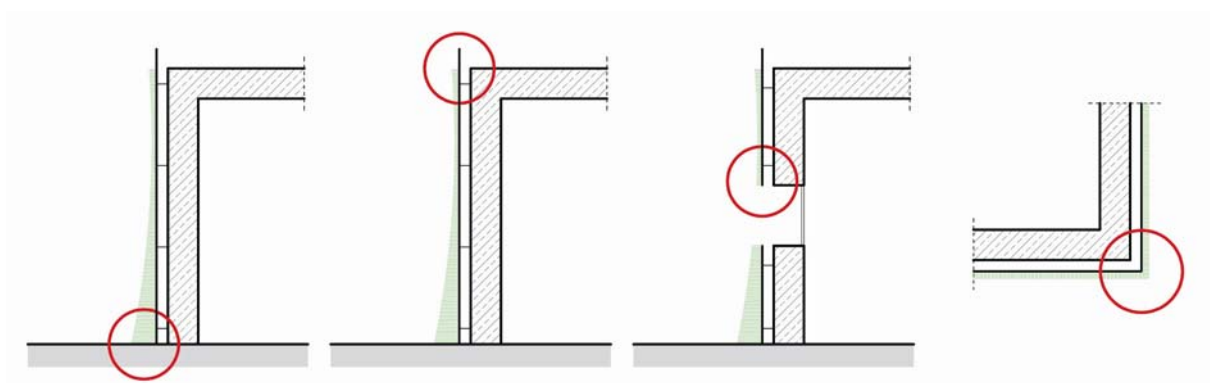


Fig.III.56 – Schema dei nodi caratteristici riguardanti la connessione tra rivestimento vegetale ed elementi architettonici dell'edificio. Da sinistra verso destra sono schematizzati in sezione: l'attacco a terra, l'attacco al cielo e l'interruzione dell'apparato in corrispondenza di porte o finestre. L'ultima immagine a destra rappresenta (in pianta) la connessione angolare tra due facciate a verde.

L'attacco a terra non è mai un grave problema in quanto, quasi sempre, l'unico elemento di collegamento fra il terreno e l'edificio è rappresentato dal fusto della pianta. Tronco che, in quanto elemento fondamentale per la vita del vegetale, andrebbe protetto mediante appositi apparati metallici adeguatamente conformati (Fig.III.57) nel caso d'inserimento in contesti edilizi dove possa essere esposto a particolari rischi³⁹. Nei casi in cui il rivestimento sia collocato in luoghi privati o contesti non particolarmente sensibili, il fusto potrà essere tranquillamente lasciato senza protezione.

Qualora non siano presenti sporti del tetto o elementi aggettanti dove il rivestimento possa agganciarsi, anche l'attacco al cielo sarà un nodo a cui dedicare attenzione. Esso pone il progettista nelle condizioni di scegliere tra due opzioni diverse. Se la chiusura edilizia possa soffrire eccessivamente dell'esposizione diretta agli agenti atmosferici (ad esempio quando questa sia realizzata di materiali delicati come legno a vista o altro), sarà necessario proteggere l'intercapedine formatasi tra la chiusura ed il rivestimento mediante un qualsiasi elemento architettonico che abbia la funzione di bloccare l'acqua che possa penetrarvi. Il caso più semplice e spesso utilizzato consiste nell'impiego di una scossalina metallica adeguatamente conformata.

La seconda possibilità è quella di lasciare libera la sommità dell'intercapedine fra parete e rivestimento (Fig.III.95). Tale azione non creerà particolari problemi qualora gli elementi che restino esposti alle idrometeorie di precipitazione (superfici parietali di chiusura, porte, finestre, oggetti, ecc.) non presentino particolari criticità dovute all'azione meteorologica.



Fig.III.57 – A sinistra. Esempio di attacco a terra in ambito urbano: ai piedi degli esemplari di vite vergine sono visibili gli elementi metallici per la protezione del fusto della pianta, fino ad un'altezza di circa 2 m. dal piano stradale. Si noti anche come il rivestimento venga potato in prossimità delle finestre, per lasciare che la luce naturale possa penetrare liberamente negli ambienti interni. (Fonte: Marco Devecchi)

Fig.III.58 – A destra. CBA Progetti, Ristrutturazione di *Caruzzo & Associati*, Treviso, 2006: dettaglio di una finestra. In questo caso l'imbotte è stato realizzato mediante una rientranza dell'elemento retato che funge da supporto al rivestimento, in modo da poter inverdire completamente anche tali superfici di raccordo. Si noti nell'angolo in alto a destra del serramento, il corrente orizzontale telescopico per ovviare, durante le fasi di montaggio della pelle vegetale, ad eventuali imprecisioni dimensionali.

³⁹ Ad esempio per l'inserimento vegetale in ambito urbano, quando esista la possibilità che automobili o altri mezzi meccanici urtino il fusto della pianta, danneggiandolo.



Fig.III.59 – A sinistra. Piscina di Merano (BZ): dettaglio sulla finestra degli spogliatoi. Il sistema vegetale di *Parthenocissus tricuspidata* (vite vergine) aggrappa sulla muratura senza l'utilizzo di alcuna struttura di mediazione con la chiusura. Sarà perciò in questo caso necessario operare mediante l'ordinaria attività di potatura, per liberare le superfici trasparenti dai rami. Si noti nella parte superiore al serramento, come le radici a ventosa della pianta abbiano sporcato la superficie di contatto.

Fig.III.60 – A destra. Luciano Giorgi e Liliana Bonforte, *Showroom Benetton*, Vicenza, 2010. Seppur la scansione ottenuta tramite la disposizione dei cavi metallici presenti interessanti valenze formali, non risulta in questo caso efficace. La vite vergine, presentando un apparato radicale a ventosa, necessita di appoggi che tendano alla massima continuità superficiale; perciò, nel caso specifico, la pianta tende ad aggrappare sulla muratura anziché utilizzare i cavi, peraltro troppo radi. Inoltre – come spiegato al paragrafo III.1 – le strutture a cavi lineari si adattano a specie che presentano altre caratteristiche di crescita: come visibile, le propaggini vegetali stanno in gran parte aggrappando sulla superficie muraria, invece che sfruttare i cavi: cfr. Fig.III.17.

Solitamente un rivestimento a verde non richiede particolari attenzioni nei confronti degli aggetti edilizi o verso porte e finestre che presenzino in facciata. Una pratica storica usata ancora oggi è quelle di liberare all'occorrenza le forature architettoniche mediante la necessaria attività di potatura periodica: durante tali sessioni di sfalcio sarà sufficiente eliminare le propaggini che tendono ad invadere i serramenti. Ma se la presenza di apparati fogliari in corrispondenza delle forometrie rappresenti un problema, o conseguentemente a precise necessità progettuali, la via più semplice e funzionale sarà, anche in questo caso, quella di provvedere alla realizzazione di elementi architettonici (come scossaline metalliche o degli imbotti adeguatamente dimensionati) per separare fisicamente il rivestimento dagli elementi edilizi in questione (Fig.III.58 e Fig.III.59).

III.2.3.2. Fattori che possono contribuire a problematiche nei confronti dell'apparato vegetale

Quando ci si approccia alla progettazione di un rivestimento a verde, l'esigenza progettuale primaria sarà quella di creare degli apparati per l'impianto ed il supporto del sistema vegetale che funzionino in maniera ottimale, al fine di non commettere degli errori che possano compromettere caratteristiche

vegetative o funzionalità delle specie adottate. Tali sbagli potranno essere tecnologici, ambientali o agronomici, a seconda del campo d'azione nel quale si agisca.



Fig.III.61 – A sinistra. MCA, *Ex Ducati*, Rimini, 2006. Le piante di falso gelsomino faticano a rivestire la struttura metallica. Ciò accade probabilmente a causa di due motivi che si influenzano in maniera sinergica: la prima criticità è dovuta all'eccessivo passo tra i correnti della struttura di supporto, motivo per cui i rami della pianta faticano a rivestire il sistema; l'altro problema è l'eccessivo calore al quale è sottoposta la vegetazione: i montanti della struttura sono molto spessi perciò, conseguentemente al soleggiamento, sprigionano un calore molto maggiore di quello esercitato da strutture tesate o retate di minime dimensioni. Inoltre, il calore sprigionato dalla struttura si combina alle alte temperature re-irradiate dall'asfalto che circonda completamente il sito di progetto. (Fonte: <http://www.archdaily.com>)

Fig.III.62 – A destra. Venezia, Biennale di Architettura 2008: padiglione giapponese. Esempio negativo di sperimentazione artistica che utilizzi un rivestimento vegetale: le specie vegetali faticano ad attecchire sulla superficie vetrata. I rampicanti non hanno la capacità di aggrappare su paramenti completamente lisci; infatti, in questo caso, le propaggini fogliari venivano “forzate” a verticalizzare fissandole con del nastro adesivo.

Questione fondamentale sarà la scelta del materiale costruttivo. Esso dovrà garantire una serie di azioni sia attive che passive nei confronti delle specie ivi ospitate, in modo da offrire alla pianta le migliori condizioni di vita. Prima di tutto il supporto dovrà dimostrarsi inerte nei confronti del sistema vegetale, in modo che il materiale con cui esso è costruito non nuoccia alla vegetazione. Non è raro il caso in cui le strutture di supporto incidano negativamente sullo sviluppo delle piante a causa di erronee scelte progettuali: alcune specie che soffrono le alte temperature potrebbero mal tollerare supporti di colore scuro o eccessivamente esposti alla radiazione solare⁴⁰ (Fig.III.61); inoltre, seppur in eventi sporadici, alcune specie tendono a rigettare le strutture a matrice metallica, prediligendo altri materiali come legno o polimeri⁴¹. Questo genere di sviste progettuali potrebbe limitare fortemente lo

⁴⁰ Ad esempio, la sinergia fra elementi metallici di grande spessore e un soleggiamento diretto troppo forte potrebbe rivelarsi un problema per quelle specie vegetali che soffrono le alte temperature.

⁴¹ Le strutture di supporto a matrice polimerica sono state introdotte solo recentemente nel campo dei rivestimenti

sviluppo vegetale o addirittura provocare la morte della pianta (Fig.III.63). In linea generale, sarà quindi sempre opportuno realizzare i sistemi di supporto in colori non scuri, come ad esempio bianco o verde⁴², ed in materiali idonei: sarà perciò, anche in questo caso, fondamentale interfacciare l'attività di progettazione architettonica con quella agronomica espletata da professionisti specializzati.



Fig.III.63 – Andrea Viviani, *CinéCITY Multiplex*, Limena (PD), 2005: confronto tra due immagini dell'edificio nelle annate 2005 (a sinistra) e 2008. La facciata principale, originariamente rivestita mediante piante di gelsomino decumbenti (foto di sinistra; fonte: BELLINI, OSCAR E., DAGLIO, LAURA, *Verde Verticale*, in bibl., p.240), è stata sostituita con un'edera sintetica in seguito alla morte dei vegetali (a destra). Le ragioni del decesso sono presumibilmente da imputarsi alle alte temperature del contesto d'impianto causate dall'esposizione a Sud-Ovest della facciata, unitamente al calore re-irradiato del grande parcheggio asfaltato antistante l'edificio.

Altra criticità imputabile al materiale o alla conformazione scelta per la struttura, è quella prestazionale. Il supporto dovrà formare un adeguato sostegno al sistema vegetale in funzione delle peculiarità di proliferazione verticale, diverse da specie a specie: la scelta di una tipologia inadatta (ad esempio una conformazione strutturale non pertinente o l'eccessiva dimensione dell'interasse tra i correnti – Fig.III.64) potrebbe rivelarsi un problema, portando la pianta a non svilupparsi adeguatamente, o facendo in modo che i suoi organi vegetali abbiano difficoltà nel trovare o aderire ai supporti.

La struttura del rivestimento non dovrà deformarsi sotto il peso della pianta e conseguentemente alle sollecitazioni – singole o combinate – da essa esercitate (trazione, torsione, compressione), o dei carichi accidentali conseguenti alla sua presenza (neve, vento, pioggia, ecc.)⁴³. Anche la durata si rivela un parametro importante per i sistemi di supporto al rivestimento: essi dovranno garantire una lunghezza di vita idonea, nonché il mantenimento delle caratteristiche dimensionali e di resistenza per l'intero ciclo di vita. Per gli impianti in vaso, dimensione e conformazione dei contenitori saranno gli

a verde.

⁴² Entrambi questi colori si rivelano ottimali dal punto di vista della neutralità interattiva nei confronti della pianta, in quanto il primo si scalda molto poco per effetto del soleggiamento, mentre l'altro è quello proprio dei vegetali.

⁴³ Le sollecitazioni e i carichi che interessano un rivestimento vegetale saranno esplicate con maggiore precisione nel paragrafo III.2.3.3.

aspetti più importanti; come del resto, sia le caratteristiche di irrigazione e drenaggio, che quelle della composizione dei substrati ivi contenuti.



Fig.III.64 – A sinistra. Foster & Partners, *World Trade Center*, San Marino, 2004. La pensilina (in basso a sinistra della foto) è realizzata tramite una struttura spaziale in cavi tesi di acciaio e rivestita – nelle intenzioni dei progettisti – con delle piante di *Trachelospermum jasminoides* (falso gelsomino). Tali piante, dopo ben sei anni, probabilmente a causa dell'eccessivo spazio intercorrente tra un cavo e l'altro, stentano a svilupparsi. (Fonte: <http://dastesolar.com>)



Fig.III.65 – A destra. Esempio di griglia in FRP per il supporto di rivestimenti a verde. Nel caso specifico è stata impiegata nella riqualificazione architettonica di un edificio industriale. Il sistema è denominato *Greenover* e viene prodotto dall'azienda *Tecnoimage*. (Fonte: <http://www.tecnoimage.it>)

Fig.III.66 – A sinistra. *Wall-y*, prodotto da *Geoplast*: sistema per la realizzazione di rivestimenti a verde. È formato da moduli grigliati in polietilene ad alta densità (di colore verde o bianco nella foto) come sistema di supporto alla crescita di piante rampicanti. Nella parte bassa dell'immagine sono visibili delle fioriere, così da rendere il sistema impiegabile sia con l'impianto a terra che nella messa a dimora in quota.

Anche i fattori *ambientali* andranno debitamente conteggiati. Innanzitutto vi è quello dell'esposizione solare: alcune specie si adattano molto bene a qualsiasi esposizione, mentre altre hanno dei *range* di adattabilità più ristretti. Sbagliare la selezione dei vegetali in funzione dell'esposizione solare o delle caratteristiche climatiche e microclimatiche di contesto potrebbe rivelarsi deleterio per la riuscita o lo sviluppo del sistema vegetale. Lo stesso può dirsi nel caso di ambienti inquinati: sarà necessario bonificare l'area o, quantomeno, porre estrema attenzione nella scelta di piante che non soffrano la presenza dell'elemento inquinante ivi riscontrato.

Vi sono poi dei fattori prettamente *agronomici* che, seppur non spettino direttamente alle professionalità del progettista architettonico, andrebbero comunque almeno conosciuti. Essi si riferiscono alla scelta del substrato di coltivo (composizione, acidità dei terreni, PH, caratteristiche intrinseche di drenaggio, ecc.) ed ai quantitativi: compiere degli errori in tali settori progettuali potrebbe significare far soffrire il sistema vegetale o, ancora peggio, provocarne il decesso.



Fig.III.67 – A sinistra. Giovanni D'Ambrosio, *VI.AI.PI. Restaurant*, Bali (Indonesia) 2003: dettaglio alla base del rivestimento. Il supporto alle piante è realizzato mediante funi verticali. Vista la collocazione geografica dell'intervento, si sono utilizzate specie autoctone tropicali. (Fonte: FABRIS, LUCA MARIA FRANCESCO, *Tecnonatura: progetti per la rivoluzione ambientale*, in bibl., p.176)

Fig.III.68 – A destra. R&Sie(n), *Spidernethewood*, Nimes (Francia) 2007. Il rivestimento a verde appoggia su una struttura di rete polimerica bianca che avvolge l'edificio e tutti i suoi annessi. La foto è stata scattata un anno dopo l'inaugurazione del manufatto, perciò le piante non presentano ancora uno sviluppo completo. (Fonte: <http://www.archdaily.com>)

Come si è potuto evincere dagli esempi finora riportati, il materiale maggiormente impiegato per le strutture di rivestimento è l'acciaio: ciò accade per ovvii motivi di resistenza e versatilità d'impiego. Ma esistono anche altre possibili soluzioni, come il legno e i polimeri. Il legno è stato molto usato in passato (ad esempio in *trellages* storici, pergole o rivestimenti a verde dall'età romana fino al XVIII secolo) e viene ancora oggi impiegato in alcuni casi per rivestimenti insistenti su piccole aree o per alcune sperimentazioni innovative, come nel caso del bambù. I polimeri possono rappresentare un'alternativa molto interessante, in quanto riescono ad abbinare resistenza, leggerezza e versatilità

d'impiego, tanto che molte aziende stanno oggi sperimentando l'utilizzo di materiali come PVC, FPR⁴⁴ o altro, per l'implementazione dei propri sistemi (Fig.III.65 e Fig.III.66). Ciò non toglie che, una volta assecondate richieste e peculiarità specifiche delle specie vegetali in modo da garantire loro le migliori condizioni vegetative possibili, qualsiasi tipo di materiale potrebbe essere impiegato per rivestire pareti o schermare ambienti (Fig.III.67 e Fig.III.68).

SPECIE	PESO DEI FRUTTI (N/m ²)	PESO DEL LEGNO (kN)	PESO TOTALE (Kg/m ²)
<i>Actinidia arguta</i>	15,00	0,61	16-20
<i>Actinidia chinensis</i>	15,00	0,87	21-25
<i>Akebia quinata</i>	5,00	0,23	13-15
<i>Campsis radicans</i>	–	1,16	13-15
<i>Clematis Florida hybrid</i>	–	0,08	6-9
<i>Hedera colhica</i>	1,50	1,02	26-50
<i>Hedera helix</i>	1,50	4,85	26-50
<i>Humulus lupulus</i>	1,00	0,00	6-9
<i>Jasminum nudiflorum</i>	–	0,11	10-12
<i>Lonicera brownii</i>	1,70	0,05	6-9
<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	2,00	1,92	13-15
<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	–	3,88	6-9
<i>Vitis vinifera</i>	15,00	0,77	21-25
<i>Wisteria floribunda</i>	–	1,46	13-15
<i>Wisteria sinensis</i>	–	8,14	13-15

Tab.III.69 – Pesì medi indicativi per alcune specie di rampicanti. Vengono qui riportate solo alcune specie vegetali, allo scopo di rendere l'idea dei possibili pesi da imputare alle varie piante in sede di analisi dei carichi. Si tenga comunque conto che esistono numerose tabelle riportanti il peso al metro quadrato per moltissime specie esistenti. (Fonte: *Thorwald Brandwein Fassadenbegrünung Mechnich e Schwaiger's Wwe GmbH, München, Fassadenbegrünung 1994, Germania. Rielaborazione da: BELLOMO, ANTONELLA, op. cit., p.116*)

III.2.3.3. Analisi dei carichi e dimensionamento

Durante le varie fasi di progettazione della struttura di supporto ai vegetali andranno opportunamente conteggiati tutti i carichi che compongono un rivestimento, computando quindi sia quelli della struttura vera e propria, che quelli dovuti alla presenza delle piante. Nell'attività di dimensionamento del sottosistema strutturale si dovranno conteggiare, al pari di una qualsiasi altra struttura edile, tutti i

⁴⁴ FRP è l'acronimo di *Fiber Reinforced Polymers*. Sigla inglese che indica una gamma di materiali compositi molto resistenti, ottenuti rinforzando elementi a matrice polimerica con fibre di vario genere (ad esempio fibra di vetro).

carichi che potrebbero interessare tale sottosistema durante l'intero ciclo di vita utile. Essi potranno essere suddivisi in pesi propri (Pp) e carichi accidentali, ed andranno stimati tenendo conto di alcuni fattori, quali:

- 1) il **Pp della pianta**: da 1 a 50 Kg/m² in funzione della specie vegetale impiegata e del contestuale sviluppo vegetativo – variabile da caso a caso – che la interessa (Tab.III.69);
- 2) il **Pp della struttura di supporto** (dipendente dal tipo di materiale e dalla quantità impiegata);
- 3) il **carico accidentale del vento** sull'intera superficie del rivestimento;
- 4) il **carico accidentale** imputabile alla presenza di **neve**;
- 5) il carico accidentale prodotto da pioggia, umidità dell'aria e rugiada.

Distribuzione dei carichi

Se la struttura non presenta appoggi intermedi, ma è supportata esclusivamente dai traversi alla base ed alla sommità, il montante superiore sarà quello maggiormente sollecitato. In tal caso, esso dovrà sostenere l'intero ammontare del peso del rivestimento (prodotto dalle piante e dal sottosistema di supporto) e metà di quello accidentale dovuto al vento. Il traverso inferiore, oltre a funzionare da controventamento, supporterà solo la restante percentuale di pressione ventosa. Diviene quindi opportuno prestare debita attenzione alla distribuzione dei carichi in fase di modellazione statica, in quanto i correnti orizzontali si trovano a dover rispondere a delle sollecitazioni maggiori rispetto a quelli verticali (Fig.III.70).

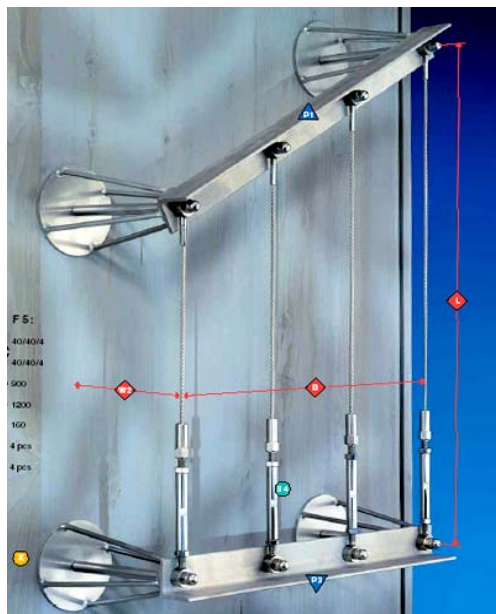


Fig.III.70 – A sinistra. Struttura eseguita da supporti superiori e inferiori, completati da montanti tesati verticali. Il supporto superiore è quello più sollecitato. (Fonte: Jakob Inox Line)

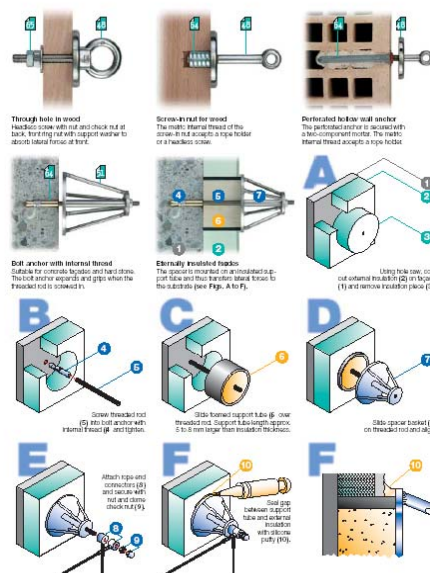


Fig.III.71 – A destra. Campionario di elementi puntuali per la connessione dei sottosistemi di supporto alle chiusure edilizie. Questi possono essere impiegati sia alla sommità che nei punti intermedi del rivestimento, ed hanno conformazioni diverse in funzione delle tipologie di superfici alle quali dovranno connettersi. Mediante dei distanziatori è possibile collocare detti sistemi anche sulle chiusure che presentano un isolamento a cappotto. (Fonte: Jakob Inox Line)

Nel caso in cui la struttura di supporto comprenda esclusivamente montanti verticali rigidi o tesati, la sollecitazione prodotta dal peso della pianta sarà schematizzabile come un carico verticale concentrato.

Qualora invece il grigliato metallico – o la struttura tesata orizzontale o verticale – presentasse dei punti intermedi di connessione alla chiusura verticale retrostante, essi andranno opportunamente conteggiati in fase di analisi dei carichi o dimensionamento strutturale. Tali appoggi intermedi, inoltre, si rivelano preziosi nel diminuire la freccia prodotta dall'abbassamento strutturale nel supporto superiore, contribuendo in modo apprezzabile alla rigidità dell'intero apparato di rivestimento. Un'interessante opzione strategica da tenere in considerazione durante la fase di progettazione strutturale, potrebbe essere quella di prevedere una serie di appoggi puntuali intermedi, al fine di donare maggiore rigidità complessiva alla struttura e diminuirne gli abbassamenti localizzati o le frecce complessive (Fig.III.74).

Alcune tipologie di piante a sviluppo volubile e particolarmente vigoroso (ad esempio *Wisteria*) potrebbero arrecare, con le proprie propaggini, delle sollecitazioni di trazione o torsione ulteriori, oltre a quelle già imputabili ai carichi fissi o accidentali. Tali forze – peraltro di difficile quantificazione ed assai variabili da caso a caso – potrebbero arrecare criticità o danni non preventivati alle strutture di supporto del sistema vegetale o, per trasmissione di sollecitazione, alle chiusure dell'edificio. Vengono in questi casi utilizzati dei morsetti di fissaggio rinforzati ed appositamente studiati, che servono a contenere le sollecitazioni supplementari create da piante molto vigorose.

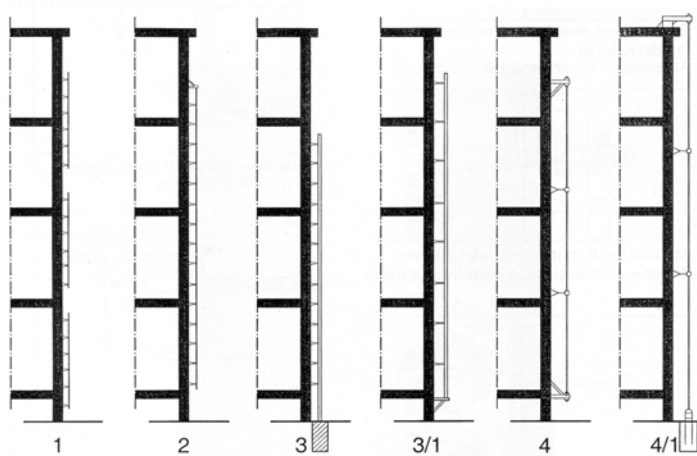


Fig.III.72 – A sinistra. Sono qui schematizzate alcune possibilità per la connessione tra edificio e sottosistemi strutturali destinati alla vegetazione. Essi possono essere rigidi o tesati, fissati a parete, a terra con propria fondazione o pendenti dalla copertura. (Fonte: *FLL - Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau* (Associazione tedesca dei costruttori del Paesaggio). Elemento citato in BELLOMO, ANTONELLA, op. cit., p.112)

Fig.III.73 – A destra. CBA Progetti, Ristrutturazione dello *Studio Caruzzo & Associati*, Treviso, 2006: foto di cantiere. Esempio di sottosistema strutturale presentante fondazioni autonome: esso non è quindi supportato dalla chiusura deputata all'inverdimento ma si autosostiene. (Fonte: Carlo Bordini)

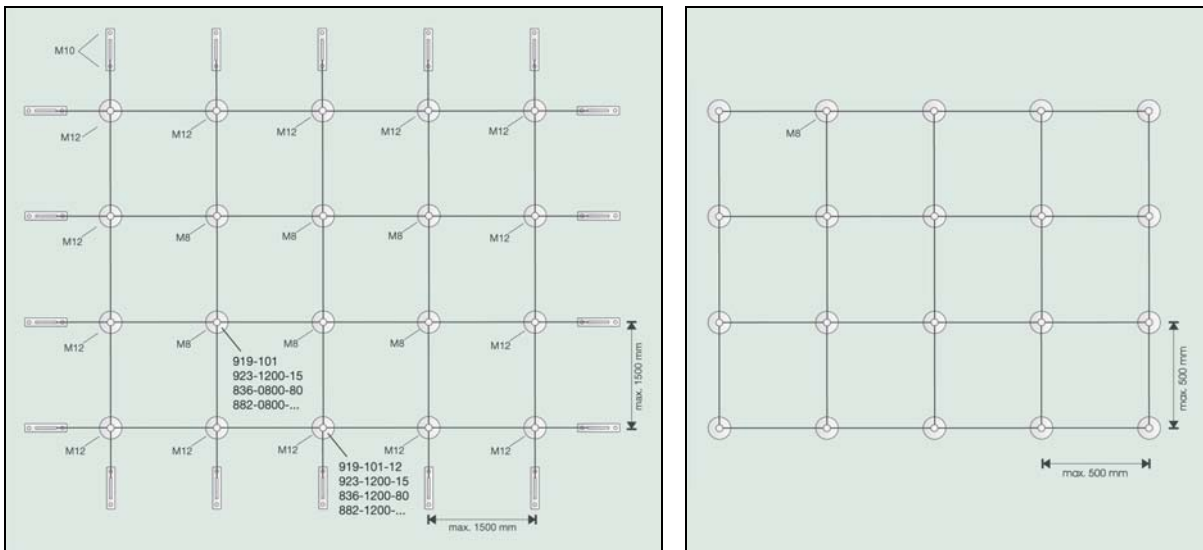


Fig.III.74 – Confronto tra due configurazioni differenti, tra le molteplici possibili, per la disposizione di cavi e puntoni intermedi atti alla realizzazione di strutture tesate. Una schematizzazione di questo genere si rivelerà utile nella modellazione statica e strutturale durante le fasi di dimensionamento dei supporti. La differenza tra le due è dovuta al fatto che quella di sinistra possiede dei tiranti supplementari che sbordano oltre il reticolo a maglie quadrate: essa sarà perciò più resistente. (Rielaborazione da: catalogo *Carl Stahl Décorcable*)



Fig.III.75 – Luciano Giorgi e Liliana Bonforte, *Showroom Benetton, Vicenza, 2010*. Esempio di apparati puntiformi per la connessione tra sistemi tesati e chiusure verticali. Sono qui raffigurati un elemento di bordo – a sinistra – ed uno intermedio. La figura a destra dimostra un errore (progettuale o di realizzazione): trovandosi nel caso di rivestimento integrativo ad una chiusura con isolamento a cappotto, tali elementi puntiformi, per garantire adeguata resistenza meccanica, dovrebbero presentare una lunghezza che gli permetta di penetrare fin nella parte strutturale della parete, anziché fermarsi all'isolante; per tale motivo, anche se sono passati meno di sei mesi dal completamento dell'opera, alcuni elementi risultano già divelti, lasciando parte del sistema di rivestimento svincolato dalla muratura.

Il carico del vento

Il carico accidentale relativo a flussi e correnti ventose è quello maggiormente critico in strutture del genere. Sebbene le brezze ventose possano permeare attraverso la superficie prodotta dalle foglie, sarà bene non sottovalutarle; è quindi consigliabile, in fase di modellazione statica e strutturale, paragonare la superficie vegetale ad un piano senza bucatore, piuttosto che ad una superficie che possa essere attraversata dai flussi.

La sollecitazione dovuta al carico ventoso che può interessare un rivestimento vegetale dipende dalla direzione dei venti ed è di tipo bivalente: essa può essere distinta in *pressione ventosa* o *effetto risucchio*⁴⁵. Nel primo caso si tratta di un carico distribuito ortogonalmente alla superficie a verde, mentre l'effetto risucchio si viene a formare quando il vento soffia parallelamente alla superficie vegetale: i carichi vengono in entrambi i casi trasmessi alla struttura di supporto mediante le propaggini delle piante. La superficie – deputata come totalmente o parzialmente permeabile a seconda delle scelte dello strutturista – formata dalle propaggini fogliari può produrre un “effetto bandiera” sotto il doppio effetto (pressione o depressione) della corrente ventosa: l'intero sistema potrebbe quindi, sotto tale carico accidentale, subire delle sollecitazioni che lo porterebbero a muoversi o sbandierare nella sua interezza, caricando i montanti e le connessioni fra struttura e chiusura. Eventuali appoggi intermedi fungerebbero anche in questo caso sia da ottimale irrigidimento e controventamento strutturale che come elementi puntiformi collaboranti (entrando qui in gioco anche le prestazioni dei tasselli impiegati per fissare la struttura alla chiusura edilizia e la resistenza della chiusura stessa).

Nel caso della pressione ventosa le sollecitazioni da computare andranno valutate sottostando a quelli che sono i valori indicati negli apparati normativi attualmente in vigore; mentre, per quel che concerne la depressione, sarà opportuno verificare i montanti della struttura secondo adeguate sollecitazioni: alcuni produttori⁴⁶ forniscono dei valori indicativi per il carico di risucchio ventoso in funzione dell'altezza raggiunta dal sistema vegetale. Tali grandezze sono così espresse:

- **0.5 kN/m²** per i rivestimenti vegetali **fino a 8 m di altezza** dal piano di campagna;
- **0.8 kN/m²** per quelli compresi **tra 8 e 20 m**;
- **1.1 kN/m²** per i rivestimenti **più alti di 20 m**.

Altri carichi accidentali

Montanti e strutture dovranno essere in grado di supportare anche i carichi accidentali prodotti da pioggia, neve e umidità dell'aria. Questa azione viene solitamente individuata moltiplicando il peso proprio della pianta al metro quadrato, per un coefficiente moltiplicativo differente a seconda del tipo di fogliazione vegetale. Tale coefficiente consiste in:

- **Pp** della pianta **moltiplicato X2** (nel caso di **piante decidue**);
- **Pp** pianta **moltiplicato X3** (se si impiegano **specie sempreverdi** ⁴⁷)

⁴⁵ L'effetto risucchio altro non è che una depressione dovuta all'azione del vento.

⁴⁶ Si precisa che non esiste alcuna normativa in merito al dimensionamento dei montanti strutturali per la realizzazione di rivestimenti vegetali, quindi tali valori non sono assoluti o cogenti, ma andranno interpretati come delle regole di buon costruire. I valori di carico qui riportati sono quelli suggeriti da due aziende leader nel settore, ossia l'elvetica *Jacob Inox Line* e l'anglosassone *S3i – Stainless Steel Solutions*.

⁴⁷ Tale valore risulta maggiorato perché sono proprio le specie sempreverdi ad essere potenzialmente più

III.2.4. La fornitura idrica e dei nutrienti

Il sistema vegetale in appoggio alle chiusure edilizie necessiterà di un adeguato apporto idrico in funzione delle specie impiegate, delle caratteristiche del contesto d'inserimento e delle stagionalità⁴⁸. Diviene quindi necessario, fin dalla fase di progettazione, comprendere come gestire tale fabbisogno. Il rivestimento a verde, essendo tutto sommato un sistema dalla bassa tecnologia intrinseca, non pone eccessive problematiche per quel che concerne l'impianto d'irrigazione (a differenza di quanto accade per le chiusure verticali vegetate). L'apporto idrico necessario alla vita delle piante potrà essere gestito in due modi differenti, ossia scegliendo se dotare o meno il rivestimento di un impianto automatizzato per la gestione delle modalità e delle tempistiche d'annaffiamento.



Fig.III.76 – Schema di impianto automatizzato d'irrigazione. Il sistema si compone principalmente di tre parti: una centralina elettronica programmabile (non presente nell'impianto dimostrativo qui raffigurato), delle elettrovalvole (in basso a destra, di colore blu) e tubazioni per il trasporto dell'acqua irrigua (visibili nella foto come correnti paralleli orizzontali e raccordi verticali). La centralina gestisce tempistiche e modalità d'irrigazione, fornendo alle varie valvole l'impulso di apertura o chiusura dei flussi irrigui; i tubi (altrimenti detti *ali gocciolanti*) servono al trasporto dell'acqua verso i luoghi destinati all'annaffiatura.

esposte al carico nevoso.

⁴⁸ In base all'esposizione solare varia anche la necessità idrica della pianta in quanto essa, alla pari di un qualsiasi altro organismo vivente, utilizza maggiori o minori risorse liquide e nutritive in base a temperatura e umidità dell'aria, nonché in funzione delle energie che impiega per svolgere le proprie normali attività fisiologiche.

La scelta di non integrare alcun sistema automatizzato al rivestimento è sicuramente quella più semplice, quanto rischiosa. Essa consiste nel lasciare che tutte le modalità d'annaffiamento siano gestite dall'utilizzatore finale del manufatto. Egli dovrà quindi provvedere ad annaffiare costantemente e manualmente le piante con una cadenza temporale fissa, o quando queste ne abbisognino. Tale opzione, sicuramente economica, è comunque difficoltosa da gestire in quanto, soprattutto nei periodi molto caldi, un apparato vegetale potrebbe anche richiedere vari apporti idrici settimanali, pena la sofferenza o il decesso del sistema.

L'altra opzione, di gran lunga più impiegata, è quella di dotare la struttura di un sistema centralizzato ed automatico⁴⁹ per la gestione di tempi e cicli di annaffiatura. L'impianto così realizzato si compone mediamente di una centralina elettronica programmabile (definita altrimenti *controller*) destinata a gestire i cicli dell'apporto idrico, integrata da una serie di elettrovalvole ed ali gocciolanti⁵⁰ (Fig.III.76 e Fig.III.77), finalizzate ad indirizzare e trasportare l'acqua ove necessario. Acqua che potrà essere prelevata dall'acquedotto pubblico o estratta dal sottosuolo mediante ulteriori eventuali apparati meccanici, come pompe, ecc.



Fig.III.77 – A sinistra. Esempio di impianto d'irrigazione automatizzato sistemato nel terreno. Nella parte in basso a sinistra dell'immagine è visibile l'ala gocciolante in PVC alla base della pianta: l'obiettivo del sistema è quello di portare un adeguato quantitativo idrico nel terreno in prossimità del fusto del vegetale.

Fig.III.78 – A destra. Sistema d'irrigazione automatizzato per impianto in vaso dei vegetali. Le ali gocciolanti servono ad irrorare d'acqua il substrato contenuto nella fioriera.

⁴⁹ L'argomento degli impianti d'irrigazione automatizzati, essendo parte integrante e fondamentale delle chiusure verticali vegetate, sarà descritto in modo approfondito nel quinto capitolo. Cfr. V.2.2.6

⁵⁰ "Ali gocciolanti" è una dicitura tecnica usata dagli impiantisti per indicare dei tubi in PVC di piccole dimensioni (ad esempio di 8 mm, 16 mm, 22 mm, ecc.) che percorrono gli spazi da annaffiare. Tali tubazioni, essendo dotate di piccoli fori equidistanti dove l'acqua movimentata da una pompa scorre in pressione, gocciolano durante l'intero periodo di annaffiatura e su tutto il percorso da esse attraversato: da qui la dicitura di ali gocciolanti. Soluzione ancora più efficiente è quella che prevede l'impiego di ali gocciolanti *auto-compensanti*: essa permette di ottenere la medesima pressione – e quindi eguale portata d'acqua – su tutta la lunghezza della tratta da annaffiare, garantendo così a tutte le piante la sicurezza dell'irrigazione.

Il sistema automatizzato diviene invece quasi obbligatorio quando i vegetali non sono piantati a terra. Come visto, nel caso delle specie in vaso il substrato presente – che funge da riserva idrica all'apparato vegetale – è molto limitato perciò, un'eventuale mancanza imputabile alla figura deputata ad annaffiare le piante, potrebbe avere conseguenze gravi. Tale mancanza (o dimenticanza) si rivelerebbe particolarmente deleteria nei casi di temperature molto alte, in cui un'assenza irrigua anche di soli pochi giorni potrebbe essere fatale al sistema. Perciò, nel caso di rivestimenti ottenuti tramite l'impiego di vasi o fioriere, l'impianto d'irrigazione andrà considerato obbligatorio (Fig.III.78).

Altrettanto importante la questione diametralmente opposta, ossia quella di un possibile eccesso di apporto idrico. Particolare attenzione dovrà essere dedicata in fase di progettazione agronomica e pedologica⁵¹ riguardo al problema dell'eccesso di acqua o del ristagno della stessa. Come descritto in Tab.III.79 alcune piante possono temere il ristagno idrico nel terreno, o non dimostrarsi idonee all'impianto in vasi e fioriere.

Ulteriore discorso riguarda la somministrazione di nutrienti alle piante, ossia le varie pratiche di fertilizzazione e concimazione⁵²: esse si rivelano necessarie nell'eventualità che i vegetali presentino degli scompensi nutrizionali. È possibile, infatti, che la somministrazione idrica e i nutrienti contenuti nel terreno o nei substrati non siano sufficienti alle piante, ma sia necessario intervenire in modi supplementari, integrando l'apporto idrico con delle sostanze organiche o minerali (ad esempio è da sempre molto utilizzato il sangue di bue, ma esiste oggi un altissimo numero di fertilizzanti di varie derivazioni).























Anche la pratica della fertilizzazione può essere eseguita sia manualmente⁵³ che sfruttando l'eventuale sistema centralizzato d'irrigazione (facendogli in quel caso distribuire acqua integrata da nutrienti appositamente selezionati e dosati in funzione delle necessità del sistema): tale attività viene definita *fertirrigazione*⁵⁴. Essa, correntemente usata con le chiusure verticali vegetate, sarebbe possibile anche nel caso di rivestimenti a verde, anche se nella realtà viene raramente impiegata. Ciò perché un impianto di fertirrigazione è più costoso di un semplice sistema d'irrigazione automatizzato, più difficile da usare o programmare e richiedente l'intervento di persone esperte nel dosaggio dei nutrienti, in quanto un eccesso di sostanza nutritiva potrebbe essere deleterio per la pianta.

⁵¹ La progettazione pedologica è quella che si occupa di definire la composizione dei substrati d'impianto.

⁵² «Fertilizzare: rendere fertile un terreno, soprattutto mediante concimazioni». «Concimazione: in agraria, l'operazione del concimare, eseguita allo scopo di restituire al terreno le sostanze asportate con le culture, e insieme di migliorarne le proprietà fisiche, fisico-chimiche e biologiche.» (Fonte: <http://www.treccani.it>)

⁵³ Prassi impiegata nella maggioranza dei casi coi rivestimenti vegetali

⁵⁴ «Fertirrigazione: nella pratica agraria, irrigazione fertilizzante fatta con acqua in cui siano disciolti concimi organici naturali o concimi chimici in appropriata concentrazione» (Fonte: <http://www.treccani.it>). Si rimanda al paragrafo V.2.2.6.1 per una trattazione maggiormente esaustiva dell'argomento.

SPECIE	ESIGENZE CLIMATICHE	ESPOSIZIONE	FABBISOGNO IDRICO	PERIODO DI FIORITURA	DA VASO O DA TERRA	TIPO DI TERRENO VEGETALE
<i>Jasminum</i>	Teme il freddo intenso, da pieno sole	 	Irrigazione regolare	Stagionale (dipende dalla specie)	Da terra	Universale
<i>Rhinospermum jasminoides</i>	Resistente al freddo	 	Irrigazione regolare, teme il ristagno idrico	Da aprile a luglio	Da vaso / terra	Universale o limoso
<i>Clematis</i> (diverse varietà)	Moderata resistenza al freddo, evitare caldo eccessivo		Irrigazione abbondante, teme il ristagno idrico	Primavera estate	Da terra	Universale o leggermente alcalino, drenante
<i>Hedera-Araliaceae</i> <i>Hedera</i> (diverse varietà)	Resistente al freddo	 	Teme il ristagno idrico	Autunno	Da vaso / terra	Universale, drenante
<i>Rosacee</i> (diverse varietà)	Buona rusticità e moderata resistenza al freddo	 	Irrigazione abbondante in primavera-estate	Da giugno fino all'autunno	Da vaso / terra	Universale, drenante
<i>Passifloraceae</i>	Teme il freddo e temperature elevate		Irrigare normalmente, aumentare l'apporto in periodi siccitosi.	Giugno settembre	Da vaso / terra	Universale, drenante
<i>Parthenocissus</i> (diverse varietà)	Resistente al freddo	 	Teme la siccità	Maggio luglio	Da terra	Universale, drenante
<i>Lonicera caprifolium</i>	Moderata resistenza al freddo	 	Irrigare normalmente, aumentare l'apporto in periodi siccitosi	Aprile settembre	Da terra	Universale, drenante
<i>Wisteria sinensis</i>	Buona rusticità e moderata resistenza al freddo	 	Irrigare normalmente, aumentare l'apporto in periodi siccitosi	Maggio giugno	Da terra	Argilloso
<i>Nyctaginaceae</i> <i>Bougainvillea</i> (diverse varietà)	Teme il freddo (non resiste a <10°C)		Irrigazione moderata	Primavera autunno	Da vaso / terra	Universale, drenante
<i>Dipladenia</i> (diverse varietà)	Teme il freddo		Irrigare normalmente	Fine primavera inizio estate	Da vaso / terra	Soffice, drenante
<i>Ficus Repens</i>	Teme il freddo		Irrigazione moderata	-	Da vaso / terra	Soffice, drenante
PIENO SOLE		MEZZ'OMBRA		LEGGERA OMBRA		

Tab.III.79 – Sono qui elencate le principali caratteristiche idriche, pedologiche e della necessità di soleggiamento di alcune specie vegetali per l'inverdimento parietale, raccomandate dalla ditta *Geoplast*. (Rielaborazione da: <http://newsite.geoplast.it/ita/verde/wall-y/wall-y-inverdimento.html>)

III.3. Freestanding living walls

Un caso particolare, che sottende tutte le caratteristiche finora descritte tranne quella del diretto collegamento alle chiusure edilizie, è quello dei *freestanding living walls*. Esso è un sistema

relativamente semplice, che consiste nell'integrazione architettonica fra strutture adeguatamente conformate e sistemi vegetali ospitati in superficie, e può essere tradotto in lingua italiana con la dicitura di "Verde Verticale Libero Autoportante". Un *freestanding living wall*, come i rivestimenti a verde, può adottare molteplici modalità di verticalizzazione vegetale⁵⁵, nonché differenti forme d'inverdimento rampicante o decombente: è quindi possibile indicare questa particolare categoria di strutture collaboranti fra vegetazione e architettura come un sottogruppo dei rivestimenti a verde. Anch'esso deriva dall'antichità – le pergole greche e romane altro non erano che forme archetipiche di Verde Verticale libero – e sta conoscendo numerose sperimentazioni di rivisitazione contemporanea (Fig.III.80).



Fig.III.80 – A sinistra: esempio di pergola rivisitata con tecniche e materiali moderni. Le strutture portanti sono in acciaio zincato, mentre gli elementi lignei di completamento sono di larice non trattato. I supporti verticali e orizzontali della pergola favoriscono la verticalizzazione delle piante.

Fig.III.81 – A destra: Giancarlo De Carlo, recupero del monastero di San Nicolò l'Arena, Catania, 1986-2004. L'installazione antistante la biblioteca dell'Università è stata concepita per creare una commistione tra architettura e natura: le colonne di acciaio bianco sono tamponate da cavi metallici tesi ed orizzontali, per favorire lo sviluppo in verticale del sistema vegetale.

Queste tipologie di sistemi possono essere molto semplici o anche relativamente complesse in funzione della grandezza o dell'uso per il quale vengono realizzate, e necessitano delle stesse attenzioni progettuali, costruttive e manutentive che entrano in gioco nella realizzazione di un rivestimento vegetale. L'esempio più semplice di Verde Verticale libero può essere rappresentato dalle recinzioni invedite che sovente si usano come delimitazione di proprietà, ma esistono anche delle forme maggiormente complesse e impegnative dal punto di vista della realizzazione. Tali tipologie di strutture tridimensionali o spaziali integranti vegetazione sono spesso usate in ambito di arredo urbano (Fig.III.81) in quanto, oltre ad essere particolarmente versatili, permettono interessanti possibilità d'intervento paesaggistico (Fig.III.82). Possono inoltre venire prolificamente impiegate nella creazione di installazioni associate a precisi scopi funzionali (Fig.III.92), come l'ombreggiamento di

⁵⁵ Cioè tutte quelle finora descritte.

percorsi e spazi aperti, l'inverdimento di ambienti urbani, o l'integrazione in verticale di parchi in contesti fortemente antropizzati (Fig.III.83).



Fig.III.82 – *Voliera* presso i *Giardini di Castel Trauttmansdorff*, Merano (BZ). Esempio di Verde Verticale libero autoportante finalizzato all'inserimento paesaggistico. Tutte le parti dell'installazione sono realizzate in strutture e graticci di acciaio zincato, al fine di poter essere completamente invasi col tempo dalla vegetazione naturale del parco. La foto risale al 2006, quando l'installazione era stata da poco completata. Oggi tale struttura risulta quasi completamente rivestita dalla vegetazione del giardino botanico.



Fig.III.83 – Burckhardt + AG Architekten, *MFO Park*, Zurigo (Svizzera), 2002. Come da definizione dei progettisti, questo è un «parco tridimensionale multipiano» situato nella periferia della città: scelta attuata con la volontà di massimizzare l'area verde praticabile. Come dimensione e volumetrie, questa installazione occupa esattamente lo stesso spazio dell'opificio industriale che in precedenza insisteva sull'area. Nell'immagine di sinistra una veduta del manufatto dalla strada che lo circonda; a destra una vista dall'interno: si notino le passerelle a sbalzo e le scalinate sospese. (Fonte: Giovanni Avosani)

III.4. Impiegare un rivestimento vegetale per precisi scopi funzionali

I rivestimenti vegetali sono sistemi dalle indiscutibili doti estetiche e paesaggistiche, ed aprono il campo a un notevole ventaglio di possibilità compositive o morfologiche a favore dell'architettura. In forza dell'azione benefica e diretta del verde a servizio degli spazi, o di quella sinergica e ancor più accentuata rappresentata dalla collaborazione tra vegetazione e involucro edilizio⁵⁶, esiste la possibilità di uno sfruttamento delle piante ad un livello ancora maggiore e più interessante di quello finalizzato alla semplice introduzione di vegetazione nel progetto al solo scopo estetico o decorativo, e cioè quello di impiegare i rivestimenti a verde per fornire una risposta progettuale a precise esigenze funzionali. Risposte progettuali quindi mediate dall'uso mirato di sistemi vegetali, implicante perciò un minor impatto delle conseguenze ambientali legate all'edificazione.

Nel presente paragrafo verranno prese in considerazione quelle modalità progettuali e costruttive che introducono la vegetazione nel progetto per sfruttarne le doti attive e passive di mitigazione ambientale o climatica. Le funzionalità di tipo *passivo* sono quelle riconducibili alla sola presenza fisica della vegetazione, riuscendo essa a garantire una serie di prestazioni (come schermatura della radiazione solare e conseguente riduzione degli scambi energetici tra edificio e ambiente esterno, diminuzione delle temperature superficiali e radianti delle chiusure da essa interessate, abbassamento dei flussi energetici di picco o nell'intero arco della giornata, contenimento dei consumi energetici, minori temperature interne e attenuazione delle asimmetrie termiche radianti) solamente grazie al fatto di essere adeguatamente collocata in un ambiente o su una chiusura edilizia. Esistono inoltre dei fenomeni imputabili alla fisiologia vegetale, messi quindi in gioco dai sistemi vegetali in forza di vere e proprie azioni che essi svolgono per vivere, definibili perciò come comportamenti *attivi*: essi sono l'evapotraspirazione naturale dei tessuti vegetali, la riduzione di CO₂ e degli inquinanti atmosferici conseguentemente alla fotosintesi clorofilliana, l'influenza sull'umidità atmosferica, ecc⁵⁷.

L'integrazione fra apparati vegetali e sistemi tecnologici o edilizi, seppur conosciuta e impiegata da lungo tempo, sta oggi conoscendo un periodo di sviluppo accentuato. Sviluppo dipendente dalle modalità progettuali ed operative legate ai paradigmi dettati dalla sostenibilità ambientale, al fine di poter sfruttare in modo strategico, nel progetto d'architettura, le molteplici possibilità conseguenti ad un uso mirato e intelligente della vegetazione.

III.4.1. Utilizzo dei rivestimenti vegetali come schermatura solare

Impiegare un rivestimento a verde come schermatura dall'azione diretta del soleggiamento consiste nell'impiego strategico – opportunamente studiato e valutato – delle tecnologie descritte in questo capitolo, affinché le piante possano interporre fisicamente al flusso solare diretto e alla radiazione esercitata dal sole, bloccandole completamente o modulandole. Dal punto di vista tecnologico, tale strategia consiste nell'applicazione di un rivestimento vegetale all'esterno⁵⁸ di una chiusura edilizia

⁵⁶ Si rimanda al sesto capitolo per la trattazione dei vantaggi derivanti dalla commistione tra architettura e vegetazione.

⁵⁷ I comportamenti relativi ai sistemi vegetali e qui declinati come *attivi* o *passivi* saranno oggetto di specifica trattazione nel capitolo VI.

⁵⁸ È sempre consigliabile, per le nostre regioni geografiche ed aree climatiche tendenzialmente temperate, collocare una schermatura solare (di qualsiasi materiale o tipologia essa possa essere) all'esterno della superficie trasparente da proteggere. Ciò è riconducibile al fatto che un qualsivoglia elemento frangisole tende a scaldarsi

opaca o trasparente (Fig.III.84), con la finalità di trattenere il contestuale flusso energetico che altrimenti l'attraverserebbe: flusso che altrimenti penetrerebbe (per conduzione, convezione o irraggiamento, o mediante l'azione combinata di alcuni o di tutti questi fattori) all'interno del manufatto, alzandone la temperatura e pregiudicandone il comfort per gli occupanti.

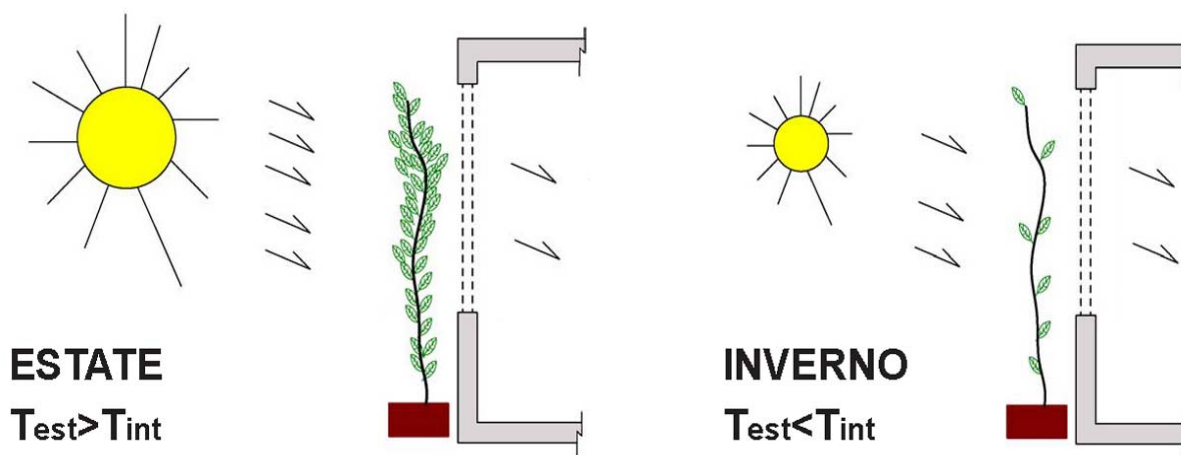


Fig.III.84 – Schema dello sfruttamento di vegetazione decidua come schermatura solare per chiusure trasparenti. Durante l'estate (a sinistra), quando la temperatura esterna è maggiore di quella di comfort per le persone, gli apparati fogliari delle piante bloccano gran parte della radiazione impedendogli l'ingresso nell'edificio. In inverno (a destra), essendo la pianta sprovvista di foglie, i raggi solari possono penetrare nel manufatto contribuendo al riscaldamento ambientale passivo. (Rielaborazione da: STEC, W.J., et al., "Modelling the double skin facade with plants", in bibl., pp.420-421)

Una schermatura realizzata mediante sistemi vegetali funzionerà esattamente come un qualsiasi altro elemento di protezione solare, cioè modulando il flusso energetico che interessa una data chiusura edilizia: si sfrutteranno quindi, in questo caso, le funzionalità *passive* delle piante. Però essa, se adeguatamente conformata, opererà meglio di altri sistemi frangisole realizzati con materiali non vegetali, grazie alle doti attive dei sistemi vegetali: infatti – come spiegato in modo più esteso all'interno del sesto capitolo – le azioni fisiologiche *attive* delle piante gli permettono di presentare delle temperature superficiali sempre vicine a quelle dell'aria esterna (e quindi molto inferiori delle temperature riconducibili a schermi solari realizzati mediante materiali convenzionali), di intercettare maggiori quote di flusso solare grazie alla proprietà del fototropismo⁵⁹ vegetale, nonché di incidere direttamente sulla qualità dell'aria.

sotto l'effetto del soleggiamento sia diretto che indiretto, andando poi a ri-emettere calore sottoforma di radiazione infrarossa nell'ambiente dove esso si trova, e quindi scaldandolo.

⁵⁹ Il fototropismo è il comportamento fisiologico delle piante secondo il quale gli apparati fogliari tendono ad assumere una configurazione quanto più favorevole all'irraggiamento solare, al fine di massimizzare l'acquisizione energetica per poter garantire i processi di fotosintesi clorofilliana. Conseguentemente a tale comportamento le foglie tendono a disporsi perpendicolarmente allo stimolo luminoso: così facendo la quantità di radiazione che raggiunge la retrostante chiusura edilizia viene a diminuire. Tale proprietà naturale è paragonabile al comportamento di un vero e proprio schermo "mobile" che si auto-regola a seconda della posizione solare.



Fig.III.85 – A sinistra. *Punto di Informazione ed Accoglienza Turistica* di Lignano Sabbiadoro (UD). Il rivestimento vegetale sempreverde ha qui un impiego dalla duplice valenza: viene utilizzato per la schermatura sia delle chiusure opache in calcestruzzo armato, che delle grandi logge trasparenti. Nel caso delle superfici vetrate, visto l'impiego di una pianta che non perde mai le foglie, sarà opportuno razionalizzare l'attività di potatura delle propaggini davanti alle finestre, se non si vuole compromettere la possibilità di acquisizione passiva dell'energia solare durante l'inverno.

Fig.III.86 – A destra. *Laboratori Chelab*, Resana (TV). Vista della schermatura a verde esposta a Sud, realizzata mediante una struttura metallica di supporto per specie rampicanti: si è adottato in questo caso un rivestimento vegetale distaccato dalla facciata. Da notare che il progettista, probabilmente non fidandosi molto delle garanzie schermanti offerte dalla vegetazione, ha preferito dotare le finestre anche di un sistema frangisole convenzionale. (Fonte: Carlo Bordini)

Sarà importante selezionare opportunamente i vegetali da collocare come protezione solare, tenendo conto delle caratteristiche sia delle piante (che non dovranno soffrire il maggiore o minore livello di soleggiamento o temperatura) che della tipologia di chiusure da schermare. È evidente come il comportamento richiesto alle piante debba variare a seconda delle caratteristiche di chiusura e della regione geografica d'inserimento. Per una superficie opaca potrebbero essere impiegate specie a fogliazione sia decidua che sempreverde (Fig.III.85): l'importante sarà soprattutto che tali vegetali presenzino durante la stagione calda, impedendo a una parte del flusso energetico di penetrare nell'edificio proprio quando, alle latitudini nazionali, il soleggiamento può rivelarsi critico. In inverno, le propaggini eventualmente presenti (nel caso di fogliazione sempreverde), possono essere considerate uno strato supplementare a quelli che compongono la chiusura, e quindi un apparato che presenterà delle intrinseche proprietà di resistenza termica. Si ritiene comunque che, in base alle attuali pratiche edilizie, l'impiego di specie sempreverdi in funzione della conservazione energetica invernale possa essere considerato del tutto facoltativo⁶⁰.

Nel caso di chiusure trasparenti (Fig.III.86) è opportuno che la schermatura a verde sia realizzata mediante specie decidue (e preferibilmente autoctone, in modo da essere sempre in equilibrio con la

⁶⁰ Lo specifico argomento della selezione fogliare in funzione delle diverse stagioni è trattato nel paragrafo VI.2.5

stagionalità). Così facendo, esse permetteranno sia la protezione solare nei mesi caldi, in cui il soleggiamento diventa un problema per la gestione climatica di un edificio, che l'acquisizione solare nei mesi invernali. Le presenti considerazioni sono valide per i climi temperati caratterizzanti la maggioranza del territorio italiano, ma potrebbero discostarsi anche di molto nel caso fosse necessario progettare un rivestimento vegetale destinato ad altre aree climatiche o provenienze geografiche.



Fig.III.87 – A sinistra. Matteo Thun, Terme di Merano (BZ), 2005: scala di accesso al parcheggio interrato. Esempio di rivestimento a verde impiegato per la schermatura di chiusure trasparenti. Nel sopraluce della porta d'ingresso, l'incompleto sviluppo del sistema vegetale lascia intravedere il reticolo di cavi destinato al supporto delle propaggini della pianta.

Fig.III.88 – A destra. Matteo Thun, Terme di Merano (BZ), 2005. Vista dall'interno del vano scala per l'accesso al parcheggio interrato. L'apparato vegetale, oltre ad essere un efficiente sistema di schermatura solare, offre interessanti possibilità di caratterizzazione figurativa anche per gli spazi interni da esso interessati.

Ulteriore motivazione per cui un rivestimento vegetale a protezione di chiusure trasparenti possa rivelarsi un'opzione interessante, è quello della qualità dell'illuminazione nei confronti degli ambienti interni. Il colore verde si rivela particolarmente efficiente per la trasmissione luminosa⁶¹, se impiegato in elementi di schermatura alla radiazione solare. Esso è, infatti, il colore che garantisce contemporaneamente sia le migliori qualità schermanti del flusso solare diretto verso l'interno (che, nei casi di soleggiamenti molto forti tipici della stagione estiva, potrebbe creare dei *discomfort* visuali o termici), sia un maggiore equilibrio delle luminanze: ciò si traduce in una trasmissione luminosa di più elevata qualità⁶². Questo accade perché, solitamente, una quantità non troppo alta di luce in ambiente si rivela sufficiente a garantirvi un'ideale qualità dell'illuminazione naturale, mentre, al contrario, un flusso luminoso eccessivo potrebbe essere fastidioso per l'utenza.

⁶¹ Lo stesso accade anche per il colore marrone e tutti i colori tendenti allo scuro, ma non per il nero in quanto tonalità *eccessivamente* scura.

⁶² ROGORA, ALESSANDRO, "Eco Buildings in Hot Climate – EQUILIBRIO TRA ILLUMINAZIONE ED APPORTI SOLARI PER IL COMFORT VISIVO", Atti del convegno *In Case Of Sun*, Bolzano, Libera Università di Bolzano, 29 aprile 2010.

Per lo stesso motivo, e volendo compiere un parallelismo storico con un altro elemento schermante tipico della tradizione mediterranea, è possibile ricordare come anche nel caso delle persiane tradizionali il colore dominante fosse il verde scuro (o il marrone). Una persiana eccessivamente chiara, proiettando troppa luce all'interno dell'edificio, creerebbe degli effetti di abbagliamento o disturbo alla vista: per di più, tale radiazione penetrante andrebbe a tramutarsi in calore quando re-irradiata dagli oggetti ubicati nella stanza. Anche l'impiego di tonalità più scure non ha conosciuto un'affermazione storica, in quanto un colore tendente al nero provocherebbe l'eccessivo assorbimento energetico da parte della schermatura stessa, unitamente ad una bassa trasmissione luminosa verso gli ambienti.



Fig.III.89 – Arnold Gapp, Edificio polifunzionale a Marleno (BZ): vista verso l'entrata della biblioteca. La schermatura del *curtain wall* vetrato esposto a Sud è risolta mediante un rivestimento vegetale in distacco.

Fig.III.90 – Arnold Gapp, Edificio polifunzionale a Marleno (BZ): dettaglio della struttura di supporto alla vegetazione e della sua connessione alla copertura, anch'essa frangisole. Oltre ai pilastri metallici portanti sono visibili dei cavi tesi verticali, che consentono di ottenere con le piante di glicine una maggiore superficie schermante.



Fig.III.91 – Formwerkz Architects, *Maximum Garden House*, Singapore, 2010. Al secondo piano, in corrispondenza della camera padronale, è presente una facciata a verde finalizzata alla schermatura solare. Tale frangisole, posizionato davanti ad una grande chiusura trasparente ubicata nel bagno (foto di destra), è ottenuto mediante fiorire equidistanti in altezza e contenenti specie decombenti. (Fonte: <http://www.archdaily.com>)

III.4.2. Rinaturalizzazione architettonica-ambientale e riqualificazione edilizia

La relativa semplicità tecnologica di un rivestimento vegetale, unitamente alle indiscutibili doti estetiche ad esso associabili lo configurano come elemento interessante per tutte le tipologie di opere architettoniche collocabili a posteriori su un edificio o in un ambiente. I rivestimenti a verde, avendo come caratteristica fondante quella di ospitare l'elemento vegetale (e quindi, di conseguenza, anche tutte le sue intrinseche caratteristiche fisiologiche attive e passive) ben si prestano ad essere integrati a edifici o spazi pubblici esistenti, portando come valore aggiunto le potenzialità prestazionali relative alla vegetazione. Queste caratteristiche potrebbero perciò divenire assai interessanti per due campi d'applicazione diversi, seppur dai limiti definibili in maniera non proprio così netta, ossia rinaturalizzazione ambientale e riqualificazione edilizia.

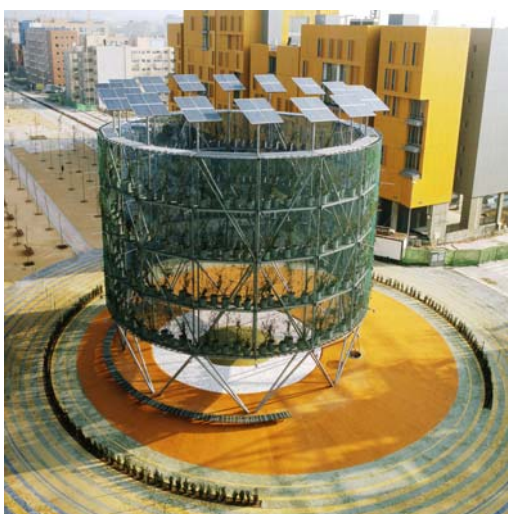


Fig.III.92 – A sinistra. Ecosistema Urbano, *Ecoboulevard*, Madrid (Spagna), 2004. Installazione multipiano contenente specie rampicanti sempreverdi sistemate in vaso: la struttura portante di travi e pilastri è in metallo zincato, e tamponata da una rete anch'essa metallica. L'edificio espleta tre funzioni contemporaneamente: rinaturalizzazione dello spazio urbano; ombreggiamento dei percorsi pedonali; ossigenazione e raffreddamento dell'aria mediante l'attività fisiologica delle piante. (Fonte: http://www.plataformaarquitectura.cl/wp-content/uploads/2007/12/891828779_ecosistemaurbano_boulevard-3.jpg)

Fig.III.93 – A destra. Esposizione Internazionale di Saragozza, Spagna, 2008. Vista del cantiere di un albergo situato nello spazio prospiciente all'esposizione. La grande struttura dalle forme fluide in calcestruzzo armato fibrorinforzato sarà destinata ad accogliere un rivestimento vegetale: la funzione di tale elemento è quella della mitigazione sonora, visto che l'edificio si trova in un contesto sensibile, ossia proprio davanti a una grande via di scorrimento. (Fonte: Giovanni Zannoni)

Conseguentemente al fatto che nel recente passato le valenze ambientali legate all'impiego della vegetazione siano state dimenticate per anni, accade oggi, anche in seguito alla messa in evidenza delle contingenze ambientali contemporanee, che le amministrazioni di molte conurbazioni promuovano la rinaturalizzazione – e cioè l'aumento della percentuale di verde all'interno di un dato luogo o spazio – dei propri territori: spinta alla rinaturalizzazione dovuta non solo alle doti estetiche legate alla presenza del verde in un dato spazio, ma anche all'associazione della sua esistenza a valenze ambientali o di qualità atmosferica. Inoltre, anche l'aspetto sociale della natura in ambito

urbano è importante, in quanto le persone si identificano nella fruizione o nella semplice vista della vegetazione e gli riconoscono una valenza igienica all'interno di agglomerati urbani che vengono sempre più percepiti come degli elementi pericolosi o deleteri per la salute umana. Una tecnologia "viva" come quella dei rivestimenti vegetali diviene perciò assai importante, specialmente se si considera la sua possibilità d'installazione a posteriori non particolarmente difficile o onerosa, e la possibilità di inverdire facciate edilizie o quinte urbane anche dove non sarebbe possibile intervenire con degli elementi di verde "orizzontale" o parchi pubblici⁶³. È per questo che la modalità privilegiata nell'impiego dei rivestimenti vegetali per la rinaturalizzazione ambientale sarà proprio identificabile con un suo impiego in ambito urbano o metropolitano (Fig.III.92), o particolarmente adatta per contesti sensibili dal punto di vista dell'inquinamento atmosferico, acustico o visuale (Fig.III.93).



Fig.III.94 – A sinistra. Jaime Crispì, Miguel A. Herrero, di Sicilia Arquitectura, *Jardin en Altura Delicias*, Saragozza (Spagna), 2010. Parco urbano multipiano: per ottimizzare il poco spazio a disposizione si è optato per la moltiplicazione dei livelli praticabili, impiegando tecnologie di rivestimento e copertura a verde.

(Fonte: http://www.heraldo.es/uploads/imagenes/bajacalidad/_jardinvertical2_3f6010c0.jpg)

Fig.III.95 – A destra. Bruno Stagno y Asociados, *Edificio Pergola Tribu*, San Antonio de Bélen (Costarica), 2004. Esempio di *retrofitting* architettonico. L'edificio fu consegnato all'architetto già completo in tutte le sue parti: l'unico lavoro eseguito da Stagno è stata la progettazione di un rivestimento vegetale di facciata come sistema di schermatura solare. (Fonte: BELLINI, OSCAR E., DAGLIO, LAURA, *Verde Verticale*, in bibl., p.76)

Ulteriore possibilità d'impiego a posteriori di strutture del genere è quello alla scala edilizia, ossia su manufatti architettonici. I rivestimenti vegetali si prestano bene al *retrofitting* per edifici esistenti, sia che la finalità del cantiere sia dovuta a motivi di miglioramento del sistema funzionale-spaziale che di quello energetico-tecnologico. Valenze, queste, peraltro rigide e distinguibili solo a livello di definizione: come visto (e definito con maggiore precisione e dati scientifici nel capitolo VI), l'applicazione di un sistema vegetale a un involucro architettonico fornirà sempre delle valenze a

⁶³ Si precisa che non si ha la pretesa di insinuare che il Verde Verticale possa considerarsi un'alternativa paritetica al verde "orizzontale", o un suo surrogato. La questione è che in alcuni casi di conurbazioni particolarmente edificate non si hanno a disposizione spazi liberi dove intervenire realizzando parchi urbani di adeguate dimensioni perciò, in casi molto estremi, la verticalizzazione vegetale potrebbe anche essere considerata opzione apprezzabile per riportare la vegetazione all'interno di città o metropoli. Cfr. Fig.III.83 e Fig.III.94

carattere prestazionale-ambientale nei confronti sia degli ambienti interni che di quelli esterni; viceversa, un'applicazione a scopi meramente tecnologici del rivestimento avrà comunque sempre delle apprezzabili ricadute formali sull'immagine definitiva del manufatto destinato all'opera di risanamento (Fig.III.95).

Le lavorazioni di cantiere relative all'installazione di un rivestimento vegetale su un manufatto esistente sono, vista la semplicità e la limitatezza numerica dei componenti che servono a realizzarlo, poche e tutto sommato facili da eseguire. E perciò anche relativamente economiche. Sia che si opti per realizzare una struttura di supporto *ad hoc*, sia che si scelga di appoggiarsi a produttori che forniscono sistemi industrializzati, esse consisteranno sostanzialmente nella messa in opera del sottosistema di supporto. Messa in opera che si traduce nel posizionamento e fissaggio (che, come visto, viene quasi sempre eseguito mediante tasselli meccanici e chimici) di strutture principali, reti o cavi, eventuali vasi in quota o a terra, prima di procedere all'impianto dei vegetali prescelti. Messa a dimora dei vegetali che, come già detto, dovrebbe essere sempre assistita da una figura professionale esperta di piante.



Fig.III.96 – Enrique Browne y Asociados, *Los Conquistadores*, Santiago (Chile), 1997. Da sinistra verso destra: foto dell'edificio prima e dopo l'intervento di recupero. Le chiusure verticali e superiori dell'edificio sono state completamente avviluppate da una pelle verde che si svincola dall'andamento delle chiusure per raggiungere delle configurazioni formali e volumetriche autonome. (Fonte: CORRADO, MAURIZIO (a cura di), *Il verde verticale*, in bibl., pp.204-205)

La messa in opera della struttura del rivestimento potrebbe anche avvenire direttamente sopra la parete esistente, senza che questa riceva delle lavorazioni preventive particolari (ovviamente solo dopo che sia stata verificata un'adeguata resistenza meccanica di quest'ultima). Attività aggiuntive a quelle finora descritte potrebbero essere rappresentate dall'irrigidimento della chiusura interessata dall'inverdimento – cosa che accade raramente e solo nel caso di rivestimenti particolarmente complessi e pesanti –, o dall'eventuale dotazione al rivestimento di una fondazione propria (Fig.III.73).

Altra aspetto interessante dal punto di vista formale, che interessa tale tecnologia in merito alle attività di recupero di manufatti esistenti, è la possibilità di donare nuove configurazioni morfologiche all'edificio senza variarne, di fatto, la volumetria (Fig.III.96). Infatti, la pelle verde derivante dalla struttura di rivestimento, potrebbe essere utilizzata come un vero e proprio elemento architettonico per la creazione di inedite configurazioni formali ad un manufatto oggetto di *retrofitting*. Mediante la

strategia progettuale di svincolare la struttura a verde da quella che è la conformazione delle chiusure dell'edificio originario, è possibile modificare la percezione esterna dell'oggetto senza modificarne l'area o il volume⁶⁴.



Fig.III.97 – Arhitektura Krušec, *Celje Power Plant*, Celje (Slovenia), 2005. Annesso industriale (di nuova edificazione) in cui le chiusure verticali verranno, col trascorrere del tempo, completamente rivestite dalle piante. Anche in questo caso l'andamento del sottosistema deputato ad accogliere i vegetali si discosta da quello delle pareti per assumere una configurazione autonoma. (Fonte: <http://www.archdaily.com>)

Fig.III.98 – Arhitektura Krušec, *Celje Power Plant*, Celje (Slovenia), 2005. Dettaglio del sottosistema metallico d'inverdimento, realizzato mediante una rete a maglia fitta intervallata da correnti orizzontali metallici equidistanti. La particolarità di questo progetto consiste nel fatto che le propaggini della pianta di vite vergine potranno ricoprire entrambe le facce della struttura di rivestimento. Corretta anche la scelta di eseguire la struttura di rivestimento con un colore chiaro. (Fonte: <http://www.archdaily.com>)

III.5. Le alternative tecniche

I sistemi tecnologici che permettono di rivestire facciate o pareti edilizie mediante l'integrazione tra specie vegetali ed apparati architettonici esistono da lungo tempo, ma stanno oggi conoscendo una forte attività d'innovazione interna al settore. Rinnovamento prodotto a seguito di una reiterata azione di ricerca e implementazione di prodotti o processi, da parte sia dell'industria che degli operatori della progettazione architettonica.

Seppur le caratteristiche principali del sistema rimangano pressoché inalterate – le tre parti che lo realizzano sono sempre la componente vegetale e la struttura di supporto ad essa deputata, oltre che la chiusura edilizia da inverdire –, una forte attività d'innovazione si traduce, a livello globale, nell'industrializzazione produttiva o processuale dei sistemi destinati alla realizzazione. Dunque, il progettista che debba misurarsi oggi con la concretizzazione di un rivestimento vegetale moderno, come quelli dalle caratteristiche fin qui descritte, ha due possibilità: la prima consiste nel progettare *ad*

⁶⁴ Anche la sede di *Caruzzo & Associati* (Fig.III.21) realizzata da CBA Progetti e l'edificio *Ex Ducati* di Mario Cucinella Architects (Fig.III.61) impiegano questa strategia progettuale.

hoc e far realizzare, da un artigiano o industrialmente, tutti i componenti o le strutture di cui abbisogni, compreso l'acquisto e la messa a dimora del sistema vegetale (mediante la collaborazione di un agronomo o quantomeno tramite il vivaista di fiducia⁶⁵); l'altra possibilità – di gran lunga quella che sta prendendo sempre più piede soprattutto ai livelli medi di professionalità – è quella di affidarsi ad aziende che si occupino della realizzazione e della commercializzazione di sistemi industrializzati: ditte dalla proposta spesso ambivalente o differenziata, traducibile sia in prodotti immutabili che adeguatamente flessibili, in modo da poter assecondare particolari richieste progettuali⁶⁶. Nel caso specifico, le stesse aziende produttrici solitamente propongono anche *range* più o meno forniti di specie vegetali associabili ai propri prodotti, e con le quali sono solite operare: nel caso di fornitura che comprenda anche il sistema vegetale, tali produttori si impegnano a fornire anche la manutenzione del sistema vegetale per il primo periodo d'impianto, per una durata solitamente variabile da uno a tre anni.



Fig.III.99 – A sinistra. *Confina*, commercializzato da *Poliflor*, è un esempio di *smart green*. Il sistema è composto da una griglia metallica verticale per lo sviluppo di specie rampicanti piantate in un'apposita zolla di substrati compositi, e può essere collocato sia a terra che in vasi in quota. Trattasi di un sistema modulare, componibile e pronto-effetto.

Fig.III.100 – A destra. Atelier Kempe Thill, *Hedge Building*, Rostock (Germania), 2003: padiglione olandese presso la *Intenational Garden Exhibition*. L'intera installazione è realizzata mediante una struttura metallica di travi e pilastri, che contiene a sua volta dei pannelli modulari *smart green* simili a quelli della figura precedente. Tale strategia totalmente prefabbricata ha permesso, tra le altre cose, un tempo breve di cantierizzazione. (Fonte: http://www.arqa.com/wordpress/wp-content/files/2009/09/0021_foto6_245-23.jpg)

Sistemi sempre più industrializzati ed affinati sotto l'aspetto tecnologico ma che, comunque, possono essere fatti rientrare nelle due categorie viste finora, ossia i sistemi a cavi tesati e quelli grigliati (peraltro, entrambi di diretta derivazione storica da quelli che erano i *treillages*⁶⁷ dell'antichità). Industrializzazione ed innovazione di prodotto che primariamente tende a muovere verso la via della

⁶⁵ Esempi di tale modalità operativa potrebbero essere quelli esemplificati in Fig.III.21 o Fig.III.89

⁶⁶ Come ad esempio il progetto in Fig.III.20

⁶⁷ Nel capitolo II è stato descritto che cosa siano e come funzionino sistemi storici d'inverdimento quali *treillages*, *berceau*, pergole classiche, ecc.

modularizzazione, giungendo a produrre sistemi che, pur mantenendo una certa o totale elasticità costruttiva, si compongano di elementi, componenti e misure standard, sia nella realizzazione delle strutture di supporto alla vegetazione che, molto spesso, anche per quel che concerne la componente vegetale: molti produttori, oltre a fornire dei sistemi industrializzati componibili e pronti al montaggio, tentano anche di modularizzare la forma e la crescita dei sistemi vegetali, offrendo la possibilità di inverdimenti pronti all'uso che vengono definiti *smart green* o *pronto-effetto* (Fig.III.99 e Fig.III.100). Con l'appellativo di *smart green* si intende un sistema a verde pre-vegetato in vivaio o presso l'azienda produttrice, che permetta di giungere in cantiere con le piante ad un livello di sviluppo avanzato; in modo da ritrovarsi alla fine dei lavori di edificazione con la parete già provvista di un buon livello di copertura vegetale, così da non dover attendere i tempi tecnici di crescita. Tempi di crescita che possono consistere anche in mesi o anni, a seconda dell'estensione della superficie da inverdire e della velocità fisiologica di sviluppo della specie prescelta⁶⁸.

Tendenza importante nella produzione industriale contemporanea è quella dell'attenzione nel realizzare sistemi semplici e bivalenti, in modo da essere pienamente fruibili sia nelle opere di nuova edificazione che per il recupero dell'esistente⁶⁹ (Fig.III.65). Porre attenzione alle possibilità legate alle opere di recupero edilizio, piuttosto che concentrarsi esclusivamente su quelle che potrebbero essere le nuove edificazioni, significa proporre dei sistemi che siano flessibili e facilmente impiegabili anche in casi o contesti difficoltosi (Fig.III.102), ma senza precludere, però, alcuna possibilità anche per quel che concerne la costruzione del nuovo. Infatti, vista la facilità d'installazione e la brevità dei cantieri contestuale all'impiego a posteriori di sistemi per il rivestimento, ne consegue che tali tecnologie vengano molto impiegate nella pratica corrente per la riqualificazione di facciate di immobili industriali, o per l'inserimento paesaggistico e il mascheramento cromatico di fabbricati a carattere tecnico-industriale (Fig.III.97).

La citata opportunità d'impiego nel *retrofitting* tende ad avere diversi sbocchi possibili, a seconda delle strategie aziendali impiegate nella concretizzazione dei propri prodotti o brevetti. Una scelta molto usata è quella di prevedere dei sistemi di supporto leggeri, quindi facilmente integrabili a tutte, o quasi, le tipologie di chiusura. In quel caso, tale sottosistema di supporto verrà integrato alle pareti mediante l'impiego di tasselli, o conseguentemente all'utilizzo di staffe metalliche, distanziatori, ecc: strutture leggere sia fisicamente che visivamente e che, una volta terminato l'inverdimento, tenderanno a scomparire in favore della presenza vegetale (Fig.III.101).

Il limite della suddetta modalità d'azione è sicuramente rappresentato dalle caratteristiche fisiche e di resistenza della chiusura deputata all'inverdimento, in quanto essa dovrà garantire la portanza necessaria a sostenere il peso combinato di piante e sottosistemi. Il fatto che i sistemi descritti necessitino della componente di resistenza della parete per poter essere messi in opera rappresenta un limite d'azione, in quanto preclude loro la possibilità di venire posizionati su superfici molto grandi che richiedano impianti in quota e in vaso: come visto in precedenza, le specie rampicanti hanno un limite di altezza massima che si aggira sui 20-25 metri, quindi se la superficie da rivestire risultasse più grande sarebbe necessario operare portando ulteriori impianti vegetali in quota, in modo da aggirare il problema operando mediante la giustapposizione verticale di più fasce a verde.

⁶⁸ Si veda a tal proposito il paragrafo III.2.1.3

⁶⁹ Non si dimentichi che oggi in molte nazioni, come ad esempio anche in Italia, le attività di recupero edilizio superano l'ammontare di quelle di nuova edificazione.



Fig.III.101 – A sinistra. Pannello modulare *Greenscreen*. Consiste in un elemento metallico grigliato di forma parallelepipedica per il supporto di specie rampicanti. Esso è integrabile a qualsiasi tipo di chiusura edilizia esistente o di nuova edificazione mediante montanti metallici, tasselli, staffe, ecc. Può inoltre essere impiegato in modalità *freestanding* tramite appositi supporti verticali. (Fonte: catalogo *Greenscreen*)

Fig.III.102 – A destra. Dettaglio del Sistema per esterni prodotto da *Optima Giardini Pensili*. È composto da una griglia metallica impernata alle superfici di chiusura e destinata a supportare la crescita dei vegetali. Rende possibili impianti sia in quota che a terra. (Rielaborazione da: catalogo *Optima Giardini Pensili*)

Altra possibilità perseguita è quella in cui i produttori optino per realizzare dei sistemi autoportanti a tutti gli effetti, quindi comprensivi di proprio apparato strutturale e/o di fondazione. In tal caso la parete edilizia funzionerà esclusivamente da piano d'appoggio per la nuova struttura di rivestimento, controventandola. I sistemi in questione sono molto più impegnativi dei semplici graticci metallici precedentemente citati, sia dal punto di vista costruttivo che strutturale, e presentano inoltre, a differenza dei suddetti, una valenza architettonica autonoma e ben definita. Questa tipologia consta infatti di vere e proprie intelaiature tridimensionali multipiano atte al supporto del sistema vegetale, anche molto spinte dal punto di vista dimensionale o della portanza. La strategia d'azione necessaria consisterà nel dotare l'edificio di un apparato di supporto che in tutti i casi ne modifichi le dimensioni di pianta (unitamente alle qualità morfologiche e d'immagine): essa non è quindi applicabile in tutti i casi o contesti di progetto, ma la rende particolarmente adatta qualora fosse necessario provvedere a degli impianti in quota dei vegetali. I sistemi in questione risulteranno perciò, nel caso di impianti fuori terra, abbastanza complessi dal punto di vista tecnologico, dovendo obbligatoriamente prevedere anche la presenza di un impianto d'irrigazione automatizzato e di un sistema di drenaggio per l'espulsione dell'acqua in eccesso (da Fig.III.103 a Fig.III.105).

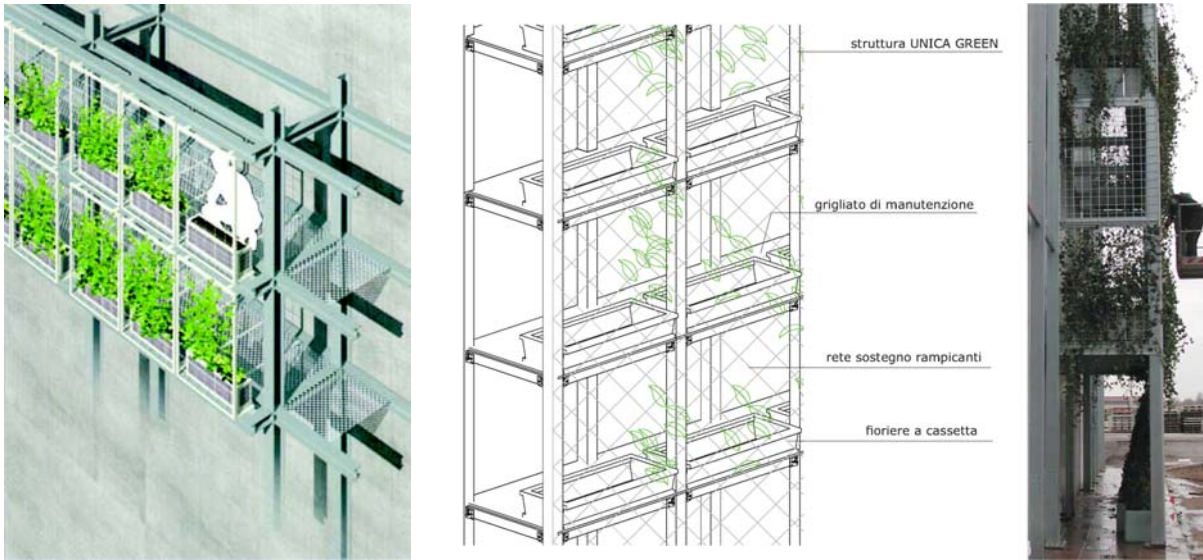


Fig.III.103 – A sinistra: *G-Sky Vine Containers* consta di una struttura metallica autoportante per la messa a dimora in quota di vasche per il contenimento di specie rampicanti. Tale sistema è praticabile – quindi totalmente ispezionabile e facilmente agibile – ma necessita di fondazioni autonome: cosa che, in alcuni casi, potrebbe rivelarsi un limite. (Fonte: catalogo *G-Sky*)

Fig.III.104 – A destra: *Unica Green* prodotto da *Designering*, consiste in un sistema prefabbricato per l'applicazione in *retrofitting* su facciate edilizie. La struttura è composta da montanti e correnti tubolari in acciaio zincato, e contiene ad ogni interpiano fioriere e grigliati verticali per la messa a dimora di specie rampicanti. Si noti la somiglianza col sistema della figura precedente, nato molto prima. (Fonte: catalogo *Unica*)



Fig.III.105 – A sinistra. *Sistema per esterni* prodotto da *Optima Giardini Pensili*. È composto da un'intelaiatura metallica contenente i sottosistemi necessari per la messa a dimora di specie vegetali rampicanti o decumbenti. Vista la conformazione strutturale esso potrebbe essere adottato sia per la messa a dimora in piena terra che in quota, semplicemente dotando o meno la struttura di apposite vasche (in bianco nella foto) per il contenimento del substrato d'impianto.

Fig.III.106 – A destra. *Loop.pH*, *MetabolyCity*, 2009. Ricerca avente l'obiettivo di «sviluppare esperienze progettuali finalizzate a riportare la produzione agricola all'interno delle città». Il sistema *ArchiLace* qui raffigurato consiste in una maglia spaziale a matrice polimerica, che funge da supporto alla crescita di vegetazione ortofrutticola. La struttura, essendo leggerissima ed autoportante, può essere installata ovunque ci sia dello spazio libero, sia in modalità *freestanding* che in appoggio a strutture esistenti. (Fonte: <http://www.metabolycity.com>)

Se le tecnologie per il rivestimento vegetale stanno oggi conoscendo una profonda innovazione per quanto riguarda le modalità di industrializzazione di processo e di prodotto, o di rapporto col cliente, altra caratteristica degna di nota è quella delle materie impiegate per la costruzione. Seppur i materiali metallici – nella fattispecie acciaio zincato, acciaio inox e alluminio – continuano ad essere quelli largamente più utilizzati, è sicuramente vero che essi debbano essere impiegati nel pieno rispetto della pianta, con la quale dovranno interfacciarsi per l'intero ciclo di vita del rivestimento. Cosa non sempre semplice a causa dei motivi già illustrati in precedenza⁷⁰. È quindi oggigiorno registrabile la migrazione da parte di alcuni produttori verso sistemi che impieghino elementi a matrice polimerica (ad esempio PVC, FPR, ecc), per l'intero sistema o per parti di esso (Fig.III.107 e Fig.III.65).



Fig.III.107 – A sinistra. *Wall-y* è un sistema modulare in polietilene ad alta densità. È possibile optare per la scelta di moduli di colore bianco o verde a seconda delle necessità: entrambi questi colori si rivelano ottimali dal punto di vista della neutralità interattiva nei confronti della pianta, in quanto il primo si scalda molto poco per effetto del soleggiamento, mentre l'altro è il colore proprio dei vegetali. *Wall-y* permette la messa a dimora vegetale – rampicante o decombente – in quota o a livello del terreno.

Fig.III.108 – In centro. *Wall-up* è un sistema per la messa a dimora in quota di specie a portamento decombente. Esso presenta una propria sottostruttura portante in alluminio e andrà integrato alla chiusura edilizia nella maniera più opportuna, dipendentemente dalla composizione tecnologica di questa.

Fig.III.109 – A destra. *South Face* prodotto da *IlCantiere*. Sistema per l'integrazione parietale di specie vegetali a portamento decombente. Il sistema è composto da elementi modulari in calcestruzzo prefabbricato contenenti delle «tasche» per l'alloggiamento in quota di piante e substrati. (Fonte: <http://www.ilcantieresrl.it>)

Tali sistemi a matrice polimerica – seppur tendenzialmente svantaggiosi sotto aspetti quali l'*energia incorporata*⁷¹ ed il costo maggiore – offrono ottimali garanzie di collaborazione tra il

⁷⁰ Si veda a tal proposito il paragrafo III.2.3.2

⁷¹ Con la locuzione *energia incorporata* (o *energia grigia*; *embodied energy* nella dicitura inglese) si definisce la misura dell'energia utilizzata nel ciclo di produzione dei materiali fino al loro utilizzo finale, ossia il differenziale energetico proporzionale caratterizzante la produzione e/o gestione di un materiale piuttosto che un altro. Per quanto riguarda gli edifici essa può essere distinta in *energia incorporata iniziale* – quella utilizzata in sede di produzione – ed *energia incorporata per manutenzione e ricambio dei materiali*, cioè quella interessante il ciclo di

sottosistema tecnologico e le specie vegetali impiegate in quanto i polimeri, oltre ad essere stabili dal punto di vista chimico e dimensionale, presentano doti quali la leggerezza e il mantenimento delle temperature superficiali a livelli molto inferiori rispetto a quelle di acciaio o altri materiali a base metallica. È per tal motivo che l'innovazione probabilmente più interessante che caratterizza l'industrializzazione dei sistemi per il rivestimento vegetale è quella dell'impiego dei polimeri.



Fig.III.110 – A sinistra. *Unica Green Flower Box* prodotto da *Designering*. Sistema metallico prefabbricato contenente delle vasche che fungono da fioriere per la messa a dimora di specie a portamento decombente, fiori o arbusti di piccole dimensioni. Il sistema è completato da un impianto d'irrigazione e drenaggio. (Fonte: catalogo *Unica*)

Fig.III.111 – A destra. *Pixel* per il rivestimento vegetale mediante specie a portamento decombente. Il sistema è composto da un reticolo metallico di tondini di acciaio, dove possono venire alloggiati dei vasi in PVC delle dimensioni di 15X15 cm contenenti piante e substrati. *Pixel* potrà essere impiegato sia in ambienti interni che all'esterno, previa opportuna integrazione tecnologica alla facciata di destinazione. (Rielaborazione da: CORRADO, MAURIZIO (a cura di), *Il Verde Verticale*, in bibl., p.95)

III.6. Casi di studio

Viene di seguito riportata una selezione di progetti particolarmente interessanti che presentino un rivestimento a verde, al fine di illustrare mediante esempi le possibilità applicative delle tecnologie descritte. Le seguenti *Schede Progetto* vogliono rappresentare uno strumento conoscitivo di ausilio a coloro che, per diversi motivi scientifici od operativi, si interessino all'argomento del Verde Verticale. Esse sono strutturate mediante un *layout* comune, al fine di poter pervenire in modo immediato ed agevole ad un confronto tra i vari casi sia nazionali che internazionali descritti.

vita gestionale di un manufatto. L'*energia incorporata iniziale* è misurata come la quantità di energia non rinnovabile per unità di materiale (o anche componente, o sistema), e può essere espressa in MJ/Kg o kWh/Kg. A titolo di esempio, con l'obiettivo di rendere l'idea della proporzionalità caratterizzante tale concetto, si fa notare come per produrre 1 Kg di mattoni pieni siano necessari 0.79 kWh; per la stessa quantità di legno strutturale sono necessari 3.89 kWh; mentre per 1 Kg di alluminio servirebbero 59.72 kWh. Vien da sé che la produzione dell'alluminio implica un quantitativo energetico 75 volte superiore a quello dei mattoni, e 15 volte maggiore di quello del legno (Fonte: Università di Architettura di Valencia, Spagna). Ovviamente, l'altra variabile da considerarsi attentamente nell'approccio critico alla concetto dell'energia grigia sarà il peso specifico dei materiali – si pensi, ad esempio, a quanto è maggiore il peso di una componente strutturale in mattoni pieni, se paragonata ad una di legno –, unitamente a quello delle prestazioni che essi mettono in campo.

Tale schedatura assume interesse specialmente se vagliata alla luce delle molteplici peculiarità e possibilità rappresentate dell'argomento dei rivestimenti a verde, con l'obiettivo non secondario di giungere ad una valutazione dello stato dell'arte tecnico raggiunto dalla tipologie in questione. Schedatura che potrà perciò essere utile a comprendere quali siano le strategie progettuali che architetti di fama sia internazionale che "locale" tendano ad operare quando si misurino con la dotazione di un rivestimento vegetale ai propri progetti.

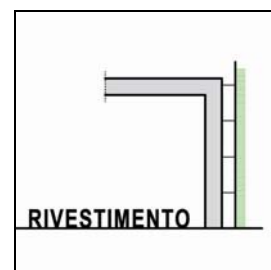
Organizzazione delle Schede Progetto

La schedatura è stata elaborata mediante un *layout* unificato. Tali schede, diverse nella sostanza ma non nella forma, sono composte ognuna da quattro pagine suddivise nelle seguenti parti:

- il nome del progetto ivi schedato, in alto a sinistra della prima delle quattro pagine, diventa il *titolo* della scheda;
- l'*icona tipologica*, posta in alto a destra della prima pagina di ogni Scheda Progetto, indica la tipologia di parete verde che tale sistema rende realizzabile (nei casi riportati all'interno del presente capitolo si tratterà sempre di rivestimenti vegetali);
- il *codice della scheda* riporta una sigla indicante la tipologia di sistema, e reca un numero progressivo finalizzato alla catalogazione. Esso contiene, nello specifico, le seguenti informazioni: *ST* è l'abbreviazione di Scheda Tecnologica; *rv* interessa il particolare tipo di elemento schedato, quindi il rivestimento vegetale; il codice è completato dal numero della scheda;
- vi sono poi i *dati anagrafici* di progetto: progettista, destinazione d'uso, classificazione dell'intervento⁷², committente, localizzazione geografica e anno di realizzazione;
- di seguito la *descrizione testuale* delle caratteristiche dell'edificio. Testo che sarà suddiviso in due sezioni: la prima tendente ad illustrare il progetto, gli assunti o le necessità alla base della sua realizzazione e le principali strategie progettuali adottate; in seconda battuta si descriveranno le particolarità tecnologiche e costruttive della parete a verde;
- ogni scheda viene completata mediante *elaborati di progetto e fotografie* sia generali che di dettaglio, in modo da fornire un adeguato apparato iconografico, alle varie scale di rappresentazione, che possa esplicitare adeguatamente ogni caso riportato.

⁷² Classificazione redatta secondo quanto indicato dal D.P.R. n.380 del 6 giugno 2001, intitolato *Testo unico delle disposizioni legislative e regolamenti in materia di edilizia*. Tale Decreto Presidenziale riportata esattamente, peraltro, la classificazione precedentemente indicata nella Legge n.457 del 5 agosto 1978, *Norme per l'edilizia residenziale*, Art.31. Fonte: <http://www.parlamento.it>

Consorcio Santiago



STrv01

progetto: Enrique Browne y Asociados
destinazione d'uso: uffici
classificazione intervento: nuova costruzione
localizzazione: Santiago, Cile (33°26'16"S, 70°39'01"W)
anno di completamento: 1993
committente: Consorcio Nacional de Seguros

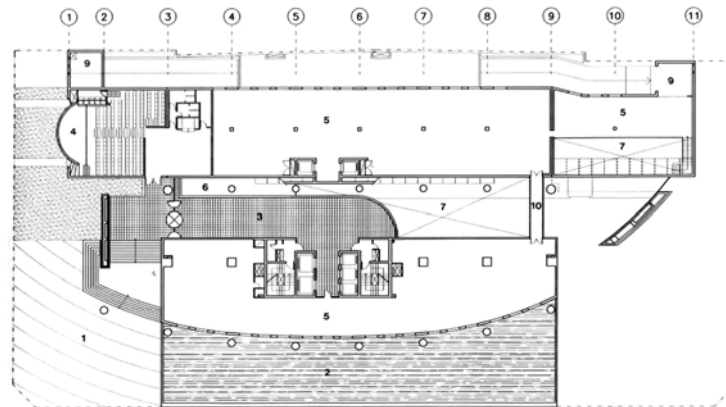
Il progetto

Il lotto su cui sorge l'edificio è delimitato da Avenida El Bosque e da altre due strade di piccole dimensioni, ma il confine virtuale più importante è a Sud, presso Avenida Tobalaba che, insieme al Canal San Carlos, attraversa l'area in diagonale. Il progetto si compone di due volumi morfologicamente allungati in pianta, che sovrastano una galleria contenente gli accessi: un volume comprende tre livelli fuori terra, mentre il corpo principale dell'edificio presenta 17 piani in altezza per 75 metri di lunghezza. La facciata occidentale del blocco maggiore è curvata, per allinearsi con gli assi corrispondenti alle vie El Bosque e Tobalaba. L'angolo acuto che si viene così a formare vuole rappresentare, nelle intenzioni del gruppo di progettazione, un inizio simbolico per Avenida El Bosque.

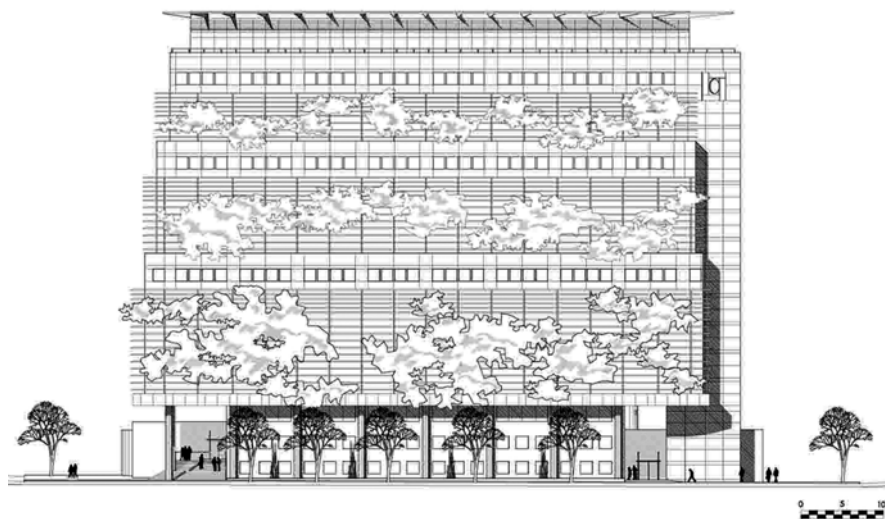
Il manufatto è frazionato anche nello sviluppo verticale: i primi tre piani vengono destinati alla compagnia assicurativa *Consorcio*, mentre i quattordici rimanenti sono dati in locazione. Entrambe le aree hanno accessi propri e circolazione verticale indipendente, presentando due differenti ingressi alle estremità della galleria al pianterreno. Per la compagnia assicurativa si entra da Sud, mentre agli uffici si accede attraverso l'ingresso posto a Nord, al secondo livello. Quest'ultimo, internamente, prospetta sul livello inferiore, creando una continuità volumetrica e visuale tra gli spazi dei due ingressi. L'edificio è coronato da un grande elemento metallico a sbalzo, che funge da frangisole per la protezione solare degli ambienti situati agli ultimi due piani.

La tecnologia

La morfologia della città di Santiago è orientata verso Ovest, fatto che crea non pochi problemi di surriscaldamento durante l'estate. Per tal motivo si è dovuto operare con particolare attenzione nel concepire la tecnologia delle facciate.



Pianta del primo piano.



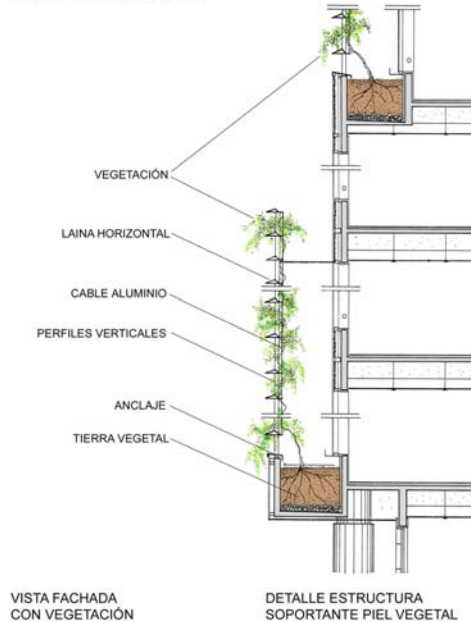
Prospetto Ovest.

La strategia progettuale è stata quella di impiegare sia risorse tecnologiche che naturali, realizzando delle chiusure verticali concepite in funzione di precise esigenze e funzionalità. Le chiusure opache sono realizzate mediante pannelli metallici coibentati; quelle trasparenti – presenti in grande maggioranza – sono state sdoppiate, studiando un sistema vegetale distaccato dal *curtain wall* vetrato, per proteggere quest'ultimo dal soleggiamento diretto che colpisce il fabbricato in un arco di esposizione che va da Nord-Ovest a Sud. Tale tecnologia è una diretta derivazione storica di quella

dei *parrones* locali: elementi lignei a griglia simili alle pergole della tradizione greca o romana, destinati alla crescita di vegetali ed utilizzati per l'ombreggiamento di spazi o edifici.



EDIFICIO CONSORCIO - SANTIAGO
DOBLE PIEL VEGETAL 1993

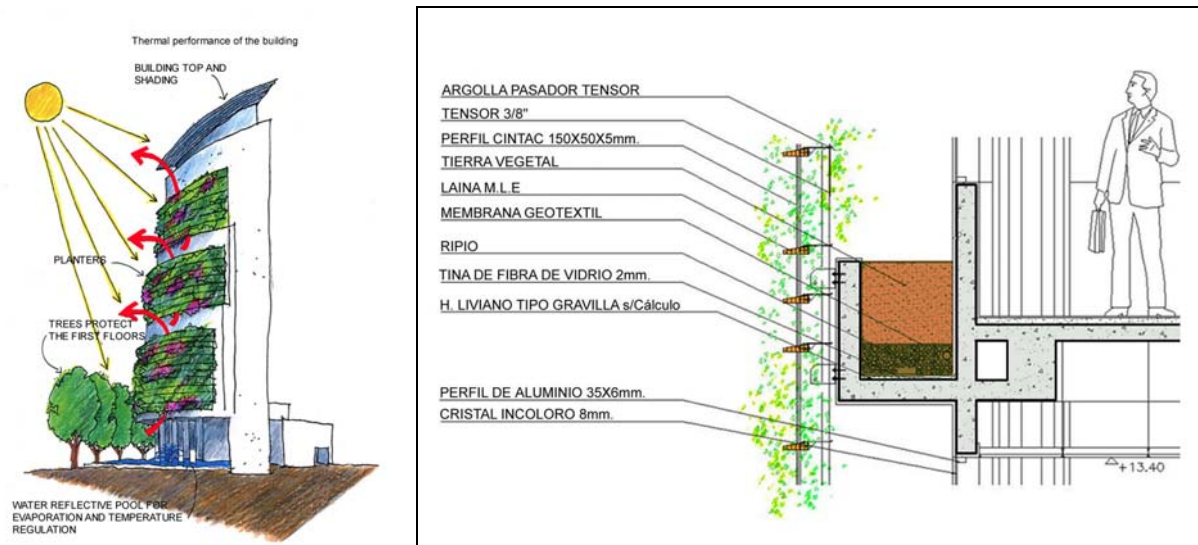


A sinistra: la facciata principale dell'edificio esposta a Ovest.

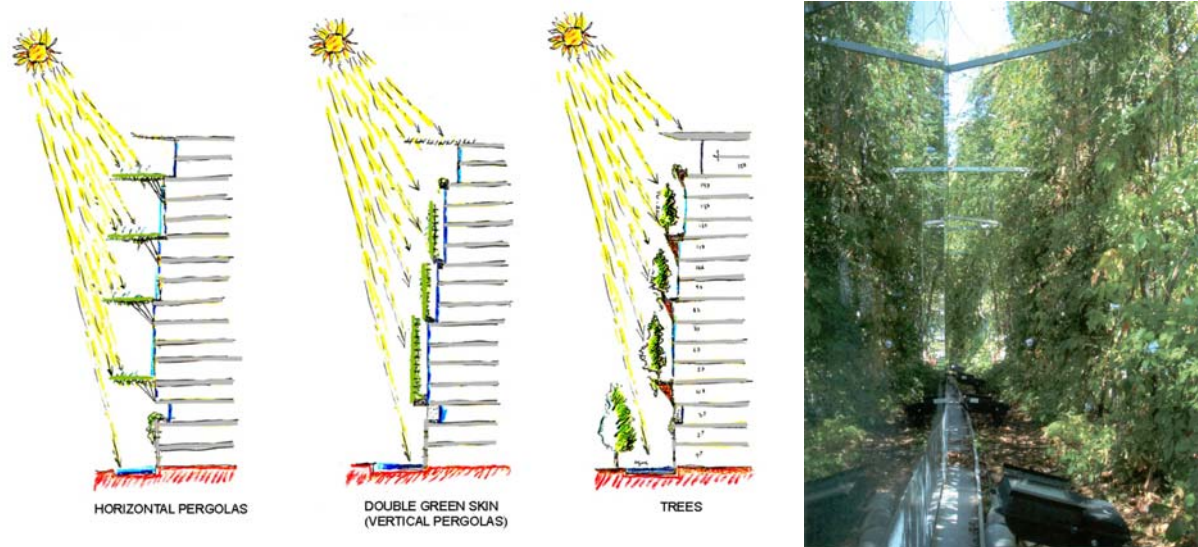
A destra: dettaglio del sistema di rivestimento vegetale a protezione delle chiusure trasparenti.

Il rivestimento vegetale è impiegato come mitigazione ambientale per la riduzione del soleggiamento incidente sulle chiusure sia opache che trasparenti, in un clima caldo secco come quello di Santiago del Chile. Il sistema è stato realizzato mediante una griglia composita avente il compito di ospitare delle specie rampicanti a fogliazione decombente. I montanti verticali della griglia sono metallici, mentre quelli orizzontali sono di legno. L'impianto dei rampicanti avviene mediante fioriere in quota a sbalzo, poste ai livelli terzo, ottavo e dodicesimo: questa scansione verticale dal passo non costante è dovuta alle differenti tempistiche di accrescimento delle diverse specie vegetali impiegate ai vari livelli.

Nei primi quattordici anni trascorsi dall'inaugurazione dell'edificio sono stati condotti dei monitoraggi per verificare l'effettivo rendimento della schermatura vegetale: tali ricerche hanno dimostrato che i consumi energetici degli ambienti interessati dalla schermatura vegetale si attestano su risultati inferiori del 35% rispetto a edifici convenzionali della zona, con una riduzione dei costi valutata intorno al 20-25% (cioè il doppio di quelle che erano le stime di progetto iniziali). La pelle verde riduce, quindi, l'assorbimento solare e trasforma la facciata in un giardino verticale di 3.000 m²: superficie equivalente al quantitativo di territorio naturale negato mediante l'attività edificatoria. Tale azione vuole essere metaforicamente interpretata come il tentativo di alzare in verticale la natura pre-esistente, sottratta alla collettività mediante la fabbrica. La naturale mutazione annuale della vegetazione impiegata (*Bougainville*, *Ampelopsis*, *Plumbagos*) rende l'edificio cangiante durante gli avvicendamenti stagionali.



A sinistra: schizzo riportante le caratteristiche di funzionamento bioclimatico.
A destra: dettaglio costruttivo sulla vasca di terreno per la messa a dimora del sistema vegetale.



A sinistra. Schizzi di studio che mettono a confronto diverse possibilità per la realizzazione della schermatura vegetale. A sinistra sono schematizzati dei frangisole orizzontali inverditi; in centro la soluzione adottata nel progetto definitivo; a destra l'impiego di specie arboree.
A destra. Vista dell'intercapedine tra la pelle vegetale e il curtain wall.

Riferimenti

<http://www.ebrowne.cl>

Fonti iconografiche

Enrique Browne y Asociados

Consorcio Concepción



STrv02

progetto: Enrique Browne y Asociados

destinazione d'uso: uffici

classificazione intervento: nuova costruzione

localizzazione: Concepción, Cile (36°46'00"S, 73°03'00"W)

anno di completamento: 2004

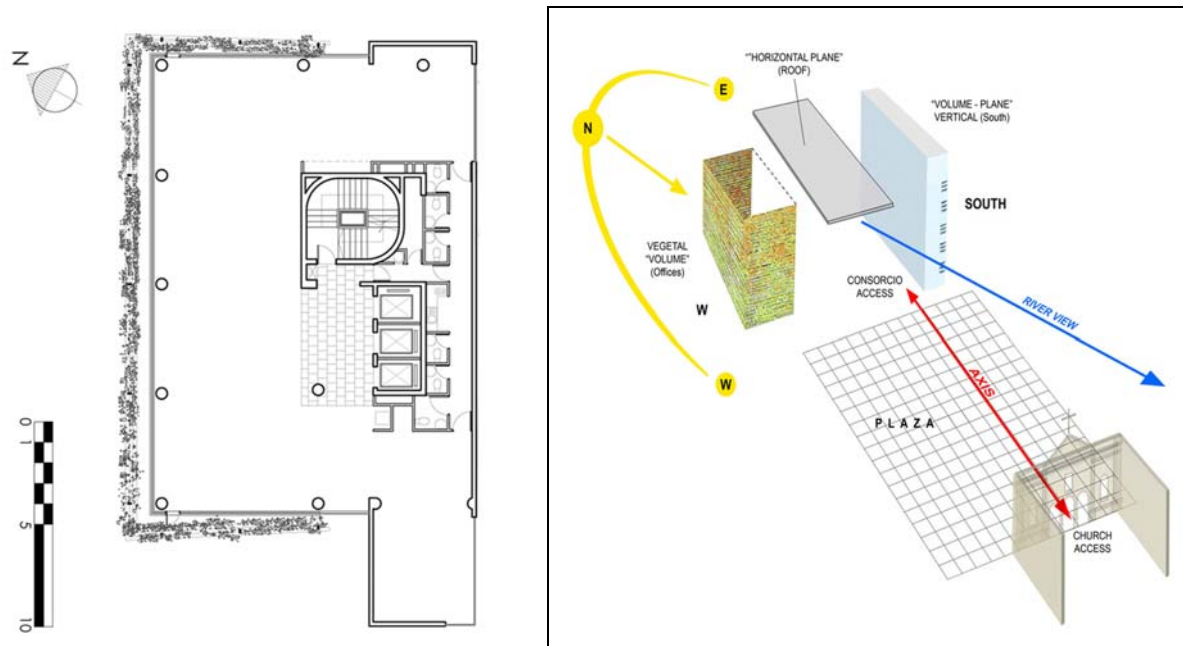
committente: Consorcio Nacional de Seguros

Il progetto

La città di Concepción presenta una struttura urbana disordinata ed è caratterizzata dalla scarsità di edifici storici a causa dei terremoti che l'hanno più volte colpita. Gli unici elementi d'interesse paesaggistico e ambientale della conurbazione sono il fiume Bio-Bio e le colline naturali che attorniano la città, nonché la vicinanza al mare. L'economia di questa porzione di territorio dipende quasi esclusivamente dall'industria siderurgica e dalle attività forestali.

L'edificio Consorcio sorge su un lotto angolare prospettante sull'unica chiesa del XIX secolo rimasta in città, dedicata a Santo Domingo: interposta tra il nuovo manufatto e l'edificio religioso vi è una piazza di piccole dimensioni. La volontà progettuale fu quella di creare una relazione visiva tra i due edifici, in modo da allargare idealmente i confini della piazza; per tale ragione l'asse del nuovo manufatto è perfettamente indirizzato verso il portale della chiesa.

Il Consorcio Building è composto da tre elementi principali, ossia il «volume-piano verticale» esposto a Sud, un «volume vegetale» che affaccia a Nord e contiene gli spazi degli uffici, e il «piano orizzontale» che sovrasta entrambi collegandoli. Il livello di accesso al pianterreno connette i due volumi e presenta una spazialità interna a doppia altezza: esso prospetta sulle strade che circondano il lotto ed è completamente vetrato per instaurare un rapporto visivo tra interno ed esterno.



A sinistra: pianta tipo dell'edificio. A destra: concept di progetto.

La tecnologia

Il blocco dedicato agli uffici è un volume a pianta libera, ombreggiato sui lati Est, Nord e Ovest tramite una pelle vegetale che avvolge i tre prospetti vetrati. Tale pelle vegetale è realizzata mediante un grigliato composto di legno e acciaio, che supporta un sistema vegetale di specie rampicanti. La griglia è composta da montanti verticali in acciaio, che sostengono a loro volta un ordito orizzontale in legno compensato: entrambi i materiali sono stati adottati per richiamare quelle che sono le due maggiori produzioni locali. Un sistema vegetale variegato è collocato in quota mediante fioriere al secondo e al quarto livello, ed utilizza il suddetto grigliato come supporto alla crescita.

L'inverdimento è composto da specie sempreverdi o decidue in funzione della collocazione: nella porzione antistante alle chiusure trasparenti vengono utilizzate delle specie decidue (*Partenocissus* e *Bougainvillea*) per non compromettere l'acquisizione energetico-luminosa durante gli inverni; nelle porzioni opache, o dove la presenza delle propaggini non si riveli un problema per la gestione bioclimatica del manufatto, si sono impiegate piante sempreverdi (*Jasminum* e *Plumbaginaceae*).

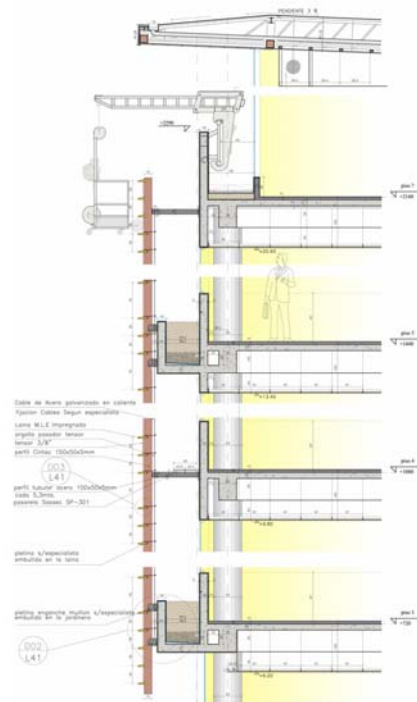
Il «volume piano» è esposto a Sud e contiene i collegamenti verticali dell'edificio. La collocazione a Sud – esposizione che nell'emisfero Australe non gode mai di un soleggiamento diretto – ha fatto sì che questa porzione dell'edificio venisse conformata come un blocco monolitico, presentante poche finestre di piccole dimensioni. La tecnologia delle chiusure verticali è stata in questo caso risolta mediante la realizzazione di una facciata coibentata, rivestita da pannelli in lamiera ondulata: materiale ampiamente diffuso nel Sud del paese. Azione eseguita, anche in questo caso, per richiamare le tecniche dell'industria locale.

Una grande copertura piana sovrasta il volume vegetato, sbalzando per alcuni metri verso Ovest. Ciò è stato attuato per proteggere i piani superiori del fabbricato dal soleggiamento mattutino: esposizione ad Ovest da cui, tra l'altro, è possibile avere un collegamento visuale con la foce del

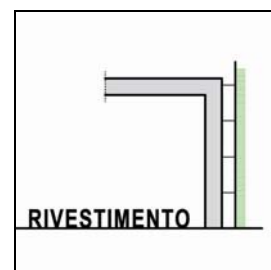
fiume Bio-Bio. Lo sbalzo, secondo l'intento del progettista, ha anche la funzione di «sottolineare il collegamento con la piazza sottostante». L'edificio Consorcio ha vinto nell'anno 2004 il primo premio come *Mejor obra de Arquitectura y Urbanismo* del Chile, ed ha ottenuto nel 2005 una menzione d'onore alla Terza Biennale di Architettura di Miami Beach in Florida (USA).



A sinistra: prospetto Nord. A destra: prospetto Ovest



A sinistra: vista dalla strada prospiciente all'edificio. A destra: sezione di dettaglio sulla chiusura verticale esposta a Nord. La rappresentazione riporta anche il particolare sistema in sospensione per la manutenzione della facciata a verde.



STrv03

progetto: Sandro Cammilli architetto

destinazione d'uso: direzionale e produttiva

classificazione intervento: nuova costruzione

localizzazione: Scandicci, Italia (43°45'29"N, 11°10'49"E)

anno di completamento: 2009

committente: Braccialini Srl

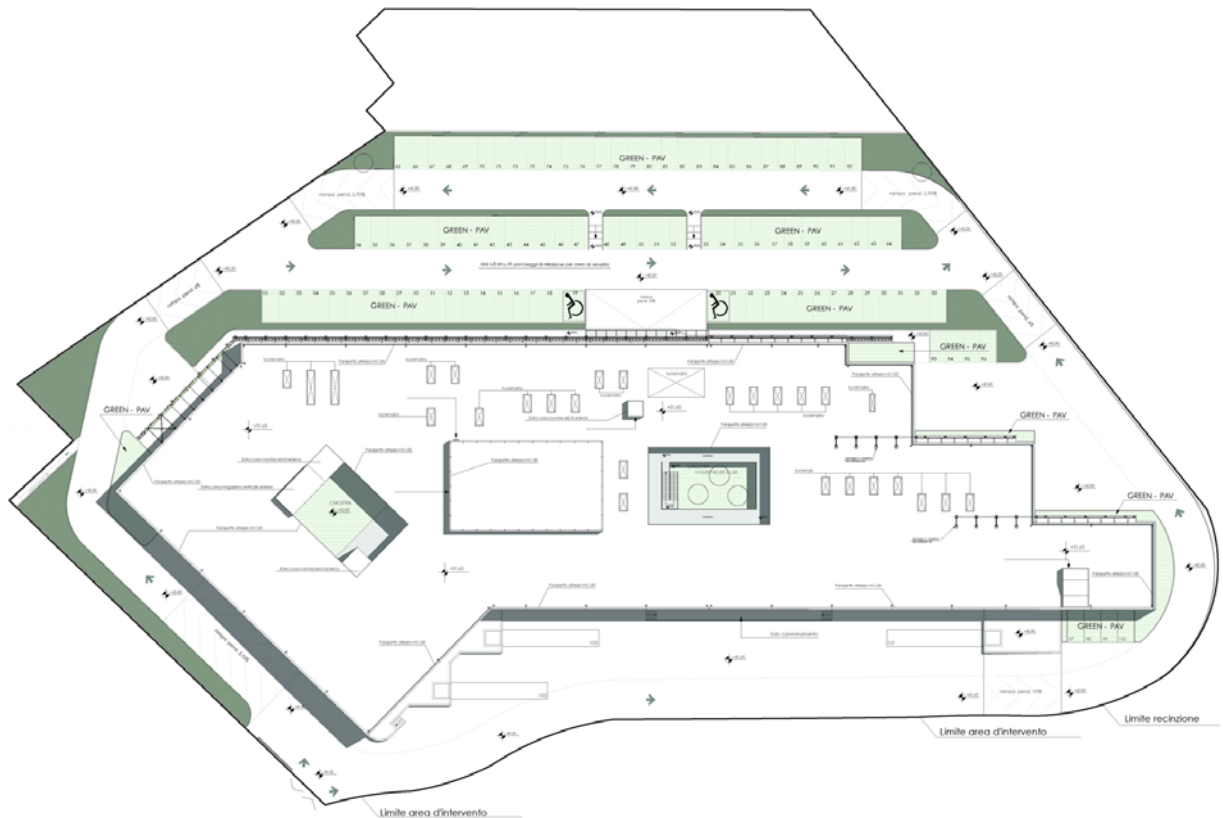
Il progetto

La nuova sede della ditta *Braccialini Srl*, progettata dallo studio dell'architetto Cammilli di Firenze, è situata a Scandicci (FI), e si configura come un edificio a funzione mista, contenente sia l'area direzionale degli uffici che quella produttiva. Il manufatto è caratterizzato da una forma poligonale ad orientamento Est-Ovest, con il lato maggiore disposto lungo strada. Esso occupa una superficie di circa 10.000 m² in pianta, è strutturato su due livelli fuori terra ed ospita circa duecento lavoratori.

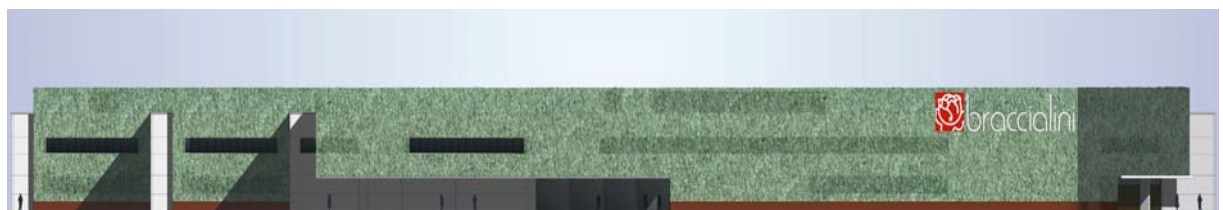
L'edificio insiste su un'area dedicata a parco completamente ridisegnata dallo studio Cammilli e contiene – oltre agli usuali percorsi carrabili e posteggi auto – una viabilità ciclo-pedonale strutturata e degli spazi verdi alberati. Scelte miranti a garantire sia la vivibilità di un grande luogo lavorativo come questo, che la possibilità di un attraversamento sicuro dell'area da parte di pedoni: attraversamento distaccato, quindi, dalla grande via di scorrimento carrabile antistante l'azienda.

Viste le specificità del contesto e considerate le necessità di rappresentanza legate alla funzione di sede aziendale, il team di progettazione ha optato per dotare le due facciate principali – cioè quelle esposte a Sud e Sud-Est – di sistemi per il rivestimento a verde. Azione operata a seguito di considerazioni sia compositive che funzionali. Infatti, oltre all'obiettivo della rappresentatività edilizia, il progetto è complessivamente caratterizzato da una pianificazione progettuale volta al raggiungimento di elevati livelli di eco-compatibilità. Le strategie operate dallo studio Cammilli, nella ricerca di massimizzare le caratteristiche di risparmio energetico e comfort per gli utenti, sono riassumibili nelle seguenti azioni progettuali: la facciata verde; il giardino pensile in copertura; il recupero idrico dell'acqua piovana, con conseguente riutilizzo per l'irrigazione del tetto verde praticabile; uso dell'energia solare sia termica che fotovoltaica.

Nelle intenzioni della committenza l'insieme edilizio avrebbe dovuto configurarsi come uno «stabilimento-giardino». Inoltre, su specifica richiesta della Braccialini, il progettista ha basato alcune scelte morfologico-spaziali sui principi della disciplina cinese del *Feng Shui*, avvalendosi della consulenza di un esperto. Tra gli spazi interni maggiormente rappresentativi vi sono la *Mensa-Salotto*, una palestra ad uso dei dipendenti, due corti verdi praticabili ricavate nel volume dell'edificio ed un'area relax sul giardino pensile che sovrasta l'edificio.



Planimetria generale dell'intervento.



Prospetto principale fronte-strada.

La tecnologia

Il rivestimento vegetale caratterizzante le facciate principali è stato scelto, oltre che per le sue caratteristiche estetiche ed evocative del preciso *concept* di progetto, soprattutto per le valenze energetiche e termoigrometriche che potrà garantire. Tale tecnologia è stata selezionata, infatti, per la

sua capacità di protezione solare delle chiusure edilizie opache e trasparenti, che si traduce in un abbattimento dei carichi termici agenti sull'edificio; inoltre non è da sottovalutarsi l'attenuazione acustica che le piante possono arrecare: scelta operata in virtù del fatto che l'edificio si trova, come detto, all'interno di una zona produttiva prospiciente ad una via carrabile dai consistenti flussi giornalieri.



Foto della facciata principale subito dopo la chiusura del cantiere. Si noti che gli esemplari vegetali, disposti su due livelli entrambi distaccati dal piano di campagna, si trovano ad uno stato di sviluppo ancora arretrato.

Le facciate inverdite sono composte da due involucri sovrapposti: la chiusura edilizia vera e propria realizzata con materiali tradizionali e uno schermo vegetato distanziato 82 cm dalla muratura. È in questo caso possibile affermare che il rivestimento a verde, progettato ed eseguito su misura, è realizzato mediante una strategia *low-tech*: in seguito ad una valutazione costi-benefici dei sistemi per l'inverdimento parietale riscontrabili sul mercato, i progettisti hanno deciso di non basarsi sulle opzioni tecnologiche offerte dall'industria ma hanno concepito un rivestimento a verde apposito, realizzato con la consulenza di un agronomo.

La struttura è formata da elementi di acciaio normalmente reperibili in commercio (profili HEA, tubolari rettangolari e tiranti metallici) e successivamente sottoposti a zincatura, che contengono una rete metallica per il supporto dei rampicanti. Vi sono state inoltre ricavate delle mensole, atte al sostegno dei vasi contenenti i substrati d'impianto. La componente vegetale è realizzata mediante specie di edera sempreverde messe a dimora in vasi, a loro volta sistemati sulle sopraccitate mensole. L'edera, sviluppandosi, andrà ad inverdire completamente le due facciate. Per motivi di bilancio economico non si è optato per un "pronto effetto" nella selezione delle piante, perciò bisognerà attendere la completa crescita dei vegetali per considerare effettivamente terminata la costruzione delle facciate. Il sistema è completato da un impianto d'irrigazione automatizzato.



A sinistra: vista del reticolo strutturale in acciaio zincato durante le fasi di montaggio. A destra: dettaglio delle mensole metalliche per il supporto dei vasi sospesi contenenti i rampicanti.



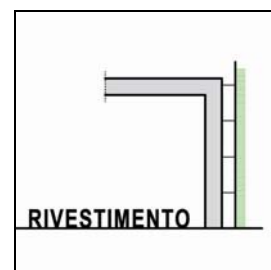
A sinistra: operazione di messa a dimora delle specie vegetali sull'apposito reticolo in metallo zincato. Si notino, nella parte bassa della foto, i vasi in PVC contenenti i rampicanti. A destra: dettaglio del sistema di rivestimento al termine dei lavori.

Riferimenti

- <http://www.cammilli.com>
- <http://www.braccialini.it>

Fonti iconografiche

Studio Cammilli



STrv04

progetto: CBA Progetti

destinazione d'uso: uffici

classificazione intervento: ristrutturazione edilizia

localizzazione: Treviso, Italia (45°40'0"N, 12°15'0"E)

anno di completamento: 2006

committente: Studio Caruzzo & Associati

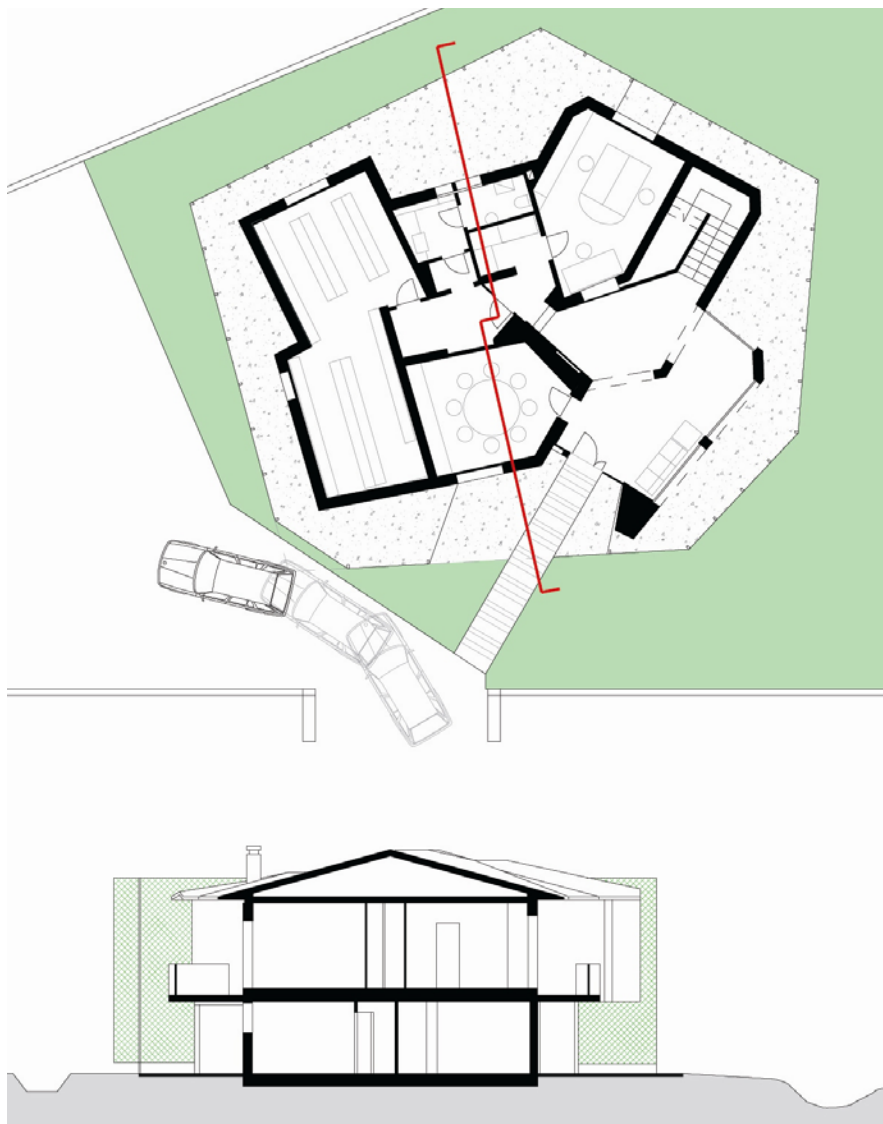
Il progetto

L'area di progetto è collocata nelle vicinanze delle mura storiche cittadine e prospetta su una strada a due corsie dai consistenti flussi di traffico. L'attività progettuale ha riguardato il cambio di destinazione d'uso da residenza privata ad uffici di uno studio associato. L'edificio originario era una casa isolata risalente agli anni Sessanta, e le opere progettate dallo studio dell'architetto Carlo Bordini sono consistite in: variazione planivolumetrica dello stato di fatto; adeguamento tecnologico degli involucri verticali e degli impianti principali; cambiamento dell'immagine esteriore del manufatto; sistemazioni esterne.

Le dimensioni del fabbricato, visto il valore paesaggistico del contesto, erano sottoposte a vincolo di rispetto stradale, quindi i bordi dell'edificio non si potevano modificare o demolire per spostarlo altrove (inizialmente la volontà della committenza era quella di una nuova edificazione ma, vista l'impossibilità di spostare o ampliare i confini originali del manufatto, si è optato in favore della riqualificazione). Per tal motivo le murature esterne sono rimaste quelle originarie, operando solo negli ambienti interni e sulla tecnologia degli involucri.

La strategia progettuale più importante fu quella di realizzare una nuova pelle edilizia che avviluppassse completamente le chiusure esistenti ma senza seguirne esattamente la conformazione originaria. Un nuovo involucro dalla duplice valenza: donare un'immagine inedita al manufatto – quindi riqualificazione architettonica – ed attenuare l'inquinamento acustico proveniente dalla strada antistante, specialmente durante la bella stagione quando le finestre solitamente rimangono aperte. Tale nuovo involucro racchiude quello originario, donando nuova morfologia volumetrica al manufatto ma, vista la particolare tecnologia costruttiva, non muta quella che è la distanza legale delle chiusure

dai confini. Inizialmente la nuova pelle edilizia avrebbe dovuto essere eseguita mediante una lamiera microforata in alluminio non verniciato, ma a causa dei costi elevati della materia prima si è optato per la realizzazione di un rivestimento vegetale.



Pianta del piano terra e sezione.

La tecnologia

La pelle verde è stata eseguita mediante una modalità definibile come “artigianale”, in quanto sia la realizzazione del sistema di supporto che la scelta dell’apparato vegetale sono dipesi dal pool progettuale composto da architetti e da un agronomo. Essi hanno provveduto ad elaborare in studio la conformazione dell’intera struttura, per farla poi realizzare da aziende e vivaisti di fiducia. Il sistema è autoportante e presenta proprie fondazioni e strutture in elevazione. Esso è distanziato dalla parete edilizia originaria e vi si connette solo tramite dei sostegni puntiformi collocati nella parte alta del

rivestimento; tali correnti orizzontali, perpendicolari alle superfici murarie, servono a collegare la nuova struttura alle chiusure esistenti, controventandola.

Il supporto ai vegetali si compone di montanti verticali e correnti orizzontali in tubolari di acciaio zincato a caldo, a loro volta tamponati con della rete a maglia fitta di colore verde: quest'ultima ha lo scopo di ricreare una continuità superficiale, in cui il sistema vegetale possa svilupparsi mediante i propri organi radicali *a ventosa*. Le piante sono sistemate a terra in prossimità di ogni montante verticale, e si svilupperanno utilizzando la rete come superficie d'appoggio. L'apparato vegetale è composto da esemplari di *Parthenocissus tricuspidata* "Veitchii", specie caducifolia dalle molteplici variazioni cromatiche stagionali, che rende il rivestimento cangiante durante l'arco dell'anno. Alla base dei rampicanti è collocato un impianto automatizzato d'irrigazione.



A sinistra: lo stato di fatto prima dell'intervento, nell'anno 2005.

A destra: l'edificio dopo quattro anni dal completamento dei lavori, ossia nel 2010. (E.B.)



A sinistra: dettaglio della finestra al piano terra.

A destra: vista dall'interno della sala d'aspetto situata al pianterreno. (E.B.)

La realizzazione del rivestimento vegetale ha permesso una buona riuscita formale dell'intervento, unitamente ad un ottimale inserimento paesaggistico in un contesto dalle discrete doti naturalistiche. Il tutto rendendo possibile un considerevole risparmio economico: la pelle in lamiera traforata inizialmente ideata aveva un costo stimato di circa 80.000 €, mentre il rivestimento a verde

qui realizzato ha avuto un costo totale di 25.000 €, per un risparmio complessivo che si attesta sui 55.000 € circa.



A sinistra: il prospetto esposto ad Est, subito dopo la chiusura del cantiere. Al centro: dettaglio delle fasi di montaggio del sistema di rivestimento.

A destra: l'intercapedine compresa tra la chiusura esistente e la nuova struttura inverdita. (E.B.)



A sinistra: vista dall'interno dell'intercapedine sul montante verticale in profili tubolari di acciaio zincato a caldo. (E.B.) Al centro e a destra: dettaglio della soluzione d'angolo.

Riferimenti

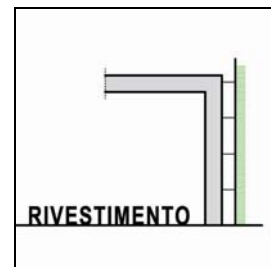
<http://www.cbaprogetti.it>

Fonti iconografiche

CBA Progetti

(Alcune fotografie, puntualmente segnalate all'interno della scheda con la sigla "E.B.", sono state eseguite dall'autore della ricerca).

Swiss Re Bürohaus



STrv05

progetto: BRT Architekten

destinazione d'uso: uffici e centro congressi

classificazione intervento: nuova costruzione

localizzazione: Monaco di Baviera, Germania (48°08'N, 11°34'E)

anno di completamento: 2007

committente: Swiss Re Aktiengesellschaft Munic

Il progetto

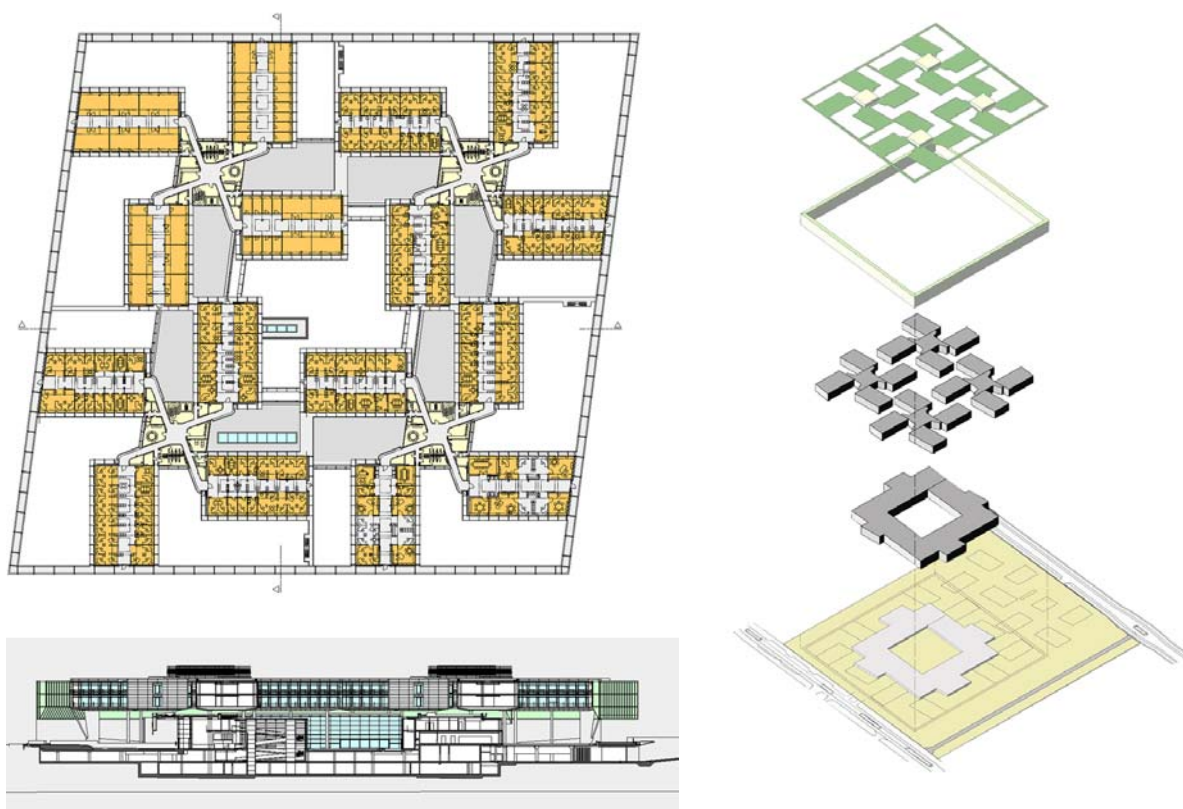
La nuova sede della compagnia assicurativa *Swiss Re* occupa un lotto quadrangolare nella zona industriale di Unterföhring, cittadina appartenente alla cintura metropolitana di Monaco di Baviera. Il sito di progetto è delimitato sui quattro lati da altrettante strade e il contesto d'inserimento conserva globalmente una discreta dose di vegetazione naturale.

L'edificio presenta anch'esso una forma quadrangolare in pianta, pur essendo variegato nella conformazione volumetrica. Gli spazi interni, a destinazione terziaria e direzionale, sono concepiti – a detta del pool progettuale – seguendo il *concept* «Autonomia senza isolamento», in modo da mettere i dipendenti nelle condizioni di lavorare e potersi concentrare, pur non perdendo mai il contatto visivo – e quindi la dimensione sociale dell'impiego lavorativo – con gli altri impiegati della ditta. Ciò ha comportato, dal punto di vista progettuale, la creazione di unità lavorative autonome ma completamente vetrate, collegate da una serie di passerelle sospese e corridoi che si snodano attorno ad una corte centrale consistente in una grande vasca d'acqua. Anche dal punto di vista morfologico-tridimensionale sono rilevabili una serie di volumi autonomi e separati, collegati dal suddetto sistema di percorsi multipli.

Ulteriore elemento di unione tra i vari volumi edilizi è una passerella inverdita e sopraelevata che percorre tutto il perimetro esterno del fabbricato. Le unità lavorative che stanziavano in corrispondenza del perimetro risultano perciò schermate verso l'esterno da un rivestimento vegetale che avvolge

quasi completamente tutti i lati del manufatto, donando un'immagine architettonica unitaria ad una concezione volumetrica particolarmente complessa.

I principali materiali utilizzati sono quattro: vetro, acciaio, acqua e vegetazione naturale. La natura gioca un ruolo centrale nell'immagine architettonica finale del fabbricato in quanto, oltre che sulle facciate, è presente sulla copertura a verde estensivo e negli spazi esterni a livello del terreno: questa forte integrazione fra elementi naturali ed artificiali rende la nuova sede della compagnia assicurativa particolarmente riuscita dal punto di vista dell'inserimento ambientale.



A sinistra: pianta del terzo piano (sopra) e sezione trasversale.
A destra: esploso assometrico raffigurante gli elementi costitutivi di progetto.

La tecnologia

L'edificio risulta quasi totalmente rivestito da una vegetazione rampicante che forma, a sua volta, una fascia vegetale continua a schermatura dei livelli dal primo al terzo. Dal punto di vista tecnologico tale elemento inverdito consiste in una struttura reticolare parzialmente sospesa da terra, ospitante un rivestimento a verde contenente una grande varietà di vegetali (circa 200 esemplari di specie decidue differenti) piantate a terra.

La struttura reticolare è composta da montanti e traversi realizzati mediante profili tubolari di acciaio inox, tamponati con della rete metallica che funge da superficie di ancoraggio per le propaggini fogliari. Questo sistema di supporto è a sua volta direttamente collegato alle chiusure edilizie, che fungono da controventamento alla struttura metallica. La fascia sopraelevata e rivestita a verde tocca

terra solo puntualmente tramite dei pilastri verticali sempre in tubolare metallico, che sostengono l'intero sottosistema d'inverdimento; pilastrini che, inoltre, ospitano alla propria base il punto d'impianto del sistema vegetale: essi vengono perciò utilizzati dalle piante come supporto al proprio sviluppo verticale, prima che queste giungano alla superficie retata dove potranno espandersi anche orizzontalmente.



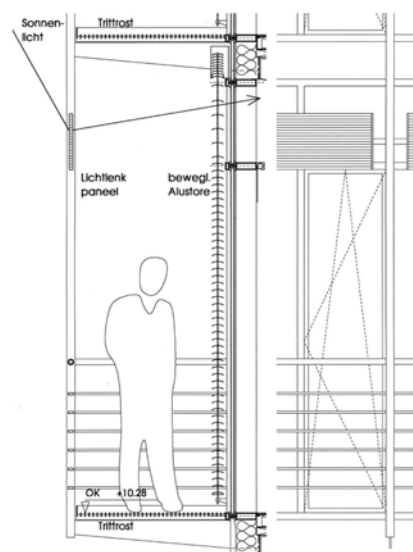
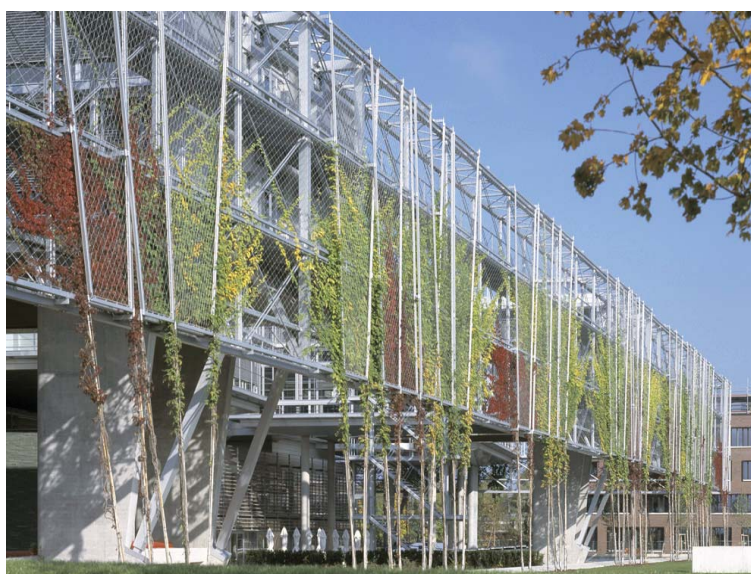
Vista aerea.

Il rivestimento vegetale ha in questo caso una triplice funzione: innanzitutto è stato adottato per le proprie doti bioclimatiche, fungendo sia da schermatura al soleggiamento estivo, che per sfruttarne le proprietà fisiologiche legate ai meccanismi evapotraspirativi dei vegetali. In secondo luogo, tutte le finestre perimetrali dell'edificio godono dell'affaccio sulla vegetazione: gli impiegati potranno così beneficiare della vista sul verde, anziché su quella della zona urbanizzata circostante. Infine, l'uso del verde in facciata contribuisce ad offrire buone caratteristiche d'inserimento paesaggistico: il rivestimento vegetale risulta quindi di strategico impiego, sia nell'utilizzo dall'interno verso l'esterno che viceversa.

Un discorso a parte merita la modalità di coltivazione delle piante. Esse, pur essendo piantate a terra, non lo sono sin dalle prime fasi della propria vita: il sistema vegetale è stato pre-vegetato per tre anni in un vivaio di Pistoia (dove ha raggiunto i 9-10 metri di sviluppo altezza), per poi essere trasportato in Germania e quindi trapiantato in loco. Il nuovo edificio della compagnia *Swiss Re* rappresenta, quindi, un esempio interessante per quel che concerne le dinamiche d'innovazione sia di prodotto che di processo interne al settore dei rivestimenti a verde, in quanto incarna un impiego alla macro scala del sistema *smart-green*.



A sinistra: dettaglio della soluzione d'angolo. A destra: rendering dall'interno della passerella perimetrale inverdita.



A sinistra: particolare del rivestimento a verde.
A destra: dettaglio costruttivo della passerella sopraelevata, durante la stagione invernale in cui le piante sono sprovviste di foglie.

Riferimenti

<http://www.brt.de>

Fonti iconografiche

BRT Architekten

III.7. Gestione e manutenzione

Nell'affrontare le problematiche legate a manutenzione e gestione dei sistemi per il rivestimento vegetale è necessaria prima di tutto una precisazione: si tratta di un'attività dalla duplice valenza, essendo i rivestimenti odierni la composizione di due sistemi, ossia quello vegetale e quello di supporto (Tab.III.112). Questi andranno considerati di paritetica importanza, anche se la manutenibilità del sistema vegetale risulta più onerosa, soprattutto nei primi periodi d'impianto.

Le attività gestionali e manutentive, legate all'utilizzo di specie vegetali a rivestimento di facciate edilizie, sono di tipologie diverse per frequenza e impegno richiesti, o conseguentemente al fatto che alcune di queste azioni risultino obbligate – manutenzione *ordinaria* – mentre altre possano anche non accadere – quindi *straordinarie*. Le principali opere solitamente necessarie consistono nella normale irrigazione⁷³, nelle potature per la limitazione dimensionale delle propaggini vegetali, nella preparazione/concimazione dei terreni e in eventuali cure di cui le piante necessitano. Le prime due attività rientreranno nella categoria delle manutenzioni ordinarie e dovranno venire effettuate con costanza e periodicità differenziate durante l'arco dell'anno, mentre le restanti potranno rendersi necessarie o meno a seconda delle casistiche.

L'irrigazione, come visto, è un'attività abbastanza semplice e, nel caso venga gestita in modo automatizzato, tende a risolversi esclusivamente nel controllo e nell'eventuale riparazione o sostituzione degli elementi o delle parti che compongono l'impianto. Concimazione e potatura sono invece azioni più delicate e andrebbero di conseguenza deputate a figure professionali specializzate, soprattutto nel caso in cui il rivestimento a verde sia realizzato tramite la composizione di più specie differenti.

La potatura della pianta è l'attività più impegnativa nella gestione di un rivestimento a verde, in quanto alcune specie possono crescere a un ritmo anche molto elevato. Potatura che servirà non solo a mantenere il vegetale all'interno delle caratteristiche dimensionali previste dal progetto, ma anche perché un suo eccessivo peso, una esagerata volumetria, o l'aggraviamento della stessa potrebbero condurre a problematiche nei confronti dei sottosistemi di supporto.

In casi convenzionali, la necessità di potatura per un rivestimento può venire stimata come un impegno da espletarsi una volta all'anno (per quei apparati vegetali che presentino già un buon livello di sviluppo), e mediamente il doppio – ossia 2-3 sessioni annue – per specie vegetali nei primi stadi vegetativi, quindi nei primi due anni d'impianto.

La maggiore frequenza operativa richiesta nei periodi iniziali è dovuta a due motivazioni. La prima è imputabile a un necessario controllo dello sviluppo: negli stadi iniziali di accrescimento una pianta è molto delicata e, per ragioni dovute alla giovinezza, potrebbe anche morire. La seconda è relativa agli apparati fogliari: potrebbe rendersi necessario l'indirizzamento delle propaggini vegetali, in modo da ottenere una loro distribuzione omogenea sull'intera superficie (omogenea distribuzione che si traduce in un equilibrio sia dei carichi agenti sulla struttura, che delle funzioni bioclimatiche associate al rivestimento). Tale indirizzamento viene solitamente risolto fissando la pianta mediante legacci o simili (Fig.III.9 e Fig.III.10) e quindi obbligandone le direttrici di sviluppo. Superati i primi periodi d'impianto, il numero di potature si stanzierà su valori minori: operazioni che avranno l'obiettivo di controllare la crescita e l'omogenea distribuzione dei rami, di limitare gli eventuali carichi invernali

⁷³ Il tema dell'irrigazione e dei sistemi atti a realizzarla sono stati trattati nel paragrafo III.2.4

che risulterebbero maggiorati nel caso di vegetazione troppo folta, di liberare finestre o altri apparati che necessitino di rimanere sgombri (ad esempio canne fumarie o prese d'aria verso gli ambienti interni), nonché di favorire il sistema vegetale nella sua eventuale fioritura primaverile. Tutte operazioni che configurano l'autunno come il periodo ottimale in cui intervenire tramite potatura.

Le frequenze di taglio riportate vanno considerate come valori medi indicativi da valutare, perciò, di volta in volta in base al caso specifico, dipendentemente dal tipo di pianta impiegata e dal numero di specie coinvolte⁷⁴. Altra questione che incide sul numero delle sessioni annuali di sfalcio riguarda anche altre caratteristiche delle specie selezionate, in quanto la possibilità o meno che esse producano infiorescenze o fruttificazioni diventerà un ulteriore parametro da ponderare. Molte piante producono fiori o frutti come strategia riproduttiva in alcune stagioni dell'anno, con la conseguenza che, terminato tale periodo specifico (diversamente prolungato in funzione della specie), i suddetti apparati riproduttivi cadranno a terra: fattore che si ripercuote direttamente sulle attività di gestione del sistema vegetale, richiedendone uno sforzo più elevato.

L'attività di potatura si svolge in modo del tutto convenzionale, quindi impiegando strumenti di sfalcio manuali o meccanici. La criticità maggiore potrebbe essere rappresentata dalla dimensione o dell'altezza della superficie inverdita, contestualmente al luogo d'inserimento: potrebbe infatti rivelarsi necessario l'utilizzo di impalcature o carrelli elevatori per raggiungere porzioni di rivestimenti vegetali molto elevati rispetto al livello di campagna. Questione di cui l'architetto dovrà debitamente tener conto durante l'attività progettuale.

La concimazione⁵² serve a fornire al terreno i nutrienti di cui esso si trovi sprovvisto congenitamente o a causa dell'insistenza delle piante. I vegetali utilizzano il terreno per trarne le sostanze nutritive (come sali minerali o altro) necessarie alla loro normale attività fisiologica: azione che, in alcuni casi e col trascorrere del tempo, potrebbe esaurirne le risorse. L'attività di concimazione serve proprio ad integrare tale mancanza nutritiva all'interno dell'appezzamento. Essa diventa poi obbligata per le colture in vaso, ove la presenza di substrato è limitata: tale limitatezza è direttamente proporzionale ad una possibile scarsità di nutrienti, che diventano quindi facilmente logorabili sotto l'azione dei vegetali nel tempo.

La preparazione o la correzione dei terreni è un argomento delicato, perché errori operativi o di valutazione in tale sede potrebbero ripercuotersi sulla pianta anche in modo grave. Attività correttiva che, peraltro, diventerà maggiormente difficoltosa proporzionalmente al numero di specie impiegate all'interno dello stesso rivestimento, nonché quando di scelgano combinazioni vegetali contenenti specie fruttifere.

Anche la sostituzione di piante morte, e tutte le azioni legate a debellare la presenza di parassiti – animali o vegetali⁷⁵ – rientrano tra le opere manutentive straordinarie. È infatti possibile che soprattutto nei primi mesi di vita, o conseguentemente a errori gestionali o d'impianto, si renda necessaria la sostituzione di esemplari deceduti. Per liberare il rivestimento vegetale dalla presenza parassitaria sarà invece opportuno agire con le tecniche classiche solitamente impiegate in agronomia. In entrambi i citati casi, comunque, trattasi di opere che dovranno essere demandate a figure professionali esperte, o comunque effettuate sotto la loro supervisione.

⁷⁴ Ovviamente, quando si impieghino impianti pronto-effetto, il numero di potature riconducibili ai primi 2-3 anni non dovrà essere conteggiato.

⁷⁵ Per parassiti vegetali si intendono eventuali specie infestanti – autoctone o alloctone – che riuscissero ad approdare al rivestimento prendendo il sopravvento sulle specie originarie.

	MANUTENZIONE ORDINARIA	MANUTENZIONE STRAORDINARIA	VARIABILI D'INDICENZA SULLA FREQUENZA DELLE OPERAZIONI
SISTEMA VEGETALE	Irrigazione		<ul style="list-style-type: none"> - Specie vegetale utilizzata - stagionalità (nei periodi caldi la necessità idrica aumenta) - contesto climatico (regione climatica, esposizione solare e microclima)
	Potatura (e indirizzamento dello sviluppo vegetale)		<p>SPECIE IMPIEGATA:</p> <ul style="list-style-type: none"> - velocità di crescita - caratteristiche specifiche del vegetale - portamento (rampicante o decombente) - indice di copertura fogliare - rapporto legno/vegetazione - tipo di deciduità - produzione di fiori o frutti <p>CARATTERISTICHE EDILIZIE:</p> <ul style="list-style-type: none"> - presenza o meno di superfici trasparenti - elementi edilizi da liberare - configurazione formale delle facciate - necessità specifiche
		Concimazione e ammendanti ⁷⁶	<ul style="list-style-type: none"> - tipo d'impianto (in vaso o in piena terra) - caratteristiche del terreno o dei substrati - specie vegetale (alcune sono più aggressive di altre nei confronti del terreno)
		Trattamenti fitosanitari ⁷⁷	<ul style="list-style-type: none"> - parassiti animali - parassiti vegetali (specie infestanti autoctone o alloctone)
SISTEMA DI SUPPORTO	Monitoraggio: - stabilità formale - connessioni ed interfacce - stabilità chimica e fisica dei materiali		<ul style="list-style-type: none"> - specie vegetale - caratteristiche materiali del sistema di supporto - esposizione meteorica (sole, vento, pioggia, neve, umidità, inquinamento atmosferico, ecc.)
		Conservazione, correzione o recupero delle anomalie riscontrate	<ul style="list-style-type: none"> - entità specifica (differente da caso a caso) delle patologie riscontrate

Tab.III.112 – Schema riassuntivo delle operazioni gestionali richieste dall'installazione di un rivestimento a verde e variabili ad esse associate.

⁷⁶ Gli ammendanti consistono in particolari prodotti o soluzioni destinati a migliorare o bonificare la qualità di terreni e substrati.

⁷⁷ I trattamenti fitosanitari consistono in operazioni destinate alla salvaguardia o miglioramento della qualità dei sistemi vegetali.

Problematica gestionale diversa è quella del sistema di supporto. Esso, se ben realizzato, non dovrebbe recare particolari criticità durante il suo intero ciclo di vita, soprattutto per quei sistemi relativamente semplici composti da strutture tesate o graticci di vario genere. La questione è leggermente diversa per sottosistemi più complessi – ad esempio se composti da reticoli strutturali di vario genere in appoggio alla facciata, o quelli presentanti l'impianto in quota dei vegetali – in cui verrà necessariamente richiesto un impegno manutentivo maggiore. È comunque possibile affermare che qualsiasi sistema a supporto di vegetazione rampicante o decombente debba garantire, innanzitutto, la facilità delle opere d'ispezione nei confronti di tutte le parti o sottosistemi che lo compongono, e specificamente:

- controllo della stabilità formale delle strutture;
- ispezione della tenuta degli elementi di connessione o interfaccia fra chiusura edilizia e sistema di supporto alle piante (ad esempio viti, tasselli, staffe metalliche, ecc.) o, eventualmente di quelli che gli consentano di autoportarsi;
- verifica della stabilità chimica e fisica dei materiali, sia in assoluto (in quanto una loro degradazione potrebbe portare anche a danni molto gravi per la struttura) che nei confronti della pianta o della chiusura che ospita entrambe;
- tutte le possibili azioni di conservazione, correzione o recupero delle anomalie eventualmente riscontrate in seguito al monitoraggio.

Ulteriore questione concerne la chiusura verticale destinata a ospitare il rivestimento: se il sistema vegetale e quello finalizzato al suo supporto sono ben progettati e realizzati, essa non dovrebbe risentire in alcun modo della presenza di tali sistemi che la integrano. Perciò, una volta che il rivestimento offra la possibilità di pieno monitoraggio della retrostante parete e non vi incida negativamente in alcun senso, né dal punto di vista fisico che chimico, tutte le attività manutentive da riservare alla chiusura dipenderanno esclusivamente dalle caratteristiche tecnologiche e di degrado della stessa, esulando quindi dagli specifici argomenti di questa ricerca.

III.8. I costi dei rivestimenti vegetali

Nella realizzazione di un rivestimento a verde, essendo esso un sistema composito in appoggio ad una chiusura edilizia esistente o di nuova edificazione, saranno da collocare a bilancio due differenti voci di spesa, consistenti nella sommatoria tra i costi del sistema vegetale e quelli del sistema tecnologico di supporto. Costi innanzitutto molto variabili in funzione delle tecnologie impiegate e che, confrontando la specifica tipologia descritta all'interno del presente capitolo con quelle che saranno introdotte in quelli a venire (ossia le chiusure verticali vegetate⁷⁸), si dimostrano relativamente economici.

Quindi due sezioni di spesa difformi, rappresentate dalle piante e dal sistema strutturale destinato al loro supporto: spese che, inoltre, saranno a loro volta scindibili in due ulteriori categorie

⁷⁸ Cfr. capitolo V

dipendentemente dal fatto che si tratti di spese iniziali, ossia *costi di costruzione*, o *spese di gestione*⁷⁹ una volta che la struttura sia completata e funzionante.

Per quel che concerne la specifica tipologia oggetto del presente capitolo, inoltre, i costi totali – ossia la sommatoria di quelli di costruzione e gestionali – hanno un peso percentuale molto discordante tra loro, in quanto le spese ascrivibili ai sistemi vegetali presentano un'incidenza proporzionale assai minore rispetto a quelli tecnologici o strutturali.

I costi imputabili al sistema vegetale si risolveranno nella sommatoria tra le spese per l'acquisto delle piante e quelle relative alle varie opere necessarie per la loro messa a dimora (in terra o in vaso) in fase di realizzazione.

Strutture e sottosistemi di supporto, invece, presenteranno un prezzo altamente variabile in funzione della provenienza – industriale o semi-artigianale, originale o customizzata, ecc. – e delle proprie caratteristiche intrinseche. La stima dei costi legati alla realizzazione e messa in opera dei sottosistemi di supporto alla piante dovrà quindi tenere conto della diversità tecnologica di tutti i componenti o prodotti impiegati, piuttosto che del sistema vegetale utilizzato: apparato vegetale che, come detto, avrà un peso percentuale limitato nei confronti del costo finale dell'opera.

L'autorevole associazione americana *Green Roofs for Healthy Cities* (che per prima al mondo si è posta l'obiettivo di studiare la questione delle superfici verticali a verde nella loro possibile importanza e contribuzione a livello energetico o climatologico) propone, con l'obiettivo della valutazione dei costi di costruzione, una *check-list* finalizzata a comprendere quali siano le lavorazioni da mettere a bilancio quando si vada a misurarsi con la realizzazione di un rivestimento a verde⁸⁰. La scelta di *Green Roofs for Healthy Cities* è quindi quella di illustrare quali possano essere le opere o lavorazioni necessarie, piuttosto che addentrarsi nella difficoltosa – e probabilmente scarsamente realistica – stima di valori medi al metro quadro che tentino di confrontare la miriade di sistemi, anche molto differenti tra loro, oggi rilevabili sui mercati globali. Le voci di spesa suggerite dall'associazione statunitense sono quindi le seguenti:

- dimensioni del progetto;
- costi di progettazione;
- tipo di sistema utilizzato;
- requisiti del sistema di supporto (il costo del sistema varierà proporzionalmente alla complessità tecnologica richiesta);
- localizzazione geografica d'inserimento;
- complessità del progetto e impiego di componenti standardizzate o personalizzate;
- condizioni del sito di progetto e possibilità di accesso;
- costo d'installazione;
- disponibilità di materiali e componenti;
- scadenze di progetto (eventuali limiti temporali per la chiusura del cantiere);
- tipologia e specificità d'impianto;
- cicli di manutenzione preventivati.

⁷⁹ Andranno inseriti fra i costi gestionali anche quelli comprendenti tutte le attività di dismissione dell'opera alla fine del proprio ciclo di vita utile.

⁸⁰ GRHC – GREEN ROOFS FOR HEALTHY CITIES, *Introduction to Green Walls – Technology, Benefits & Design*, in bibl., p.29

Quanto appena descritto si riferisce esclusivamente ai costi di costruzione di una parete rivestita da vegetazione. Ulteriore problema, che avrà un peso economico non trascurabile nel ciclo di vita utile del manufatto, sarà quello gestionale. Anche qui, considerata l'eterogeneità dell'offerta edilizia e di mercato oggi esistente, unitamente alla grande variabilità ottenibile con l'azione progettuale, sarebbe altamente difficoltoso – e probabilmente dispersivo – fornire delle valutazioni economiche di massima che fossero anche solo vicine alla realtà o alla complessa situazione produttiva. Ciò perché tali sistemi d'inverdimento sono caratterizzati da una bassissima uniformità costruttiva o procedurale, e tanto meno presentano specifica normazione di riferimento. Si ritiene perciò utile, in questa sede, fornire un modello finalizzato alla stima dell'opera progettata o in via di realizzazione, così da poter permettere ad un ipotetico professionista o committente di orientarsi, comprendere e quantificare a priori quali e quante potrebbero essere le lavorazioni di cui abbisogni un dato rivestimento una volta che ci si cali nel caso specifico.

In Tab.III.113 sono riportate, per quanto riguarda i differenti momenti di vita di un manufatto architettonico che vanno dalla sua ideazione alla fase gestionale, quelle che sono le “voci di spesa” caratterizzanti e che andrebbero, caso per caso, computate a bilancio. Il tutto con l'obiettivo di fornire uno strumento operativo volto alla stima economica dei costi costruttivi e gestionali di un edificio che presenti una o più pareti completamente o in parte rivestite da vegetazione.

COSTI	REALIZZAZIONE	<ul style="list-style-type: none"> - materie prime, strutture costruttive, sistemi tecnologici - progettazione (diverse figure professionali coinvolte: architetto, ingegnere strutturista, agronomo, ecc.) - costi di cantierizzazione
	GESTIONE E MANUTENZIONE	SISTEMA VEGETALE
		<ul style="list-style-type: none"> - preparazione dei terreni - impianto d'irrigazione e spese di materia prima - concimazione dei terreni (eventuale ed in itinere) - manutenzioni ordinarie - trattamenti straordinari (eventuali)
		SISTEMA DI SUPPORTO (strutture, sottosistemi, componenti, impianti tecnici)
		<ul style="list-style-type: none"> - ispezione e controllo - pulitura - attività di conservazione e verifica - adeguamento o ripristino (ad esempio eventuale sostituzione di parti fisiche danneggiate)

Tab.III.113 – Voci di spesa che andranno computate in base ai differenti sistemi prescelti per la realizzazione del rivestimento a verde. Dalla tabella sono stati volontariamente estromessi i costi della chiusura edilizia ospitante il rivestimento: si considera perciò il rivestimento composto esclusivamente dal sistema vegetale e da quello di supporto.

Le voci di spesa indicate interessano le opere architettoniche relative ai rivestimenti a verde, quindi comprensive di tutti gli elementi e sottosistemi che compongano il rivestimento stesso, ma non quelli della chiusura ospitante considerata, in questo caso, come pre-esistenza. Inoltre, visti i possibili e differenziati gradi di complessità tecnologica e stratigrafica che alcune tipologie di facciate verdi presentano rispetto ad altre, le “voci di spesa” non saranno sempre tutte computabili rispetto a qualsiasi tipologia di chiusura, ma andranno di volta in volta adattate al caso specifico e alla tipologia sistemica prescelta: esse, quindi, andranno caso per caso valutate ed eventualmente estromesse dal computo. La tabella riportata vuole rappresentare un modello applicativo, semplificato e speditivo, per l’orientamento del progettista – o chi per esso – nelle fasi di scelta progettuale, utile ad una stima dei costi globali dell’opera.

Come visto, tali tecnologie, permettendo un effettivo e non trascurabile miglioramento delle prestazioni globali⁸¹ di un manufatto architettonico, potrebbero non venire identificate esclusivamente con costi e spese di realizzazione o gestionali; ma, volendo approdare ad un modello che effettivamente riesca a delineare con completezza quale potrebbe essere la loro effettiva contribuzione monetaria, andrebbero opportunamente collocati a bilancio anche i guadagni – monetizzabili o meno – conseguenti al loro impiego. Ecco quindi che la tabella di stima vista in precedenza potrebbe essere modificata nel modo schematizzato in Tab.III.114, così da tenere in considerazione non solo le spese imputabili al rivestimento vegetale, ma anche i proventi monetari conseguenti ad una sua installazione e potenzialmente ricavabili nel medio/lungo periodo.

I punti componenti la tabella vista in precedenza verranno quindi modificati e sdoppiati in “voci di spesa” (declinate sottoforma di costi e contrassegnate dal simbolo [-] in Tab.III.114) o “voci di guadagno” (col simbolo [+]); intendendo come guadagni tutte le *mancate* spese conseguenti all’utilizzo di sistemi che permettano un aumento dell’efficienza energetica complessiva del manufatto, consentendogli quindi un risparmio economico sui costi gestionali, e che andrebbero perciò debitamente computate all’interno delle azioni di quantificazione economica nel medio/lungo periodo.

⁸¹ Con “prestazioni globali” si intendono non solo le caratteristiche di miglioramento dell’efficienza energetica – caratteristiche tutto sommato facilmente monetizzabili – ma anche quelle acustiche, igieniche, di salubrità dell’aria e psicologiche derivanti dalla vista e dalla vita a contatto con le piante. Cfr. paragrafo III.4.1 e Cap.VII

COSTI E GUADAGNI	REALIZZAZIONE [-]	<ul style="list-style-type: none"> - materie prime, strutture costruttive, sistemi tecnologici - progettazione (diverse figure professionali coinvolte: architetto, ingegnere strutturista, agronomo, ecc.) - costi di cantierizzazione
	GESTIONE E MANUTENZIONE [-]	SISTEMA VEGETALE
		<ul style="list-style-type: none"> - preparazione dei terreni - impianto d'irrigazione e spese di materia prima - concimazione dei terreni (eventuale ed in itinere) - manutenzioni ordinarie - trattamenti straordinari (eventuali)
		SISTEMA DI SUPPORTO (strutture, sottosistemi, componenti, impianti tecnici)
		<ul style="list-style-type: none"> - ispezione e controllo - pulitura - attività di conservazione e verifica - adeguamento o ripristino (ad esempio eventuale sostituzione di parti fisiche danneggiate)
	BENEFICIO [+]	MONETIZZABILE
		<ul style="list-style-type: none"> - miglioramenti nell'efficienza energetica dell'edificio - eventuali entrate secondarie: agevolazioni fiscali e normative (ad esempio <i>LEED</i>), biomassa ricavata e riutilizzabile, ecc.
		DIFFICILMENTE MONETIZZABILE
		<ul style="list-style-type: none"> - miglioramento dell'efficienza acustica - benefici ambientali (condizionamento microclimatico degli ambienti interni ed esterni, qualità dell'aria, ecc.) - altri (beneficio sanitario, psicologico, estetico, possibilità di coltivazione ortofrutticola in parete, ecc.)

Tab.III.114 – Integrazione della precedente Tab.III.113 mediante i guadagni ricavabili dall'installazione del rivestimento a verde. Voci di spesa e di guadagno che andranno differenziate in base ai sistemi prescelti per realizzare il rivestimento vegetale. Alcuni benefici qui riportati, seppur indiscutibili e importanti, essendo molto difficili da quantificare sono stati declinati all'interno della categoria del *DIFFICILMENTE MONETIZZABILE*.

III.9. Fonti di riferimento

In questo ultimo paragrafo verranno citati i riferimenti sia bibliografici che derivanti dalla consultazione di pagine *web*, utilizzati nella redazione del capitolo. Tutti i titoli qui segnalati saranno riportati anche nella *Bibliografia e sitografia generale*, reperibile nelle pagine finali della ricerca.



Fig.III.115 – A sinistra. Expo di Shanghai, Cina, 2010: esempio di sperimentazione artistica che impieghi un rivestimento a verde. Questo diaframma edilizio semitrasparente è realizzato mediante l’impianto in quota di piante rampicanti, dove i vasi sono formati da canne di bambù mozzate, ognuna contenente piante e substrati. Il sistema di supporto alla crescita della vegetazione consiste in una rete metallica a maglie quadrate. (Fonte: Giovanni Zannoni)

Fig.III.116 – A destra. Eskyiu, *Urban Pastoral*, Biennale di Architettura di Venezia, 2008. Installazione realizzata mediante vasi pendenti da una struttura metallica: tali vasi contengono specie floreali a portamento decombente. L’idea alla base del progetto è quella di creare un prototipo che possa contribuire a riportare la vegetazione all’interno della iper-urbanizzata metropoli di Hong Kong.

III.9.1. Bibliografia tematica

1. ABRAM, PAOLO, *Giardini pensili – Coperture a verde e gestione delle acque meteoriche*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2004, pp.239
2. ARIAUDO, FEDERICA, CORGNATI, STEFANO, FRACASTORO, GIAN VINCENZO, RAIMONDO, DANIELA, “Verso un edificio con pelle verde – Il ruolo del verde nel controllo microclimatico”, *CASA & CLIMA*, n.17, gennaio-febbraio 2009, pp.66-72
3. ARIAUDO, FEDERICA, CORGNATI, STEFANO, FRACASTORO, GIAN VINCENZO, RAIMONDO, DANIELA, “Cooling load reduction by green walls: results from an experimental campaign”, *Atti del 4th International Building Physics Conference*, Istanbul, Turchia, 15-18 giugno 2009
4. ARIAUDO, FEDERICA, FRACASTORO, GIAN VINCENZO, “Il verde parietale come elemento di controllo dei carichi termici”, *Il Progetto Sostenibile*, n.15, 2007, pp.56-65
5. BAUMANN, RUDI, *Begrünte Architektur*, Monaco, Callwey, 1985, pp.243

6. BELLINI, OSCAR EUGENIO, DAGLIO, LAURA, *Verde Verticale – Aspetti figurativi, ragioni funzionali e soluzioni tecniche nella realizzazione di living walls e green façades*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli Editore, 2009, pp.343
7. BELLOMO, ANTONELLA, *Pareti verdi – Nuove tecniche*, II edizione, Napoli, Sistemi Editoriali, 2009, pp.235 (ed. orig. BELLOMO, ANTONELLA, *Pareti verdi – Linee guida alla progettazione*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2003, pp.155)
8. CARRIA, FABIO, “Le facciate verdi”, pp.59-66, in *Il rinnovo delle facciate – Nuovi ruoli dell’involucro edilizio*, Palermo, Dario Flaccovio Editore, 2009
9. CECCHERINI NELLI, LUCIA, “Schermature per esterno”, pp.81-109, in SALA, MARCO (a cura di), *Schermature solari*, Firenze, Alinea, 2000
10. CHIUPPANI, ANNA ELISA, PREST, TATIANA, *La progettazione del verde per il controllo microclimatico*, Monfalcone, EdicomEdizioni, 2008, pp.119
11. CORRADO, MAURIZIO (a cura di), *Il Verde Verticale*, Bologna, Sistemi Editoriali, 2010, pp.224
12. D.P.R. n.380 del 6 giugno 2001, *Testo unico delle disposizioni legislative e regolamenti in materia di edilizia*, pp.52
13. DE FAVERI TRON, FLAMINIA, “Verde verticale”, *Ville Giardini*, n.268, anno 1992, pp.90-93
14. DI, H. F., WANG, D. N., “Cooling effect of ivy on a wall”, *Experimental heat transfer*, n.12, 1999, pp.235-245
15. DUNNETT, NIGEL, KINGSBURY, NOEL, “Façade Greening”, pp. 190-238, in *Planting Green Roofs and Living Walls*, London, Timber Press, 2008
16. FABRIS, LUCA MARIA FRANCESCO, *Tecnonatura: progetti per la rivoluzione ambientale*, Santarcangelo di Romagna (RN), Maggioli Editore, 2009, pp.252
17. FARESIN, ANNA, “Il verde come sistema di schermatura”, pp.130-149, in TATANO, VALERIA (a cura di), *VERDE: naturalizzare in verticale*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli Editore, 2008
18. FILESI, LEONARDO, *Dispense del corso di Botanica – Prima parte*, Università IUAV di Venezia, Facoltà di Architettura, Corso per le lauree specialistiche, Venezia, A.A. 2006-07, pp.36
19. FILESI, LEONARDO, *Dispense del corso di Botanica – Seconda parte*, Università IUAV di Venezia, Facoltà di Architettura, Corso per le lauree specialistiche, Venezia, A.A. 2006-07, pp.83
20. GERI, VINCENZO, *Progettare l'ambiente, progettare nell'ambiente*, Milano, Il Sole 24 Ore/Pirola, 2002, pp.926
21. GRHC – GREEN ROOFS FOR HEALTHY CITIES, *Introduction to Green Walls – Technology, Benefits & Design*, pubblicazione on-line disponibile all'indirizzo <http://www.greenroofs.org>, 2008, pp.38
22. HERZOG, THOMAS, KRIPPNER, ROLAND, LANG, WERNER, *Atlante delle facciate*, Torino, UTET Professionale S.r.l., 2005, pp.320
23. HOYANO, AKIRA, “Climatology uses of plants for solar control and the effects on thermal environment of a building”, *Energy and Buildings*, n.11, 1988, pp.181-199
24. IP, K., LAM, M., MILLER, M., “Bioshaders for sustainable buildings”, in *CIB World Building Congress 2004, 02-07/05/2004*, Toronto, Ontario, Canada
25. LAMBERTINI, ANNA, *Giardini in verticale*, Firenze, Verbavolant, 2007, pp.240
26. LONGHI, GIUSEPPE, “Vegetazione – Aumentare l'autosostenibilità dell'edificio”, pp.101-103, in *Linee guida per una progettazione sostenibile*, Roma, Officina edizioni, 2003
27. PAGANIN, GIANCARLO (ed. ital. a cura di), *Guida alle tecniche di costruzione – Volume II: Strutture e involucro*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2006, pp.330

28. PAPADAKIS, G., TSAMIS, P., KYRITSIS, S., "An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buildings", *Energy and buildings*, n.33, 2001, pp.831-836
29. PIGNATTI, SANDRO, *Flora d'Italia*, Opera in 3 volumi, Bologna, Edagricole, 2002 (ed. orig. 1982), pp. tot.2302
30. POLI, TIZIANA, "Architettura ...in vegetale - Non solo moda", *Modulo*, n.320, aprile 2006, pp.274-280
31. POLI, TIZIANA, "Pelle verde", *Modulo*, n.319, marzo 2006, pp.164-172
32. POLI, TIZIANA, "Verde in quota", *Modulo*, n.324, settembre 2006, pp.786-790
33. POLI, TIZIANA, FIORI, MATTEO, GATTONI, LUCA, ZAPPALÀ, DANIELE, DAGNA, PARIDE, "Il respiro della città. L'influenza dell'involucro verde sulle variazioni microclimatiche nell'area metropolitana milanese," pp.479-488, in *Artec, L'involucro edilizio*, atti del convegno ARTEC 2007 – Ancona 22-24/11/2007
34. REDAZIONALE DI *The Architectural Review*, "Vertical garden city", *The Architectural Review*, n.1137, 1991, pp.38-41
35. ROGORA, ALESSANDRO, "Eco Buildings in Hot Climate – EQUILIBRIO TRA ILLUMINAZIONE ED APPORTI SOLARI PER IL COMFORT VISIVO", Atti del convegno *In Case Of Sun*, Bolzano, Libera Università di Bolzano, 29 aprile 2010
36. ROMEO, MONICA, VALERIO, LUCIA, "Giardini verticali", *Ville Giardini*, n.6, anno 2004, pp.146-151
37. SCHITTICH, CHRISTIAN (a cura di), *Involucri edilizi - Progetti, strati funzionali, materiali*, Monaco, Edizioni DETAIL, 2003, pp.196
38. SCUDO, GIANNI, LICATA, SIMONETTA, "Il verde come elemento del progetto", *L'architettura naturale*, n.1, giugno 1998, pp.18-19
39. STEC, W.J., VAN PAASSEN, A.H.C., MAZIARZ, A., "Modelling the double skin facade with plants", *Energy and buildings*, n.37, 2005, pp.419-427
40. TATANO, VALERIA (a cura di), "Involucri vegetali", *Costruire*, n.307, dicembre 2008, pp.63-70
41. TUCCI, FABRIZIO, "Schermature mobili verticali in facciata e copertura", pp.242-246, in *Involucro ben temperato - Efficienza energetica ed ecologica in architettura attraverso la pelle degli edifici*, Firenze, Alinea, 2006
42. ZAIYI, LIAO, NIU, J. L., *Study on thermal function of ivy-covered walls*, 6th International IBPSA Conference, 1999

III.9.2. Sitografia tematica⁸²

- <http://www.archdaily.com>

Archdaily è la rivista on-line di architettura più visitata al mondo.

- <http://www.emilioambaszandassociates.com>

Sito dello studio internazionale di progettazione *Emilio Ambasz & Associates Inc.*

⁸² Ultima visita ai siti web di seguito citati: martedì 15 febbraio 2011.

- <http://www.cyberarchi.com>

Cyber Archi è un portale d'informazione in lingua francese, incentrato su discipline quali architettura, pianificazione e design.

- <http://www.plataformaarquitectura.cl>

Plataforma Arquitectura è una rivista on-line di architettura, con base in Cile.

- <http://www.treccani.it>

Portale a cura dell'Istituto Treccani, contenente la versione telematica dell'omonima enciclopedia.

- <http://www.arqa.com>

Arqa è una «comunità aperta di architettura, costruzione e progettazione».

- <http://www.metabolicity.com>

Metabolicity è «un'impresa a carattere sociale e di ricerca, caratterizzata da una visione urbana finalizzata alla metabolizzazione delle risorse e dei rifiuti per il supporto e il nutrimento dei suoi abitanti. Basata su principi ecologici, *Metabolicity* offre strumenti creativi e servizi che includono workshop, sistemi per la coltivazione e l'agricoltura urbana, e network di collaborazione.»

- <http://commons.wikimedia.org>

Wikimedia Commons è una raccolta di files multimediali (immagini, video, ecc.) gratuiti e a licenza libera.

- <http://www.heraldo.es>

Heraldo è un sito di news e informazione in lingua spagnola.

- <http://www.parlamento.it>

Sito ufficiale del Parlamento Italiano. Oltre ai resoconti della attività parlamentari, vi si possono reperire i testi delle varie leggi e normative nazionali.

- <http://www.brandmeier.de>

Brandmeier, ditta tedesca produttrice di sistemi metallici: alcuni di questi sono dedicati al rivestimento vegetale.

- <http://www.tecnoimage.it>

L'azienda italiana *Tecnoimage* produce il sistema *Greenover* (composto da una rete in fibra di vetro e resine poliesteri termoindurenti) per rivestimenti a verde.

- <http://www.decorcable.com>

Carl Stahl DécorCable: ditta statunitense specializzata nella realizzazione di sistemi metallici (grigliati e a cavi tesati) per il rivestimento vegetale.

- <http://newsite.geoplast.it/ita/verde/wall-y>

Geoplast produce il sistema brevettato modulare *Wall-y* per rivestimenti a verde.

- <http://www.designeringsrl.com>

Designering, ditta produttrice di sistemi metallici. Tale azienda produce anche la linea *Unica Green* per l'inverdimento parietale.

- <http://www.s3i.co.uk>

S3i – Stainless Steel Solutions, azienda inglese produttrice di sistemi metallici: alcuni di questi sono dedicati al rivestimento a verde.

- <http://www.jakob.ch>

Jakob, ditta svizzera produttrice di sistemi a cavi tesati in acciaio inox per rivestimenti a verde.

- <http://www.ntanet.it>

Nuove Tecnologie Ambientali (NTA) è un'azienda specializzata nella produzione di sistemi e materiali per l'ingegneria ambientale.

- <http://www.ilcantieresrl.it>

Pagina ufficiale del sistema *South Face – Verdeverticale* per l'inverdimento "puntuale" di pareti edilizie verticali. Sistema ideato dall'architetto Massimo Iosa Ghini e prodotto dalla ditta ilCANTIERE.



IV. Note in materia di agronomia e botanica

L'elemento più importante in un sistema tecnologico come quello del verde parietale è la componente vegetale. Vista l'interdisciplinarietà caratterizzante l'argomento di ricerca, e la generalmente scarsa conoscenza in materia di organismi vegetali imputabile alle figure professionali legate alle varie discipline dell'architettura, si ritiene necessario fornire ai possibili fruitori del presente studio alcune basi e conoscenze generalizzate relative a botanica, ecologia vegetale, agronomia e fitosociologia². Pienamente consci del fatto che tali materie siano discipline complesse e, quindi, interessate da figure professionali e scientifiche specialistiche, si rivela comunque essenziale poter munire un potenziale utilizzatore del presente lavoro di alcune informazioni sulla dinamica evolutiva, biologica e strutturale dei vegetali: per questo, all'interno del capitolo, saranno presenti sia considerazioni generalizzate in materia di botanica e agronomia vegetale, che nozioni più specifiche, tese alla selezione delle piante da impiegare in parete. Il tutto comunque evidenziando fin da subito, una volta ancora, la necessità della collaborazione con una figura esperta di piante – come un agronomo o un botanico – fin dalle prime fasi del processo progettuale, qualora si decida di confrontarsi operativamente con l'integrazione fra vegetazione e chiusure verticali nel progetto di architettura.

Sarà inoltre necessario contestualizzare le varie considerazioni e il campo d'indagine alle differenti casistiche climatiche, al fine di ribadire l'indissolubile relazione fra clima e struttura vegetale delle piante, per attenersi, in modo maggiormente preciso, al tema di ricerca. Necessario evidenziare anche in questa sede quali siano le accortezze e le conoscenze da considerare preventivamente all'approccio progettuale per le tecnologie oggetto d'indagine, che implicano una forte complementarità tra il sistema vegetale e gli apparati tecnologici che compongono l'involucro: obiettivo primario dell'integrazione fra sistema tecnologico e vegetale dovrà essere innanzitutto quello di garantire ottimale sopravvivenza e sviluppo biologico alle piante interessate. Specie vegetali che però, a loro volta, non dovranno interagire in modo sfavorevole ai retrostanti apparati o sottosistemi.

Doveroso evidenziare anche che, essendo state esaurientemente esplicitate nel capitolo precedente le tecnologie per la realizzazione dei rivestimenti a verde, d'ora in avanti ci si concentrerà esclusivamente sulle specie di piante impiegabili con *chiusure verticali vegetate* e *muri vegetali*. Seppur alcune delle considerazioni di seguito introdotte possano risultare comunque valide anche per le varie tipologie di specie rampicanti, il presente capitolo sarà esclusivamente tarato sulle piante associabili alle tecnologie di Verde Verticale maggiormente evolute. Inoltre, grazie a tali innovativi sistemi, quasi tutte le tipologie di specie risulteranno impiegabili, una volta che ne vengano rispettate le esigenze ecologiche e fisiologiche: ciò consiste in una motivazione ulteriore per cui tale trattazione generale dell'argomento possa risultare comunque preziosa, anche per una ricerca tendenzialmente *applicata* come quella proposta.

¹ L'immagine della pagina precedente ritrae gli apparati fogliari a *viticcio* di una pianta di *Vitis Vinifera*.

² La *botanica* è la scienza che si occupa di studiare e classificare i vegetali. L'*ecologia vegetale* indaga le relazioni tra gli organismi vegetali e il loro ambiente naturale, inteso sia come l'insieme dei fattori chimico-fisici (clima, tipo di suolo, luce, nutrimento, ecc) che come l'insieme dei fattori biologici (parassitismo vegetale, competizione fra piante, simbiosi, ecc), che influiscono sulla vita degli organismi stessi. L'*agronomia* è incentrata sulla coltivazione razionale delle piante, concentrandosi specificamente sull'assetto e lo sfruttamento più redditizi del terreno agricolo. La *fitosociologia* è la disciplina che indaga le modalità di convivenza delle specie vegetali e la loro dinamica di successione e variazione all'interno di un appezzamento terriero. (Fonte: <http://www.treccani.it>)

IV.1. Introduzione al concetto di clima

La distribuzione degli esseri viventi sulla Terra (e delle specie vegetali soprattutto), le caratteristiche dei suoli e la stessa attività umana sono fortemente condizionati dal clima, e cioè dall'*insieme delle condizioni meteorologiche che mediamente caratterizzano una determinata regione*. Per descrivere il clima di una data area climatica si ricorre ad alcune grandezze dette *elementi del clima*, che a loro volta dipendono da diversi *fattori climatici*.

Gli *elementi del clima* sono i seguenti:

- temperatura;
- pressione atmosferica;
- flussi ventosi;
- umidità dell'aria;
- precipitazioni atmosferiche;

e rappresentano le specifiche caratteristiche di una data zona climatica. Essi dipendono da alcuni *fattori del clima*, quali:

- latitudine;
- altitudine sul livello medio del mare;
- distanza dalle coste;
- presenza di catene montuose;
- esposizione al sole e ai venti dominanti.

Data la grande variabilità di elementi e fattori climatici, sul nostro pianeta esiste una notevole varietà di climi che, tuttavia, vengono riuniti dagli studiosi³ in alcuni macrogruppi e gruppi in funzione della distribuzione geografica delle associazioni vegetali *tipiche*: associazioni corrispondenti al numero e alle caratteristiche peculiari delle specie vegetali che insistono su una data regione climatica. Tale eterogeneità di climi mondiali, comprensivi a loro volta di un'infinità di sfaccettature che ne rendono impossibile una definizione zonale netta ed indiscutibile, è stata convenzionalmente ridotta a un numero limitato di gruppi climatici che interessano vaste aree del pianeta: ciascun gruppo climatico a propria volta comprende diversi tipi climatici riguardanti aree più ristrette.

Escludendo l'intervento umano come agente artificiale di diffusione delle specie animali e vegetali sulla Terra⁴, è possibile affermare che nei millenni di evoluzione storica delle specie la distribuzione planetaria degli organismi è dovuta essenzialmente alle particolari condizioni climatiche che caratterizzano una determinata regione: spostandosi dall'Equatore verso i poli, in entrambi gli emisferi, sono notevoli le differenze climatiche e le associazioni di organismi che è possibile individuare. Tale differenziazione *specificata*⁵ è dovuta alle caratteristiche (climatiche) di una data

³ Esistono diverse modalità di classificazione tra loro più o meno divergenti, ma quella più diffusa e considerata maggiormente autorevole è stata stilata dal meteorologo russo Wladimir Köppen (1864-1940): tale classificazione si basa appunto sulla distribuzione geografica delle associazioni vegetali, considerando quindi le caratteristiche fisiche e fisiologiche delle piante come indicatore privilegiato dell'azione climatica agente su di esse.

⁴ Si rimanda al paragrafo IV.2 per un approfondimento delle argomentazioni riguardanti la modalità di diffusione delle specie direttamente imputabile all'uomo.

⁵ D'ora in avanti, all'interno del presente capitolo, l'aggettivo *specifico/a* andrà sempre interpretata con il suo significato più esteso, ossia di «inerente a una data specie»: cfr. <http://www.treccani.it>

regione climatica, che a loro volta sono diretta conseguenza del tempo atmosferico che vi agisce direttamente. La differenza intercorrente tra *clima* e *tempo* (atmosferico), però, viene spesso fraintesa.

Per **tempo atmosferico** si intende il complesso delle condizioni meteorologiche – temperatura, pressione, umidità, che sono direttamente responsabili dei venti, della copertura nuvolosa e delle precipitazioni – che caratterizzano la troposfera (ossia lo strato più basso dell'atmosfera) in un dato momento⁶ e luogo.

Il **clima** rappresenta l'insieme delle condizioni meteorologiche (cioè del tempo) che è possibile rappresentare per un dato luogo nell'arco annuale, sulla base di rilevazioni effettuate per un periodo di almeno 30 anni. La possibilità di rapportare quanto ricavato da misurazioni trentennali all'interno di una rappresentazione annuale è fornita dai diagrammi termopluviometrici, ossia dei particolari grafici che riescono a relazionare, incrociandole, temperatura e piovosità medie di un luogo (o in una data regione) nell'arco dei dodici mesi⁷: tali diagrammi permettono di comprendere i periodi annuali di aridità o abbondanza di idrometeorie per una data regione geografica, mettendo a sistema temperature e precipitazioni che sono, del clima, «i due elementi maggiormente diagnostici»⁸.

Gli *elementi* che riescono a descrivere le caratteristiche climatiche di una data area o regione sono quelli relativi alle numerose stazioni di rilevazione sparse nel mondo, e sono direttamente dipendenti dalla collocazione geografica di un dato luogo (e quindi, conseguentemente, dei fattori del clima differenti da regione a regione). Essi sono i seguenti:

- la *latitudine* è la distanza angolare di un punto dall'Equatore; essa influisce sulla temperatura, che diminuisce procedendo dall'Equatore verso i poli (maggiore è la distanza di una regione dall'Equatore, più elevata sarà l'inclinazione dei raggi solari sulla superficie terrestre: in conseguenza di ciò si viene a ridurre il calore dell'irraggiamento che raggiunge la superficie);
- l'*altitudine* è l'altezza di un punto rispetto al livello del mare, ed influisce su temperatura e piovosità. La temperatura diminuisce di circa 0,6 °C ogni 100 m di ascensione; più elevata è la quota altimetrica maggiore sarà la possibilità che si formino nubi;
- l'*esposizione solare* determina la temperatura; nell'emisfero Boreale le aree esposte a Sud godono di un periodo di insolazione maggiore di quelle esposte a Nord, mentre nell'emisfero Australe la situazione è opposta;
- la *distanza dal mare* influisce su temperatura e umidità. A causa delle diverse capacità termiche fra acqua e terraferma i territori dell'entroterra si riscaldano più dei mari durante il giorno e durante la stagione estiva; ne derivano, perciò, escursioni termiche giornaliere e annue più marcate sulla terraferma, in modo proporzionale all'aumentare della distanza dal mare; inoltre, lungo le coste il clima è tendenzialmente più umido che all'interno, a causa dell'evaporazione marina;

⁶ Per *momento* si considera un intervallo di tempo breve, che può essere di un giorno o di alcuni giorni (ma anche, eventualmente, di un'ora, di un minuto, ecc). La scienza che studia il tempo atmosferico è la meteorologia.

⁷ La scienza che studia i vari *fattori* che determinano un clima (attingendo le informazioni dalla meteorologia) è la climatologia: essa si occupa anche dei reciproci rapporti tra i diversi fattori, della loro influenza sull'ambiente fisico e biologico e delle variazioni che subiscono in relazione alle condizioni geografiche.

⁸ FILESI, LEONARDO, *Dispense del corso di Botanica – Seconda parte*, in bibl., p.21

- anche le *correnti marine* influiscono sul clima. Esse, scorrendo in modo differenziato all'interno della massa acquee maggiore rappresentata da mari e oceani, influiscono sulle condizioni di temperatura una volta che lambiscono le coste di un continente⁹;
- l'esposizione ai *venti* incide sulla temperatura, sull'umidità e sulla piovosità. I versanti esposti verso il mare sono tendenzialmente umidi e freschi, quelli della parte opposta risultano caldi e asciutti;
- la presenza di *catene montuose* ha un ruolo nella determinazione dei climi a livello locale, interagendo per esempio coi venti – che potrebbero venirci ostacolati – o influenzando la temperatura, a seconda che si consideri il versante esposto al sole o quello in ombra.

IV.1.1. La classificazione climatica

L'estrema variabilità dei fattori climatici e la loro interazione determinano la presenza sulla Terra di una grande differenziazione di climi locali; tuttavia, il loro numero viene generalmente ridotto ad un range più limitato di zone climatiche che interessano vaste aree della Terra. La modalità di classificazione più diffusa³ si basa sulla distribuzione geografica delle associazioni vegetali: indice che tende ad inglobare all'interno della medesima categoria l'insieme delle diverse specie caratteristiche per ogni determinata area. Tale concetto gode comunque di una indissolubile alternanza in quanto, avendo le piante determinate esigenze climatiche – di temperatura, di umidità dell'aria e dell'acqua di cui disporre, ecc. – per poter vivere e crescere in una certa zona, le associazioni vegetali sono anche ascrivibili ad indice climatico per ogni differente regione.

La classificazione di Köppen prevede cinque *gruppi climatici* – altrimenti detti *classi climatiche* – fisicamente schematizzabili come fasce orizzontali nella direzione dei paralleli e simmetrici nei due emisferi planetari: essi corrispondono alle grandi associazioni vegetali globali, dipendenti, come detto, soprattutto da temperature e precipitazioni medie annuali; è quindi evidente come associazioni vegetali e condizioni climatiche godano di stretta reciprocità. All'interno dei gruppi climatici così formati sono compresi inoltre diversi *tipi climatici*, tesi a differenziarli ulteriormente sempre in funzione della quantità e alla distribuzione stagionale delle precipitazioni medie (Fig.IV.1).

I gruppi climatici si distinguono in¹⁰:

- climi *megatermici*, in cui la temperatura media del mese più freddo è superiore a 15 °C. Essi sono distinguibili in climi megatermici *umidi* e *aridi* a seconda della quantità delle precipitazioni;
- climi *mesotermici*: la temperatura media del mese più freddo è compresa tra 2 e 15 °C;
- climi *microtermici*, in cui la temperatura media del mese più freddo è uguale o inferiore a – 2 °C e la temperatura media del mese più caldo è uguale o superiore a 10 °C;
- climi *nivali*: la temperatura del mese più caldo è inferiore a 10 °C.

⁹ Ad esempio, la Norvegia che viene lambita dalla corrente del Golfo – corrente calda che ha origine nel golfo del Messico – presenta un clima medio più mite della Groenlandia. Quest'ultima, seppur situata alla stessa latitudine della prima ne risulta mediamente più fredda a causa della corrente del Labrador – molto più fredda – che ne lambisce le coste.

¹⁰ Si rimanda al paragrafo IV.5.2 per una suddivisione del regno vegetale effettuata mediante gli stessi canoni, quindi relativa alle escursioni termiche.

Non esiste un confine netto fra zone adiacenti appartenenti a gruppi o a tipi climatici diversi: il passaggio da un gruppo o tipo climatico a un altro avviene in modo graduale, per cui esistono zone caratterizzate da climi di transizione. Zone di transizione in cui sarà inoltre riscontrabile una certa alternanza o promiscuità vegetale specifica, causata, come enunciato in precedenza, dalla difficoltà di delineare precisi confini a classi o tipi climatici zonali.

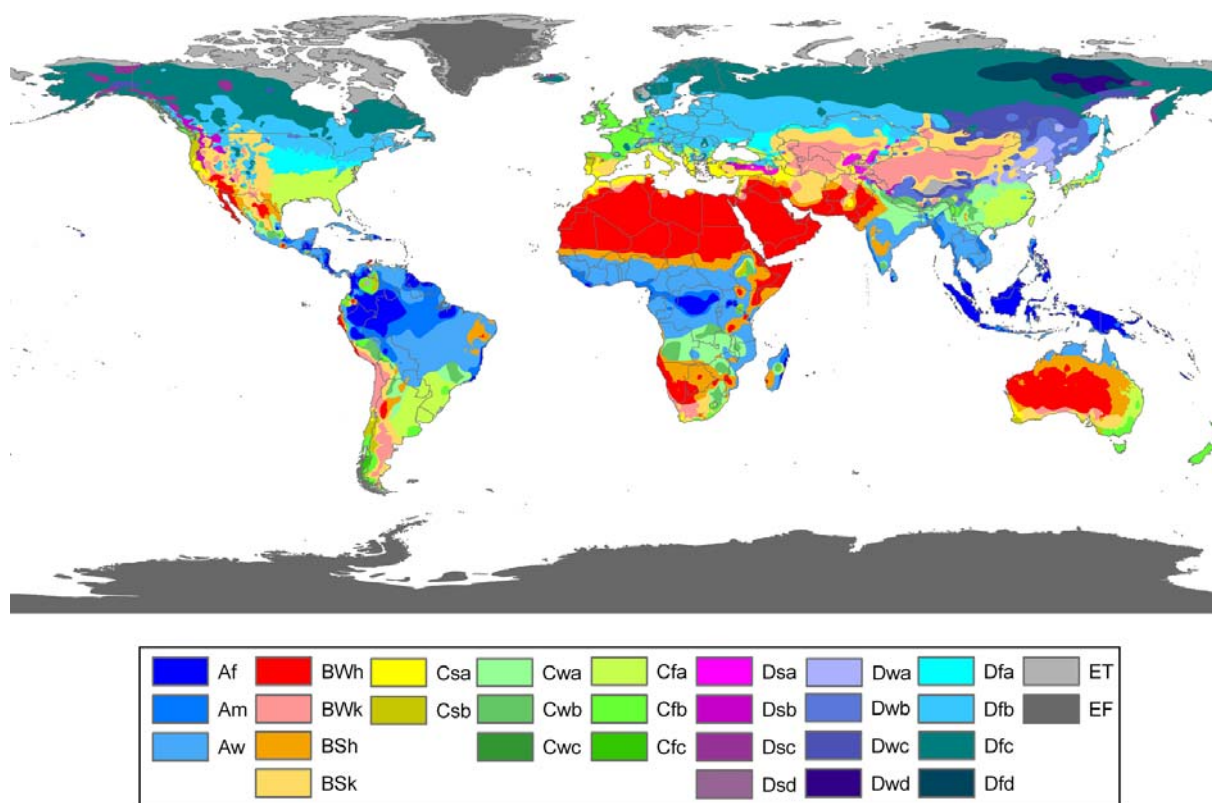


Fig.IV.1 – Classificazione climatica mondiale secondo Köppen e Geiger. La mappa è elaborata mediante una formula climatica basata sui regimi annui di temperature e precipitazioni. In legenda le diverse lettere maiuscole (da “A” ad “E”) all’inizio di ogni sigla corrispondono alle cinque grandi *classi* climatiche: A= climi umidi della zona intertropicale; B= climi aridi; C= mesotermici umidi o temperati; D= microtermici boreali o umidi freddi; E= polari. Ogni grande classe climatica è a sua volta suddivisibile in *tipi climatici*, derivanti dalle precise caratteristiche delle varie zone che compongono tali gruppi. Dalla mappa è visibile come l’Italia rientri nella fascia dei mesotermici. (Rielaborazione da: <http://upload.wikimedia.org>)

Il gruppo climatico dei **climi megatermici umidi** interessa la fascia intertropicale, e vi si possono distinguere tre tipi climatici: clima *equatoriale*, *della savana* e *monsonico*, tutti caratterizzati da abbondanti precipitazioni (oltre 2.000 mm all'anno), ma distribuite in modo diverso nell'arco dei dodici mesi.

Il clima **equatoriale** è contraddistinto da una temperatura media elevata (intorno ai 27 °C) che si mantiene uniforme nel corso dell'anno, essendo le contestuali variazioni stagionali ridotte. Data l'intensa evapotraspirazione della vegetazione presente, l'umidità atmosferica è elevata e dà luogo ad abbondanti precipitazioni giornaliere che consentono lo sviluppo di una vegetazione rigogliosa e sempreverde. L'associazione vegetale tipica di questo clima è la *foresta pluviale*, detta anche foresta

equatoriale: essa è costituita da un fitto intreccio di alberi molto alti di specie *eliofile*¹¹, al di sotto dei quali crescono piante più basse di specie *ombrofile*.

Il clima **della savana**, detto anche sub-equatoriale, è caratterizzato da temperature medie mensili sempre superiori ai 20 °C e da piovosità elevata; tuttavia le precipitazioni non sono distribuite in modo uniforme nell'arco dell'anno ma si alternano fra sei mesi di pioggia e sei di siccità. L'associazione vegetale che caratterizza questo clima è la Savana, costituita soprattutto da piante erbacee perenni e da pochi e isolati alberi (ad esempio acacie, baobab, euforbie e specie *xerofite*, quindi tutte piante che si sono adattate a lunghi periodi di siccità).

Il clima **monsonico** interessa soprattutto le coste lungo l'oceano Indiano ed è caratterizzato da una stagione estiva con forti precipitazioni dovute ai venti Monsoni che spirano dall'oceano, e da una stagione invernale secca. L'associazione tipica del clima monsonico è la giungla: essa si distingue dalla foresta equatoriale per il fatto che durante la stagione secca le specie ivi presenti sono interessate da deciduità.

I climi **megatermici aridi** contengono due tipi climatici, ossia il clima *arido caldo* e *arido freddo*. Ambedue sono contraddistinti da una scarsità di precipitazioni, quantificabile in meno di 250 mm all'anno. Le associazioni vegetali tipiche di entrambi sono il deserto o la steppa. Il primo presenta una scarsissima presenza vegetale (ad esempio le piante *succulente* – volgarmente dette “piante grasse” – che a loro volta contengono un gran numero di famiglie, generi e specie); la steppa contiene specie alofite, capaci di vivere in suoli ricchi di sali minerali.

Il clima **arido caldo** è caratterizzato da temperature medie annue superiori a 18 °C e da forti escursioni termiche diurne (fino a 50 °C). Esso contiene i cosiddetti deserti caldi (ad esempio Sahara e Kalahari).

Il clima **arido freddo** è caratterizzato da temperature medie annue inferiori a 18 °C, con forti escursioni termiche sia annuali che diurne e frequenti episodi di gelo notturno, poiché la temperatura scende sotto 0 °C durante la notte. La scarsità delle precipitazioni è dovuta sia alla notevole distanza dal mare che alla presenza di catene montuose, che spesso tendono ad ostacolare masse d'aria umida provenienti dagli oceani. Tra le regioni caratterizzate vi è ad esempio quella del deserto dei Gobi.

In base alla distribuzione delle piogge, all'interno del gruppo climatico dei climi **mesotermici** si distinguono tre tipi climatici: il clima *sinico*, il clima *mediterraneo* e quello *temperato fresco*.

Il clima **sinico** caratterizza la parte orientale dei continenti e seppur presenti qualche somiglianza col clima monsonico – poiché gli inverni sono freschi e secchi e le precipitazioni (tra 1.000 e 2.000 mm annui) sono concentrate in estate – mostra escursioni termiche annuali più elevate. L'associazione vegetale presente in zone siniche è la foresta di piante sempreverdi (con prevalenza di magnolie, glicine e camelie), associate a piante più tipiche di zone monsoniche (bambù e palme).

Il clima **mediterraneo** ha inverni piovosi e miti conseguentemente alla vicinanza del mare, ed estati asciutte. Le temperature sono mediamente elevate e l'escursione termica annua è limitata (generalmente inferiore a 20 °C). Le precipitazioni, soprattutto invernali, sono spesso intense ma di breve durata. L'associazione vegetale tipica è la macchia mediterranea, costituita da arbusti e alberi

¹¹ Una delle numerose classificazioni possibili attinenti al regno vegetale consiste in piante *eliofile* ed *ombrofile*. Le prime vegetano meglio all'esposizione solare diretta mentre le altre (dette anche *sciafile*) sono specie adattate a contesti parzialmente o totalmente ombrosi.

sempreverdi (per esempio, leccio, quercia da sughero, pino marittimo, alloro) capaci di sopravvivere a lunghi periodi siccitosi.

Il clima **temperato fresco** comprende due sottotipi: quello *oceanico*, con precipitazioni annue tra 700 e 1.500 mm uniformemente distribuite durante l'anno, ed escursioni termiche limitate nell'arco dei dodici mesi; esiste anche il clima *temperato fresco continentale*, con precipitazioni concentrate in una stagione ed escursioni termiche annuali maggiormente accentuate.

Per entrambi i sottotipi del clima temperato la temperatura media del mese più freddo supera di poco 0 °C e quella del mese più caldo è di circa 15 °C: gli inverni sono quindi miti e le estati fresche. La vegetazione è rigogliosa e rappresentata da foreste di latifoglie (per esempio querce, castagni, ontani, tigli, aceri, olmi e betulle) integrate da un sottobosco di specie minori particolarmente ricco.

All'interno del gruppo dei climi **microtermici**, globalmente caratterizzato da estati brevi e fresche e da inverni lunghi e freddi, si distinguono due tipi climatici: il clima *temperato-freddo umido* e il clima *temperato-freddo secco*.

Il clima **temperato-freddo umido** è detto anche clima freddo a estate calda, perché in tale stagione la temperatura media è di circa 22 °C. Le precipitazioni sono distribuite in tutto l'arco dell'anno ma con maggiori intensità estive. L'associazione vegetale tipica è la foresta di latifoglie decidue (che perdono tutte le foglie nella stagione fredda), in cui le specie arboree più rappresentate sono faggi e querce, insieme ad aceri, carpini, castagni, ontani, pioppi e tigli. Dove le precipitazioni sono meno abbondanti (aree continentali) alla foresta si sostituisce invece la steppa-prateria, un'associazione vegetale di erbe perenni e pochi arbusti, che occupano spesso vaste estensioni.

Il clima **temperato-freddo secco** è anche detto clima freddo a inverno prolungato. Le precipitazioni sono scarse e concentrate soprattutto in estate; quelle invernali, nevose, rimangono a lungo sul suolo ghiacciato. L'associazione vegetale caratteristica è la foresta di aghifoglie (detta anche taiga in Siberia), in cui le specie più rappresentate sono pini, abeti e larici, talora associati a qualche specie di latifoglie, quali betulle, pioppi e salici.

I **climi nivali** si estendono a nord del Circolo Polare Artico e sono caratterizzati, oltre che da una temperatura media inferiore ai 10 °C nel mese più caldo, da scarse precipitazioni soprattutto a carattere nevoso causate dal persistere dell'alta pressione sul polo e di una scarsa umidità atmosferica; comprendono due tipi climatici: *il clima della tundra* e *il clima polare*.

Il **clima subpolare** è detto anche clima seminivale, o **della tundra**. Durante l'estate, breve e fresca, lo strato più superficiale del suolo (che per il resto dell'anno è gelato) sgela, permettendo la crescita di poche specie vegetali, soprattutto erbacee; lo strato più profondo del suolo rimane, invece, ghiacciato e costituisce il cosiddetto *permafrost* (permanentemente gelato). L'associazione vegetale tipica di questo clima è la tundra, in cui sono presenti prevalentemente erbe, muschi o licheni, e solo sporadicamente qualche betulla o salice di pochi decimetri di altezza.

Il **clima polare** è tipico delle calotte glaciali della Groenlandia e dell'Antartide; in tutto l'anno non si superano mai gli 0 °C e il suolo rimane perciò permanentemente coperto di neve e ghiaccio. Le precipitazioni sono scarse, ma si accumulano completamente. La vegetazione è assente.

IV.1.2. Il caso italiano

In base allo schema della distribuzione generale dei climi esplicita nel paragrafo precedente la penisola italiana rientra completamente nell'area del clima mediterraneo: esso appartenente ai climi mesotermici, e più precisamente a quello *subtropicale con estate asciutta*. In realtà, a causa della grande estensione in latitudine della penisola, dell'ubicazione del territorio rispetto ai mari o al continente europeo, e alla particolare struttura orografica, accanto al tipico clima mediterraneo sono rilevabili aree con altri climi mesotermici o che presentano situazioni di clima microtermico e di altitudine. In altre parole, a causa delle specificità ambientali e di ubicazione geografica, vi sono dei fattori che modificano localmente la condizione climatica convenzionalmente assegnata al territorio nazionale. Ne consegue che, seppur nella mappa mondiale della classificazione climatica l'Italia consti di due sole fasce climatiche appartenenti al clima mesotermico, la situazione reale è maggiormente complessa (Fig.IV.2).

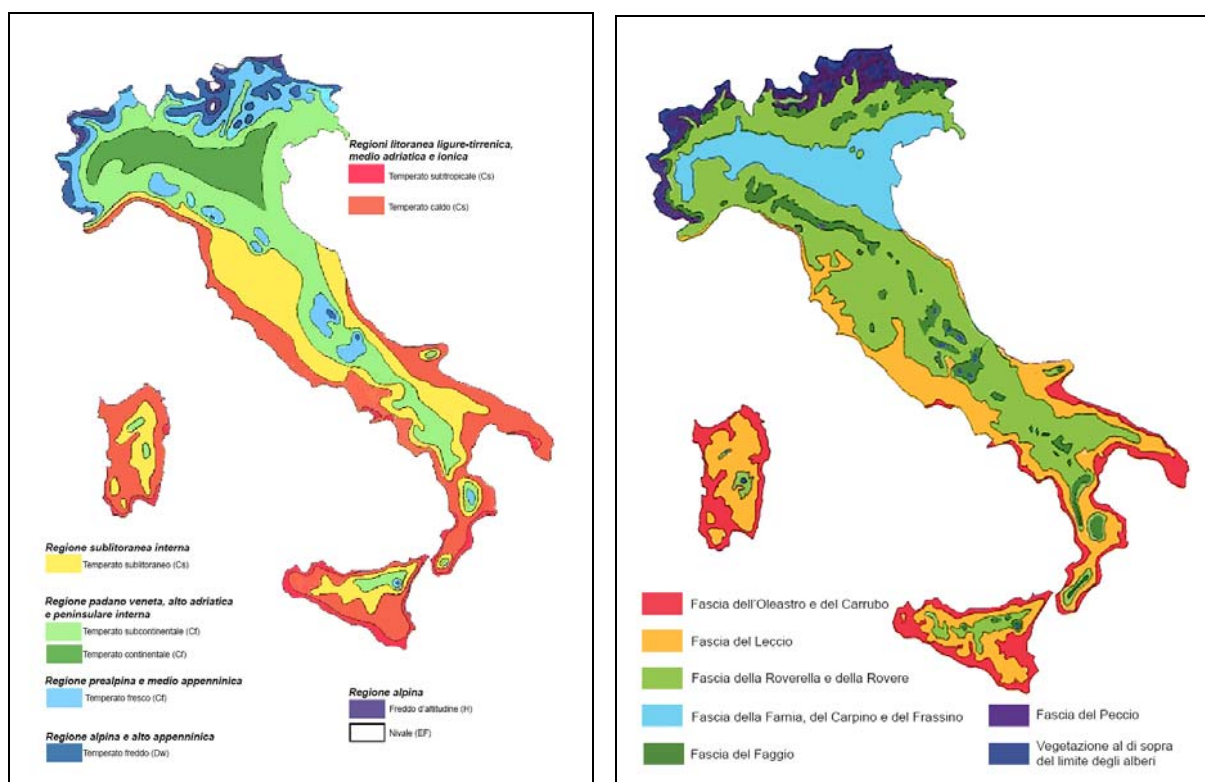


Fig.IV.2 – A sinistra. Carta delle fasce climatiche d'Italia. Seppure in base alla classificazione di Köppen l'intero territorio nazionale rientri nella fascia dei climi mesotermici la situazione reale è più complessa, dipendentemente dagli specifici *elementi del clima* che interessano le varie zone della nazione. (Fonte: <http://www.ilpolline.it/clima-italia>)

Fig.IV.3 – A destra. Carta della *vegetazione potenziale* italiana. In base alle condizioni climatiche di un'area è possibile individuare delle specie vegetali caratteristiche per quella data zona. Tali piante caratteristiche sarebbero quelle originali ed autoctone: oggi, conseguentemente all'azione umana, le caratteristiche di autoctonia specifica non sono più riconoscibili. Si noti la sostanziale simmetria tra questa immagine e quella precedente. (Fonte: <http://www.ilpolline.it/vegetazione-italia>)

I climi **di montagna** interessano la catena alpina e le parti più interne degli Appennini: essi sono contraddistinti da forti escursioni termiche sia annuali che giornaliere. Le precipitazioni sono mediamente abbondanti e spesso a carattere nevoso: esse, sulle Alpi, variano da Est verso Ovest diminuendo man mano che ci si sposta dai rilievi orientali verso quelle occidentali; inoltre raggiungono valori minimi sulle Alpi Cozie, tornando poi ad aumentare sulle Alpi Marittime e Liguri a causa della vicinanza del Mar Ligure. Lungo gli Appennini le idrometeore di precipitazione diminuiscono man mano che ci si sposti verso Sud. Le fasce climatiche nazionali interessate dai climi di montagna sono quattro, come descritto di seguito.

Regione prealpina e medio appenninica

Tipo climatico di riferimento: Temperato fresco (Cf)¹²

Interessa le Prealpi e la zona assiale dell'Appennino; talora presenta caratteristiche subcontinentali.

Media annuale: da 6 a 9.9 °C;

media del mese più freddo: da 0 a -3 °C;

media del mese più caldo da: 15 a 19.9 °C;

escursione annua compresa tra 18 e 20 °C.

Regione alpina e alto appenninica

Tipo climatico di riferimento: Temperato freddo (Dw)

Interessa una fascia delle Alpi e le aree sommitali dei maggiori gruppi appenninici.

Media annua: da 3 a 5.9 °C;

media del mese più freddo: < -3 °C;

media del mese più caldo: da 10 a 14.9 °C;

escursione annua da 16 a 19 °C.

Regione alpina

Tipo climatico di riferimento: Freddo d'altitudine (H)¹³

Interessa le zone alpine al di sopra dei 2.000 m s.l.m.

Media annua: < 0 °C;

media del mese più freddo: < -6 °C;

media del mese più caldo: < 9.9 °C;

escursione annua da 15 a 18 °C.

Tipo climatico di riferimento: Nivale (EF)

Interessa la zona delle Alpi oltre i 3.500 m, con neve perenne;

temperatura del mese più freddo: -65 °C.

¹² Le sigle indicate fra parentesi si riferiscono alla classificazione riportata in Fig.IV.1

¹³ Con la lettera "H" – seppur essa non sia presente nella classificazione originaria di Köppen – si indica l'effetto dell'altitudine oltre 1.500 metri di altezza s.l.m. Tutte le catene montuose della Terra potrebbero presentare una successione rapida di climi di Köppen diversi, causa l'effetto dell'altitudine: per questo, spesso sulle mappe si indicano con la lettera "H" i vari luoghi climatici oltre 1.500 m, senza specificarne nel dettaglio tutti i molteplici passaggi di classe climatica di appartenenza, per ovvie ragioni legate alla scala di rappresentazione. Ciò accade nella norma anche se, a livello di studio e per completezza scientifica, potrebbe risultare sempre conveniente evidenziare la lettera H oltre alla classe climatica: ad esempio "ETH" per clima semi-nivale di montagna ed "EFH" per quello glaciale di montagna. (Fonte: <http://www.meteogiornale.it/notizia/5898-1-classificazione-dei-climi-della-terra-secondo-il-climatologo-koppen>)

I **climi mediterranei** sono fortemente caratterizzati dall'influenza del mare, e in Italia si possono rilevarne quattro sottotipi.

Il clima *della Liguria e della Toscana settentrionale* è caldo in estate e mite in inverno, con escursioni termiche annuali modeste. Le precipitazioni annue variano da valori minimi nella parte occidentale della costa ligure a valori più elevati su quella orientale e lungo la costa tirrenica.

Il clima *del versante tirrenico e ionico*: le precipitazioni sono relativamente abbondanti, in particolare dove vi sia la presenza di rilievi alle spalle del litorale. Le piogge si verificano essenzialmente in inverno: in questa stagione non sono rare precipitazioni di breve durata, mai di grande intensità, che influenzano il regime dei fiumi (cioè le variazioni della loro portata d'acqua nel breve periodo).

Il clima *del basso Adriatico* è particolarmente caldo e secco in estate, poiché quando le masse d'aria umida provenienti dall'oceano Atlantico raggiungono quella zona hanno già scaricato tutta la propria umidità sul versante tirrenico.

Il *clima delle isole* è caratterizzato da estati lunghe, calde e aride, e da inverni brevi e umidi, con precipitazioni che possono parzialmente interessare anche la primavera; le scarse precipitazioni creano problemi di approvvigionamento idrico. Nelle zone interne e più elevate delle isole, il carattere mediterraneo del clima si riduce e acquista, invece, caratteristiche di continentalità. Infine, sui rilievi più elevati (ad esempio sul vulcano Etna), il clima presenta aspetti tipici del clima di montagna.

Regioni litoranea ligure-tirrenica, medio adriatica e ionica

Tipo climatico di riferimento: Temperato subtropicale (CS)

Interessa le aree più calde di ristrette fasce costiere dell'Italia meridionale ed insulare.

Media annua: > 17 °C;

media del mese più freddo: > 10 °C;

5 mesi annuali con media > 20 °C;

escursione annua da 13 a 17 °C.

Tipo climatico di riferimento: Temperato caldo (Cs)

Interessa la fascia litoranea tirrenica dalla Liguria alla Calabria, la fascia meridionale della costa adriatica e la zona ionica.

Media annua: da 14.5 a 16.9 °C;

media del mese più freddo: da 6 a 9.9 °C;

4 mesi con media > 20 °C;

escursione annua da 15 a 17 °C.

Regione sublitoranea interna

Tipo climatico di riferimento: Temperato sublitoraneo (Cs)

Interessa le zone collinari del pre-appennino tosco-umbro-marchigiano e i versanti bassi dell'Appennino meridionale.

Media annua: da 10 a 14.4 °C;

media del mese più freddo: da 4 a 5.9 °C;

3 mesi con media > 20 °C;

escursione annua da 16 a 19 °C.

Il **clima continentale**, tipico della pianura Padana, è caratterizzato da forte escursione termica annuale, pari a circa 20 °C. Esso presenta due massimi di precipitazione (primavera e autunno) e due minimi (estate e inverno). L'umidità relativa è elevata a causa dell'intensa evapotraspirazione dovuta sia all'abbondanza delle acque circolanti in superficie (laghi, fiumi e canali), sia ai tipi di coltura maggiormente praticati. Il carattere continentale del clima della pianura Padana varia in funzione della distanza dal mare: pertanto, esso è più accentuato a Ovest e meno verso Est, man mano che ci si avvicini al mare Adriatico.

Regione padano veneta, alto adriatico e peninsulare interna

Tipo climatico di riferimento: Temperato subcontinentale (Cf)

Interessa parte della pianura veneta, la pianura friulana, la fascia costiera dell'alto adriatico e la peninsulare interna.

Media annua da: 10 a 14 °C;

media del mese più freddo: da -1 a 3.9 °C;

2 mesi con temperatura > 20 °C;

escursione annua da 16 a 19 °C.

Tipo climatico di riferimento: Temperato continentale (Cf)

Interessa tutta la pianura padana e parte di quella veneta.

Media annua: da 9.5 a 15 °C;

media del mese più freddo: da -1.5 a 3 °C;

3 mesi con media > 20 °C ;

escursione annua > 19 °C.

A conclusione del presente paragrafo riassuntivo delle caratteristiche del clima, è opportuno evidenziare come quelle qui riportate siano comunque delle schematizzazioni finalizzate al formare delle categorie utilizzate dai climatologi per la determinazione di gruppi omogenei. Ciò non toglie che le specificità legate alla collocazione di un'area possano portare, come visto, a dei fenomeni puntuali di discordanza, consistenti in aree di microclima che si discostano da quelle che dovrebbero essere le specificità di una data *classe* o regione climatica (ad esempio: il vulcano Etna presenta un clima montano all'interno di una regione a clima mediterraneo).

Il clima – con i suoi *elementi e fattori* – è l'elemento che da solo riesce a determinare le peculiarità *specifiche* delle colonie vegetali o animali che popolano una data area geografica, facendo sì che queste si siano evolute e si caratterizzino proprio in risposta alle sollecitazioni ambientali che vi agiscono¹⁴.

¹⁴ Gran parte delle informazioni riportate nei paragrafi IV.1.1 e IV.1.2 sono ricavate dalla rielaborazione di quanto descritto nell'*Enciclopedia Garzanti* alla voce *clima*.

IV.2. Correlazioni tra clima e specie

In funzione delle caratteristiche climatiche varieranno quelle che sono le specie – vegetali o animali – che possono sopravvivere in una data regione geografica, creando quindi una sorta di reciprocità, come visto, tra clima geografico e specificità delle comunità rilevabili.

Questione complementare a quella della classificazione climatica dei luoghi è relativa alla localizzazione dei grandi biomi. Essi «possono essere definiti come Ecosistemi zionali, in quanto sono ecosistemi (pressoché omogenei, *NdA*) che interessano un'intera regione bioclimatica e sono classificati in funzione della struttura della vegetazione dominante»¹⁵: questi vengono classificati da botanici e biologi per l'individuazione di aree omogenee dal punto di vista dell'occupazione e della presenza delle comunità specifiche¹⁶ all'interno dell'intero globo terracqueo (Fig.IV.4). Gli elementi che caratterizzano un bioma sono clima, composizione del suolo, comunità vegetali e animali: tutti elementi, cioè, che presentano una reciproca influenza¹⁷. Anche i biomi presenti sulla terra, perciò, dipendono dalla latitudine geografica (cfr. Fig.IV.1): è quindi possibile stilare una correlazione fra biomi e classi climatiche. I biomi sono tutti diversi tra loro e presentano specifiche peculiarità di clima, composizione geologica e presenze vegetali o animali.

Le piante nascono in un dato luogo e sono in strettissima correlazione con esso. Dagli *elementi del clima* dipendono le qualità fisiche e fisiologiche delle specie, come la loro conformazione o struttura vegetale, e le dinamiche di vita o di successione. Da elementi quali temperatura ed abbondanza idrometeorica dipendono le peculiarità specifiche delle piante, in quanto ogni tipologia vegetale si è evoluta dovendo sopravvivere disponendo esclusivamente degli elementi reperibili all'interno del proprio areale fitoclimatico¹⁸. Le specie provenienti da biomi particolarmente ricchi d'acqua presentano aspetti di rigogliosità (abbondanza di fiori e frutti, ampia dimensione dell'apparato fogliare, ecc) molto maggiori di quelle generatisi dove la scarsità idrica è uno dei fattori climatici determinanti; le piante provenienti da ambienti salmastri o molto freddi hanno sviluppato specifiche caratteristiche di adattabilità in funzione delle composizioni dei terreni o delle peculiarità climatiche, ecc. Altro esempio importante potrebbe essere quello delle specie vegetali succulente¹⁹, tipiche dei biomi caldi e aridi. Tali piante presentano un particolare tipo di metabolismo fotosintetico definito CAM, che risulta completamente invertito rispetto a quello di tutte le altre famiglie vegetali «la fotosintesi CAM, implicando un ritmo invertito di apertura degli stomi, consente una forte economia idrica», in quanto «le perdite d'acqua per traspirazione avvengono durante la notte, quando la domanda di evaporazione è più bassa»²⁰.

¹⁵ FILESI, LEONARDO, *Dispense del corso di Botanica – Seconda parte*, in bibl., p.23.

¹⁶ Esempi di bioma sono la tundra, la taiga, la steppa, la prateria, i deserti, la savana, la foresta tropicale pluviale, ecc.

¹⁷ Il suolo di una data area geografica dipende non solo dalle caratteristiche geologiche originarie ma anche dal tipo di comunità che insistono su un dato bioma, in quanto le specie decedute, conseguentemente al naturale processo di decomposizione biologica, vanno ad influenzare ed alimentare i substrati ivi presenti, caratterizzandoli e differenziandoli da zona a zona.

¹⁸ L'areale fitoclimatico di una specie vegetale è la sua «area di distribuzione» (Fonte: <http://www.treccani.it>): esso è altrimenti definibile come una regione omogenea per andamento climatico e specie vegetali stabilmente insediate. Tale concetto è quasi sempre reperibile in letteratura con la sola dicitura di *areale*.

¹⁹ Le specie succulente sono quelle che volgarmente ed impropriamente vengono definite "piante grasse".

²⁰ FILESI, LEONARDO, *Dispense del corso di Botanica – Prima parte*, in bibl., p.31

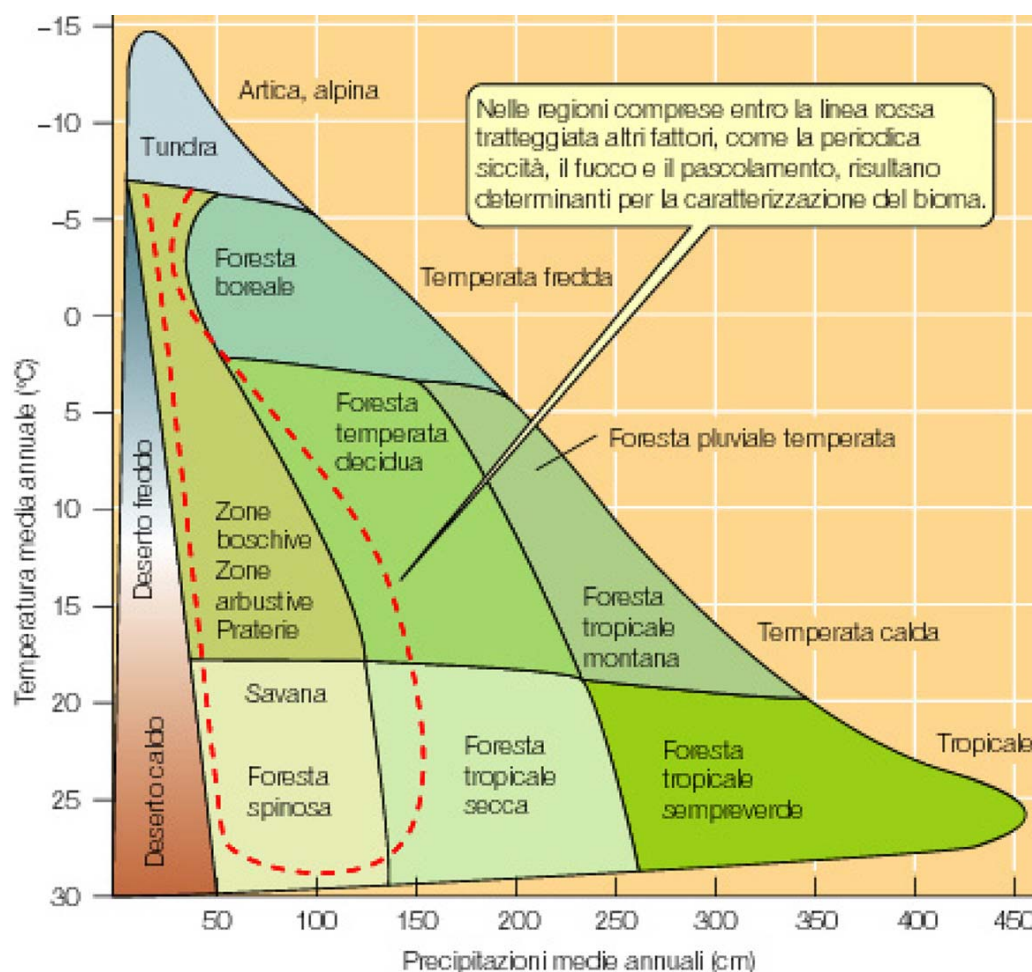


Fig.IV.4 – Correlazione fra caratteristiche del clima e tipologia di bioma. Dal grafico risulta evidente come i due elementi più importanti per la definizione delle specie presenti in un'area geografica siano temperature medie e piovosità. (Fonte: FILESI, LEONARDO, *Dispense del corso di Botanica – Seconda parte*, in bibl., p.23)

Diviene quindi evidente come la correlazione tra caratteristiche climatiche e peculiarità specifiche sia indissolubilmente marcata. Dagli elementi tipici del luogo le piante presenti dovranno riuscire a ricavare tutte le energie di cui necessitano, facendolo con la massima efficienza possibile: pena la non sopravvivenza della specie. Vegetare in una data area geografica significa potersi sopravvivere in funzione del clima senza soffrire (o soffrendo poco), riuscendo ad attuare quello che è l'obiettivo primario di qualsiasi essere vegetale, ossia la riproduzione tesa alla permanenza in vita della specie. Ciò non toglie che alcuni vegetali possano essere impiegati in alcuni casi anche fuori contesto – cioè esternamente al proprio bioma originario –, ma necessitando di cure o di risorse energetiche ed idriche molto maggiori di quelle che il nuovo luogo d'impianto potrebbe naturalmente offrire: diverrà quindi necessario, in tal caso, provvedere artificialmente alla somministrazione verso la pianta degli elementi da essa richiesti. Condizione di vita in contesto *artificiale* che ricorre in numerosi casi degli inverdimenti parietali oggi giorno più evoluti²¹, e controvertendo, quindi, il principio fondamentale

²¹ Come quelli che interessano le *chiusure verticali vegetate* descritte nei capitoli a venire.

dell'utilizzo di specie autoctone, da sempre invece largamente impiegato negli impianti riguardanti i rivestimenti a verde.

IV.2.1. Autoctonia e specie alloctone

Le specie *autoctone*, sia vegetali che animali, sono quelle tipiche e storicamente rilevabili in una data regione geografica, e possono perciò anche essere definite come specie indigene. Queste sono tipiche e native di un certo bioma, e presentano precise caratteristiche che le distinguono dalle specie provenienti da altri areali; ossia, in altre parole è possibile affermare che millenni di evoluzione specifica le hanno portate a sviluppare particolarità fisiche e fisiologiche in funzione²² degli elementi del clima e delle specificità del bioma d'origine. Esse si trovano perciò in equilibrio con l'area di appartenenza e sopravvivono o si riproducono sfruttando a proprio vantaggio gli elementi e le risorse che vi trovano a disposizione.

Il concetto di autoctonia specifica si contrappone a quello di alloctonia: le specie *alloctone*²³ provengono da altri areali e – spesso a seguito dell'opera più o meno accidentale dell'essere umano – sono state introdotte in un dato luogo solo in un secondo momento, trovandovi delle caratteristiche favorevoli alla sopravvivenza. È importante evidenziare come una tale tipologia di specie «senza l'intervento umano non riuscirebbe mai a superare le barriere naturali (montagne, mari, oceani) che separano l'area di origine da quella di introduzione.»²⁴

IV.2.2. Fenomenologie di adattabilità dei vegetali

Le specie aliene si trovano quindi ad essere immesse in un habitat non originario e a quel punto, entrando in gioco il concetto di *adattabilità delle specie*, potranno accadere due fatti differenti. Ossia potrà succedere che, seppur aliena, una specie alloctona trovi nel nuovo luogo d'impianto delle caratteristiche favorevoli alla vita e al proprio sviluppo, quindi che vi si adatti con facilità. Ciò è accaduto ad esempio quando sono state importate in Europa alcune specie provenienti dalle Americhe, come il pomodoro, la patata, il mais o i fagioli e dove queste²⁵, pur non trovandosi nel contesto originario d'impianto, vi abbiano rinvenuto delle caratteristiche (climatiche, di composizione dei terreni, del rapporto con le altre specie presenti) favorevoli alla propria vita.

²² Anche se forse sarebbe più corretto dire "in risposta".

²³ Sono molteplici le modalità reperibili in letteratura scientifica per definire una specie alloctona. Essa è indicabile anche con l'appellativo di: aliena, esotica, introdotta, non indigena, xenofita. Cfr. CELESTI-GRAPPOW, L. *et al.*, "Inventory of the non-native flora of Italy", in bibl.

²⁴ BONESI, LAURA, VASCOTTO, MARIANNA (a cura di), *Specie invasive – Specie aliene invasive in Italia*, Università degli Studi di Trieste. (Fonte: <http://www2.units.it/specieinvasive/invasive/terminologia.html>)

²⁵ Tali specie vegetali sono definite *naturalizzate* in quanto risultano a tutti gli effetti assimilabili ad una «specie introdotta che costituisce delle popolazioni in natura in grado di riprodursi ed auto-sostenersi senza l'intervento dell'uomo. Non tutte le specie introdotte, infatti, riescono a sopravvivere nel nuovo ecosistema. La possibilità di formare popolazioni che si auto-sostengono dipende anche dal numero di individui introdotti in natura: tanto maggiore è il numero di individui tanto maggiore sarà la probabilità». Esse vengono altrimenti definite specie acclimatate. BONESI, LAURA, VASCOTTO, MARIANNA (a cura di), *Specie invasive – Specie aliene invasive in Italia*, Università degli Studi di Trieste. (Fonte: <http://www2.units.it/specieinvasive/invasive/terminologia.html>)

Differente la possibilità che il nuovo luogo non offra delle condizioni favorevoli alla sopravvivenza biologica della specie. In tal caso la pianta sarà destinata al decesso oppure vi si dovrà provvedere altrimenti, come accade oggi di sovente quando l'essere umano, mediante il proprio operato, sia costretto nel provvedere artificialmente a fornire alle piante gli elementi che esse non riescono a reperire autonomamente in natura. Diviene quindi evidente come tale azione possa essere considerata *artificiale* a tutti gli effetti, in quanto non potendo tali specie contare sull'origine umana dell'apporto di nutrienti o elementi – come ad esempio sostanze nutritive particolari o condizioni di luce che un contesto differente da quello originario potrebbe non offrire – sarebbero destinate alla morte, e quindi all'estinzione almeno per quel dato luogo. Tutto ciò fermo restando il fatto che una qualsivoglia specie, impiantata in un territorio diverso da quello originale e che non possa offrirgli caratteristiche idonee allo sviluppo, presenterà sempre e comunque un certo livello di sofferenza. È perciò possibile affermare che una pianta aliena richiede delle attenzioni sempre maggiori rispetto ad un'indigena: attenzioni ulteriori che si tramuteranno in un dispendio di risorse maggiore (come ad esempio attività gestionali per la cura o la manutenzione, o in tipologie e quantitativi di nutrienti richiesti).

Questione inerente alle modalità con cui i vegetali possano trovare favorevoli o meno le condizioni di un dato contesto d'impianto è relativa alle casistiche di *adattamento*. È infatti possibile che una qualsiasi specie alloctona possa reperire nel nuovo contesto d'inserimento delle proprietà (climatiche, di composizione dei substrati, ecc) simili a quelle dell'ambiente da cui proviene, o comunque utili alla propria esistenza biologica²⁶. Quindi gli organismi rispondono alle sollecitazioni ambientali e spesso, con l'evoluzione, può anche accadere che esse modifichino nel lungo periodo le proprie specificità per sopravvivere meglio nel nuovo contesto. Se gli «ambienti in cui hanno vissuto le generazioni precedenti agiscono come un filtro attraverso il quale sono passate combinazioni di caratteri nel cammino verso il presente»²⁷, ciò significa che grazie agli avvicendamenti evolutivisti è possibile che una specie possa modificarsi fino a proliferare pienamente anche in un habitat non originario. Modificazioni legate all'evoluzione che possono consistere in adattamenti strutturali (quando le specie modificano la propria conformazione fisica in risposta alle sollecitazioni ambientali) o fisiologici (inerenti cioè alle proprie dinamiche chimiche e fisiche interne)²⁸.

Il concetto di adattamento ne mette in gioco uno di ulteriore consistente nella *competizione interspecifica*, ossia fra specie diverse. I vegetali hanno l'obiettivo primario della riproduzione che avviene tramite degli organi differenti da pianta a pianta, come pollini, semi, fiori e frutti. Strategia della *successione* che in campo botanico implica una continua riproduzione stagionale che si traduce, molto spesso, in un permanente avvicendamento fra specie, nonché nella lotta tra le diverse piante presenti in un dato appezzamento (o nella stessa parete vegetata): azioni di competizione e d'interferenza che aumentano in numero proporzionale alle specie presenti. Lotte ed avvicendamenti reciproci che portano il medesimo appezzamento a subire continue variazioni nel tempo, e dove alcune specie possono anche prendere il sopravvento su altre meno forti o preparate dal punto di vista della competitività specifica, col risultato che si vengono a creare delle variazioni agronomiche più o meno marcate nel tempo o nello spazio. Ciò significa, rapportando il concetto al caso di un appezzamento o

²⁶ Un esempio di specie alloctona adattata ad un nuovo contesto è quella delle betulle sull'Etna: esse sono reperibili in tale contesto già a quote relativamente basse. Botanici e climatologi sono giunti alla conclusione che tali specie vegetali siano giunte fino alla Sicilia durante l'ultima glaciazione e, pur trovandosi così all'interno di un ambiente differente da quello originario, abbiano potuto reperirvi un microclima e delle condizioni favorevoli.

²⁷ FILESI, LEONARDO, *Dispense del corso di Botanica – Prima parte*, in bibl., p.31

²⁸ Ad esempio come nel caso della fotosintesi CAM descritta al paragrafo IV.2.1

di una parete a verde, che qualora per svariati motivi non si accetti la dinamica di avvicendamento specifico o il fatto che alcune specie possano prendere il sopravvento sulle altre anche fino a farle scomparire, sarà necessario provvedere mediante un continuo controllo dell'impianto, eventualmente anche operandovi mediante azioni di estirpazione degli esemplari indesiderati.

SPECIE ESOTICA (= aliena, alloctona, introdotta, non indigena, xenofita)	Specie la cui presenza in un determinata area è dovuta ad introduzione volontaria o accidentale in chiara relazione con le attività umane.
ESOTICA CASUALE (= non stabilizzata)	Specie esotica che può fiorire e riprodursi occasionalmente fuori dalla coltivazione in una determinata area, ma che è soggetta a scomparire poichè non forma popolamenti che si riproducono autonomamente, dipendendo per la loro persistenza da successive e ripetute introduzioni.
ESOTICA NATURALIZZATA (= stabilizzata)	Specie esotica che forma popolamenti che si riproducono e perpetuano autonomamente senza intervento diretto da parte dell'uomo, tramite riproduzione sessuata o propagazione vegetativa.
ESOTICA INVASIVA	Sottogruppo di piante naturalizzate che disperdono spore/semi, spesso molto numerosi, a considerevole distanza dalla pianta parentale e che quindi hanno potenzialità di diffondersi su grandi superfici [secondo RICHARDSON <i>et al.</i> (2000): distanza > 100 m in un arco di tempo < 50 anni, per le specie che si riproducono da seme; distanza di 6 m nell'arco di 3 anni per le specie che si diffondono per via vegetativa].

Fig.IV.5 – Terminologia adottata nella classificazione della flora alloctona d'Italia. (Fonte: IAMONICO, DUILIO, "La flora esotica d'Italia", in bibl., p.3)

La competizione può interessare sia le specie autoctone che quelle alloctone. Inoltre, il concetto di competitività si lega ad un altro fenomeno di avvicendamento specifico, ossia quello delle specie *invasive*²⁹. Esse possono essere sia indigene che alloctone anche se, sempre a causa delle tematiche legate all'evoluzione, trattasi di un problema che tendenzialmente riguarda l'alloctonia. Questo accade con alcune differenze sostanziali, in quanto «quello delle specie invasive è un fenomeno perlopiù endogeno legato a doppio filo all'indebolimento degli ecosistemi. Vi sono alcune specie aliene che, in presenza di certe alterazioni del loro ecosistema, reagiscono con un'esplosione demografica e invadono l'ecosistema fin quasi a soffocarlo. Se la specie in questione è autoctona, dopo una fase di squilibrio ben presto ritorna sotto il controllo di altre specie. Ma quasi sempre a mostrare comportamenti invasivi sono le specie aliene. Nel caso in cui una specie importata dall'uomo in un determinato habitat non trovi competitori particolarmente "importanti" può espandersi infatti in maniera incontrollata»³⁰.

Una specie aliena diventa perciò invasiva solo quando si riproduce autonomamente allo stato selvatico, e le sue popolazioni cominciano ad espandersi fino ad avere anche un sopravvento parziale o totale sulle altre presenti³¹. «L'impatto delle specie invasive nel nuovo ambiente può portare ad una graduale degradazione ed alterazione dell'habitat e al declino delle specie native a volte fino all'estinzione, portando ad una diminuzione della biodiversità locale e ad un'omogeneizzazione della fauna mondiale. Gli impatti delle specie invasive sulle specie native possono avvenire attraverso

²⁹ L'inventario delle specie invasive presenti in Europa è visionabile alla pagina web <http://www.europe-aliens.org>

³⁰ Citazione desunta dal sito web del WWF: <http://www.wwf.it/client/render.aspx?root=553>

³¹ Esempio di specie vegetale invasiva usata anche nei rivestimenti a verde per le proprie doti estetiche è la robinia (*Robinia pseudoacacia*).

quattro meccanismi diversi: 1) la competizione per le risorse; 2) la predazione; 3) l'ibridazione con specie native; 4) la trasmissione di malattie»³². Il concetto dell'invasione specifica può interessare sia porzioni limitate di spazio come un campo o una parete a verde, finanche comprendere un intero ambito regionale. Il problema delle specie invasive è particolarmente rilevante all'interno dei confini statali, tanto che da un recente studio esteso a tutte le regioni d'Italia³³ è emerso che la vegetazione alloctona nazionale risulta costituita da 1.023 entità, corrispondenti al 13,4% della flora totale nazionale³⁴ (stimabile in 7.634 entità), appartenenti a 544 generi e 138 famiglie botaniche; degno di nota anche il fatto che tra le 1.023 specie alloctone elencate, le entità invasive ne coprono il 15,9% del totale (quindi 163).

I concetti di alloctonia, competitività specifica e invasività sono direttamente rapportabili a quello della perdita di biodiversità, in quanto possono influire negativamente sulla ricchezza specifica di una data zona o regione³⁵. Problematica talmente rilevante che perfino l'Organizzazione delle Nazioni Unite ha trattato la tematica dei processi di invasione biologica durante i lavori della *Convenzione sulla Diversità Biologica* di Rio de Janeiro (1992), suggerendo un approccio operativo di tipo gerarchico volto alla limitazione del fenomeno. Esso consiste specificamente in tre livelli d'azione successivi: prevenzione, controllo, eradicazione³⁶.

Discorso a parte meritano le cosiddette specie *infestanti*. Col termine di pianta infestante – volgarmente definita malerba o erbaccia – si intende una qualsiasi pianta che, non rivestendo alcuna funzione di utilità per l'uomo, ne danneggi le produzioni agricole o floricole tramite dinamiche di competizione o parassitarie. Non esiste un elenco di piante infestanti, in quanto la definizione di malerba è fortemente contestualizzata ad un determinato luogo o produzione: alcune piante utili o coltivate possono divenire infestanti nel momento in cui cessi la loro funzionalità per l'essere umano o per un determinato luogo d'impianto. Le specie infestanti si insinuano negli appezzamenti in cui possano trovare caratteristiche favorevoli alle proprie particolarità fisiologiche e strutturali, per poi diffondersi in base alle proprie qualità specifiche di competitività: esse entrano così in relazione con le specie ivi presenti, sottraendogli spazio, acqua, luce o nutrienti, e quindi danneggiandole. Quando la competitività e la diffusione di tali specie sia particolarmente accentuata esse possono prendere il sopravvento su quelle originarie fino a farle scomparire.

Riportando i concetti finora espressi al tema specifico di ricerca è opportuno evidenziare come la soluzione migliore sarebbe sempre quella di operare con specie autoctone, in quanto esse si sono storicamente evolute raggiungendo uno stato di equilibrio con le caratteristiche climatiche del luogo d'appartenenza, e quindi non risentono degli avvicendamenti stagionali o climatici dell'area nella quale si trovano. Equilibrio col sistema d'appartenenza significa che le piante sono abituate alle fluttuazioni climatiche o idrometeoriche tipiche della zona, e quindi risentono in maniera soltanto relativa degli

³² BONESI, LAURA, VASCOTTO, MARIANNA (a cura di), *Specie invasive – Specie aliene invasive in Italia*, Università degli Studi di Trieste. (Fonte: <http://www2.units.it/specieinvasive/invasive/problemi.html>)

³³ BLASI, CARLO, PRETTO, FRANCESCA, CELESTI-GRAPPOW, LAURA, "La *watch-list* della flora alloctona d'Italia", in *ibid.*, p.7

³⁴ Le specie invasive naturalizzate vengono ulteriormente suddivise in base al *residence time*, ossia il tempo trascorso dalla loro introduzione in un territorio. Esse si differenziano quindi in archeofite o neofite a seconda che siano state introdotte prima o dopo la scoperta dell'America.

³⁵ Le argomentazioni relative alla salvaguardia della biodiversità vengono trattate nel settimo capitolo della ricerca, all'interno del paragrafo VI.3.3

³⁶ BLASI, CARLO, PRETTO, FRANCESCA, CELESTI-GRAPPOW, LAURA, *ibidem*.

eventuali periodi troppo caldi o eccessivamente freddi, o di una scarsità idrica temporanea (che peraltro si ripresenta tendenzialmente sempre mediante modalità medie e tipizzate nel breve periodo³⁷).

L'impiego di specie aliene non sarà comunque proibito in assoluto, ma risulterà indiscutibilmente importante essere consci del fatto che usare esemplari alloctoni significherà sicuramente dover provvedere ad una cura maggiore delle piante introdotte: cura maggiore che, ovviamente, corrisponde ad un più elevato investimento economico in termini di attenzione, manutenzione e fornitura di nutrienti. Tutto ciò in maniera proporzionale al numero di specie non indigene coinvolte nella stessa parete in quanto, all'aumentare della quantità degli esemplari differenti impiegati aumentano anche le rispettive azioni reciproche, e quindi le dinamiche sia di competizione interspecifica che di successione.

Doveroso evidenziare che il concetto della competizione interessa tutte le specie, comprese quelle native. Quando sulla stessa parete a verde, o nello stesso appezzamento di terreno siano ospitate due o più specie, queste presenteranno comunque delle reciprocità. Ciò significa che quando si vada a realizzare una parete a verde comprendente un numero di specie maggiore ad uno, bisognerà essere consci fin da subito che queste presenteranno comunque una certa attività interna, ed avranno delle successioni nel tempo. La parete a verde è un elemento vivo e come tale si comporta, quindi è opportuno tenere presente che sarà impossibile che ad un anno o due dall'impianto essa si presenti formalmente come all'inizio; ma starà proprio nella bravura dell'agronomo operare una scelta ben ponderata tra due o più specie che non abbiano una competizione eccessivamente accentuata, o dove una non presenti delle caratteristiche di elevata aggressività nei confronti dell'altra. Quindi, migliore risulti la qualità del lavoro dell'agronomo nella scelta dei vegetali da ospitare in parete, minori saranno le operazioni di manutenzione ordinaria o straordinaria che si renderanno necessarie.

IV.3. Le piante in ambiente urbano: peculiarità e problematiche

Una volta compresi il concetto di clima e la differenza tra specie indigene ed esotiche si rende necessario procedere alla comprensione delle relazioni che intercorrono tra le due tematiche, relazionandole alla piccola scala ossia quella urbana. Specificità urbana che risulta anche essere il contesto di applicazione privilegiato delle tecnologie d'integrazione parietale tra sistema tecnologico e vegetale qui studiate. La conurbazione edificata è infatti un luogo che presenta delle particolarità climatiche, morfologiche e materiche a sé stanti, configurandosi come un ambiente fortemente tipizzato e che risulta, peraltro, sostanzialmente uguale in ogni parte del mondo: si tenga però debitamente conto, per contro, che tale ambiente seppur tipizzato e pressoché omogeneo, essendo localizzato in una molteplicità di regioni climatiche differenti, dimostrerà in ogni caso specifico una variazione delle modalità d'interazione tra clima urbano e regione climatica d'inserimento. Interrelazioni climatiche quindi sempre diverse e che, in base a quanto illustrato nel paragrafo IV.1, non potranno che presentare un'influenza diretta e sostanziale su quella che è la popolazione vegetale riscontrabile all'interno dei confini di ogni differente città.

³⁷ Nelle discipline afferenti ad agronomia e botanica, quando si parla di "breve periodo" si intende un lasso temporale che occupa qualche anno, mentre la dicitura "medio periodo" (o "medio termine") ingloba un arco temporale di dieci anni.

Le peculiarità climatiche dei tessuti urbani sono talmente accentuate che per definire tale sistema territoriale contraddistinto da particolari vegetazione ed *elementi* del clima è stata coniata la dicitura di *ecosistema urbano*, quindi pienamente identificandolo come un territorio dalle autonome specificità. Ecosistema urbano peraltro definito da una particolare azione climatica anch'essa tipizzata e specifica, presentante una serie di elementi distintivi che lo portano ad essere identificato come *mesoclima urbano*³⁸.

IV.3.1. Il clima urbano e le sue ripercussioni sugli organismi vegetali

L'attività di urbanizzazione è sicuramente l'elemento che maggiormente incide nella determinazione dei fenomeni climatici urbani, ossia nella declinazione e caratterizzazione di quello che in precedenza è stato definito mesoclima urbano: essa lo condiziona sia per quel che concerne le caratteristiche microclimatiche agenti sul sito urbano, che nella definizione delle popolazioni vegetali rilevabili in tale specifico luogo. Quindi tutte le attività di tipo antropogenico, compresa l'urbanizzazione, alterano le condizioni climatiche in modo persistente, con effetti sensibili sui fenomeni naturali: radiazione solare, temperatura dell'aria, umidità relativa, precipitazioni e ventosità. Queste ripercussioni microclimatiche o climatiche (in funzione della scala di valutazione) sono colpevoli di quella particolare caratteristica microclimatica afferente ai luoghi massicciamente antropizzati che gli studiosi indicano con l'appellativo di *effetto città*. Tale effetto colpisce tutte le conurbazioni di una certa dimensione in modo direttamente proporzionale alla dimensione, differenziando i luoghi urbani dalle zone periurbane o rurali per una serie di motivi, quali:

- la ridotta presenza di vegetazione naturale che, come illustrato nel capitolo VI della presente ricerca, può garantire una serie di azioni climatologiche attive e passive nei confronti del clima urbano e del comfort percepito dalle persone;
- i caratteri di forma: se le aree rurali sono quasi completamente piatte (ad esclusione delle presenze edilizie e geologiche puntuali, o di gruppi di specie arboree di differenti dimensioni), le vie della città sono assimilabili a dei *canyon*; più i canyon urbani sono profondi, maggiore sarà la difficoltà che il calore immagazzinato dagli edifici venga ceduto nei confronti dell'atmosfera;
- il colore: nelle aree naturali dominano le sfumature del verde mentre nelle conurbazioni, caratterizzate da tonalità tendenzialmente scure od opache, la radiazione solare diretta e diffusa tende ad essere quasi totalmente assorbita e scarsamente riflessa;
- l'intensità delle attività umane: in città sono molto frequenti combustioni di diversa specie (ad esempio per riscaldamento, raffrescamento, mobilità motorizzata, ecc.) con conseguente rilascio di calore ed emissioni di inquinanti gassosi in atmosfera³⁹.

L'effetto più importante e macroscopico imputabile all'effetto città è quello che interessa la temperatura dell'aria, provocandone un innalzamento medio durante l'intero arco dell'anno: esso

³⁸ STAFFOLANI, LAURA, *Studio ecologico del potenziale fitoallergenico nell'ecosistema urbano dell'Italia centrale*, in bibl., p.29. (La dicitura di "mesoclima" porta quindi i contesti urbani ad essere inseriti fin dalla definizione nelle fasce climatiche temperate, o comunque non fredde: cfr. IV.1).

³⁹ Cfr. MARIANI, LUIGI, "Clima urbano e alberi: risorse e limiti", in bibl., pp.1-2

prende il nome di effetto dell'*isola di calore urbana* – *Urban Heat Island* (UHI) nella dicitura anglosassone – e presenta una serie di ripercussioni sia nei confronti dei sistemi vegetali che per quanto concerne il comfort ambientale percepito dall'essere umano⁴⁰. L'isola di calore urbano consiste in un innalzamento localizzato delle temperature nel centro città, che si mantiene su livelli maggiori rispetto a quelli registrati nelle aree rurali o meno urbanizzate: tale fenomeno risulta di diretta derivazione della densità edilizia, nonché conseguente all'estensione dell'area urbanizzata (Fig.IV.6). L'UHI risulta massima nelle ore notturne della giornata, e la sua azione è maggiore durante l'inverno⁴¹; inoltre risulta maggiorato quando il cielo è sgombro da nuvole, e tende a diminuire in proporzione alla ventosità agente sul centro urbano: ciò significa che nelle conurbazioni particolarmente ventose il differenziale termico fra centro e periferia tende a diminuire proporzionalmente, fino ad annullarsi.

		UHI (°C)	
		Città europee	Città americane
Numero abitanti	1.000	2.0	3.4
	10.000	4.0	6.1
	100.000	6.0	8.9
	500.000	7.4	10.8
	1.000.000	8.0	11.6
	2.000.000	8.6	12.4
	3.000.000	9.0	12.9
	4.000.000	9.2	13.2
	5.000.000	9.4	13.5

Fig.IV.6 – Differenziale termico massimo fra centro città ed aree periurbane, calcolato in funzione del numero di abitanti e della localizzazione continentale di una conurbazione. Il calcolo è stato effettuato utilizzando la formula messa a punto da Tim R. Oke nel 1978 (Cfr. bibliografia): il valore risulta maggiorato nelle città americane in quanto queste presentano una densità edilizia mediamente più alta. (Fonte: MARIANI, LUIGI, "Clima urbano e alberi: risorse e limiti", in bibl., p.2)

La risultante di tale fenomeno si traduce quindi nella presenza di un microclima artificiale che può andare ad incidere su quello che è l'habitat tipico delle specie caratteristiche che popolano una data zona. Le conseguenze legate al fenomeno dell'isola di calore incidono sulla vita dei sistemi vegetali, sia che si tratti di quelli presenti in città, che per quel che concerne le azioni di avvicendamento e movimentazione reciproca delle specie in entrata o uscita – conseguentemente all'azione climatica – dai tessuti urbani.

Il mesoclima urbano presenterà perciò dei valori medi sempre maggiori rispetto a quelli di altre zone non urbanizzate, quindi la temperatura presente in città si discosterà da quella caratteristica della classe climatica d'appartenenza. Esso diverrà quindi paragonabile ad un clima temperato per le conurbazioni localizzate a latitudini più elevate (che, invece, nelle aree esterne alla città continueranno ad essere interessate da temperature più fredde), e tenderà alla mediterraneità per i contesti più a sud, con ovvie ripercussioni sulle caratteristiche dei vegetali spontanei o coltivati presenti nel tessuto

⁴⁰ Nel presente capitolo l'effetto dell'UHI verrà rapportato alle sue conseguenze nei confronti dei sistemi vegetali, mentre all'interno del paragrafo VI.1 del settimo capitolo esso verrà declinato in base alle sue ripercussioni a livello microclimatico e nei confronti del comfort ambientale.

⁴¹ Ciò non toglie che invece, nei confronti della percezione umana, esso si riveli maggiormente svantaggioso durante le stagioni calde: cfr. capitolo VI

urbano. Ad esempio, in una città come Milano l'effetto dell'UHI conduce a fenomeni come la scarsità di gelate invernali o ad una formazione di manifestazioni nebbiose ben al di sotto delle medie zonali tipiche: ciò si traduce nel fatto che la popolazione vegetale milanese, seppur localizzata nel nord Italia, sia paragonabile ad una flora tipica di areali mediterranei. Caratteristica che rende maggiormente difficoltoso, al contempo, l'abbattimento naturale del carico di antropodi⁴², col risultato che le aree urbane risultano tendenzialmente più infestate di quelle rurali. Queste differenziazioni microclimatiche localizzate portano ad un avvicendamento continuo tra specie vegetali, col risultato che quelle autoctone tendono a migrare sempre più a settentrione e verso latitudini maggiori, lasciando il posto a specie esotiche tipiche di areali più meridionali.

L'ecosistema urbano risulta peraltro particolarmente frammentato anche all'interno della medesima conurbazione, con la diretta conseguenza di una grande differenziazione climatica – e perciò anche delle comunità vegetali – anche tra punti molto vicini all'interno della stessa città: un fenomeno tipico della frammentazione del mesoclima urbano è la variazione di temperatura media proporzionalmente crescente fra aree verdi interne al tessuto cittadino, zone urbane dalla media densità edilizie e tessuti che presentano densità accentuata.

Concludendo, è possibile ammettere che risulta importante ai fini della declinazione agronomica relativa al presente studio evidenziare la forte dipendenza che lega le caratteristiche climatiche di una zona alle peculiarità delle specie in essa presenti; diviene quindi evidente che, presentando il clima urbano le specificità sopra descritte, non possa che accadere altrettanto con la vegetazione ivi presente. Pertanto, se fattori ed elementi del clima urbano conducono ad una fortissima variabilità delle condizioni presenti all'interno del medesimo ecosistema urbano – tanto che esso viene definito come un sinecosistema⁴³ – tale differenziazione non può che tramutarsi anche in un'accentuata discontinuità vegetale, a differenza di quel che accade in contesti poco o affatto urbanizzati, che sempre presentano una vegetazione maggiormente omogenea. Minor discontinuità zonale delle periferie che si traduce, di fatto, in un più basso numero di problematiche legate a competizioni specifiche, adattamenti vegetali e/o fenomeni di aggressività da parte di specie infestanti vegetali o animali.

IV.3.2. Caratteristiche dei suoli urbani

Se dalle stratificazioni urbanistiche ed evoluzioni storiche di un tessuto cittadino dipendono direttamente (e marcatamente) le caratteristiche microclimatiche e di presenza vegetale di una conurbazione, è possibile applicare il medesimo ragionamento anche per quel che concerne le peculiarità della composizione del suolo in ambiente urbano. Anch'esso, presentando delle specificità particolarmente marcate, entra a pieno titolo nella determinazione di quelle che sono le caratteristiche fondanti di un ecosistema urbano.

«Il suolo, dal latino *solum* (pavimento), è lo strato più superficiale della crosta terrestre. Esso si può intendere come un sistema dinamico aperto, le cui caratteristiche derivano dall'alterazione dello

⁴² Gli antropodi sono insetti e animali di piccola taglia che comunemente vengono chiamati parassiti o infestanti.

⁴³ «L'ecosistema urbano è considerato come un sinecosistema, in cui lo spazio è frammentato in numerosi biotopi originatisi in relazione all'evoluzione urbanistica delle singole aree». STAFFOLANI, LAURA, *Studio ecologico del potenziale fitoallergenico nell'ecosistema urbano dell'Italia centrale*, in bibl., p.29

strato pedogenetico⁴⁴ (qualunque esso sia: roccia, altro suolo, ecc.), sottoposto ad input esterni di energia e materia che presenta funzioni di trasformazione, traslocazione e conservazione di massa (tra cui anche la massa biologica prodotta dalla decomposizione piante, insetti o animali morti, *NdA*) ed energia. Il suolo può derivare dalla lenta attività dei fattori della pedogenesi o, come nel caso dei suoli urbani, può essere il risultato di un'azione umana assolutamente recente»⁴⁵. Il suolo urbano è sostanzialmente paragonabile ad un composito artificiale, un substrato⁴⁶ dalle particolari caratteristiche che lo differenziano da quelli derivanti dalla pedogenesi.

Le peculiarità dei suoli urbani sono fortemente caratterizzate ma pressoché comuni in tutto il globo. Inoltre è possibile affermare che essi presentano una qualità tendenzialmente più scarsa (nonché sfavorevole per le piante) di un qualsiasi suolo di origine naturale: si badi bene che il substrato urbano non è comunque del tutto artificiale, ma è piuttosto il risultato della mescolanza tra il suolo naturale inizialmente presente prima della nascita di una conurbazione e la risultante storica delle azioni e delle attività antropiche che nei secoli hanno agito su quell'area.

La principale caratteristica che differenzia un suolo urbano da uno naturale è che se quest'ultimo consiste in «un profilo composto da orizzonti verticali, il suolo urbano non ha un profilo, o meglio presenta una grandissima variabilità, sia verticale che orizzontale, proprio perché i processi pedogenetici non sono alla base della sua formazione, ma la stratificazione è causata dall'accumulo di detriti, materiali di riporto, edili, resti di scavi di fondamenta [...]. Tutto ciò sia a livello macroscopico che microscopico»⁴⁷. Quindi non solo non si può definire un'unica tipologia di suolo per un'intera città, ma tale azione risulta impossibile anche se si analizza una piccola porzione di terreno all'interno della città stessa.

L'azione antropogenica e il conseguente fenomeno dell'isola di calore rendono il substrato cittadino particolarmente inadatto ad ospitare dei sistemi vegetali, in quanto lo portano ad esprimere alcune caratteristiche che si dimostrano tendenzialmente negative nei confronti della maggior parte delle piante. Esso infatti si dimostra un elemento dalla scarsa presenza organica e di organismi terricoli attivi (vermi, insetti, ecc): fattore che concorre alla maggiore o minore qualità del substrato; inoltre, la continuativa presenza dell'uomo e delle attività che esso esercita contribuiscono al compattamento, e a renderlo quindi sia meno permeabile all'acqua – che quindi fatica a penetrare nei substrati o in falda, a scapito del rifornimento idrico delle specie ivi contenute – sia ad abbassare la presenza di cavità d'aria nel sottosuolo: sacche d'aria che si rivelano fondamentali all'ossigenazione delle radici e, quindi, alla vita delle piante. Questi fenomeni negativi producono uno stato di stress negli organismi vegetali, rendendone lo sviluppo vegetativo maggiormente difficoltoso in quanto le qualità strutturali, idriche e nutritive del terreno vengono a diminuire⁴⁸.

⁴⁴ La pedogenesi consiste nella sommatoria delle attività ed evoluzioni storiche che hanno portato alla formazione di un suolo.

⁴⁵ LORENZETTI, R., "Il suolo nell'ambiente urbano", in bibl., p.2

⁴⁶ All'interno della disciplina dell'agronomia il termine *substrato* indica la superficie su cui vive una pianta. Esso normalmente consiste nella composizione di uno o più materiali organici (ad esempio terreno naturale, torba, ecc.) o inorganici (roccia, argilla espansa, feltro, fibra di vetro o di ceramica, ecc.) adeguatamente miscelati a seconda delle specifiche caratteristiche delle specie vegetali che vi dovranno insistere.

⁴⁷ BRETZEL, FRANCESCA, *Terreno: un aspetto trascurato nel verde pubblico*, in bibl.

⁴⁸ Nel 2006 il *World Reference Base for Soil Resources*, ossia il sistema ufficiale di nomenclatura e classificazione adottato dalla Comunità Europea, ha ufficialmente introdotto i suoli urbani nella classe dei *Technosols*. Tali tipologie di suolo presentano un'alta percentuale di artificiosità, notevole durezza superficiale e limitatissime doti di permeabilità idrica.

Le peculiarità microclimatiche e del suolo portano l'ambiente urbano a presentare una complessità globale particolarmente accentuata, caratterizzandolo fortemente e differenziandolo da tutti gli altri. Il suolo è, come visto, carente dal punto di vista qualitativo e l'ambiente cittadino rende difficoltosa la vita della maggior parte dei sistemi vegetali. Tali agenti si ripercuotono sulle specificità della flora urbana e la caratterizzano fortemente, in quanto i fattori che regolano la qualità di vita di una specie vegetale sono riassumibili in: abbondanza idrica, qualità del suolo (composizione, nutrienti presenti, adeguata ossigenazione, ecc.), presenza di luce e sole (in quanto l'energia proveniente dalla fonte solare è impiegata nella fotosintesi), adeguato volume di terreno o substrato, qualità di aria e suolo (intesa come non nocività).

IV.3.3. La flora urbana

Come visto, gli agglomerati urbani presentano delle tipicità che li differenziano da tutte le altre categorie ecosistemiche. Le specificità di clima, composizione dei terreni e struttura spaziale configurano la città come un particolare habitat anche nei confronti dei sistemi vegetali presenti o potenziali: motivo per cui all'interno di una conurbazione sono rilevabili delle specie differenti per tipologia, e soprattutto per numero, rispetto a quelle che insistono sui contesti poco o affatto urbanizzati circostanti.

Ciò accade perché all'interno dei centri urbani esistono, di fatto, una molteplicità di contesti puntuali diversi e delle stratificazioni urbanistiche che permettono l'attecchimento di particolari generi di piante che in altre situazioni – e cioè, nello specifico, quelle meno urbanizzate – non riuscirebbero a sopravvivere o diffondersi. Questa caratteristica di originalità nel numero e nella qualità delle specie presenti sembra peraltro essere direttamente proporzionale anche all'effettiva anzianità storica di un'area edificata. Il paesaggio urbano tipico «è caratterizzato da un mosaico ambientale fortemente frammentato e i suoli sono oggetto di numerosi e differenti utilizzi: giardini pubblici e privati, campi da gioco, discariche, ex aree industriali, argini di fossi e canali, terrapieni delle ferrovie, orti e terreni periferici dedicati all'agricoltura»⁴⁹ e, di conseguenza, «la flora urbana appartiene a diversi biotopi: centro storico, mura, prati urbani, scarpate stradali, incolti aridi, incolti ombreggiati, ruderi, lembi di vegetazione boschiva»⁵⁰. L'effetto diretto di tutto ciò è che la vegetazione urbana risulti anch'essa fortemente tipizzata e differenziata rispetto a quel che concerne le specie o famiglie vegetali generalmente rilevabili in una qualsiasi area geografica vicina, presentando delle caratteristiche di discontinuità puntuale: la vegetazione urbana assume quindi delle caratteristiche di autonomia, e viene di conseguenza indicata con l'appellativo di *vegetazione urbica*.

Le prime caratteristiche che interessano la flora urbica riguardano il numero e la provenienza. Infatti, numerose ricerche hanno dimostrato come in tutte le città, ma soprattutto in quelle che presentano gli avvicendamenti storici più longevi (ad esempio Roma nel caso italiano), la flora tipica sia caratterizzata da un numero di specie maggiore rispetto alla media dei luoghi circostanti, e come queste siano prevalentemente esotiche⁵¹. Lo stesso accade all'estero: lavori scientifici relativi ad

⁴⁹ LORENZETTI, R., "Il suolo nell'ambiente urbano", in bibl., p.1

⁵⁰ STAFFOLANI, LAURA, ibidem.

⁵¹ «Analisi floristiche effettuate in diverse città italiane (Milano, Torino, Bologna, Bari, Napoli, Padova, Perugia, Roma, Trieste, ecc.) hanno individuato ben 1.670 specie appartenenti a 129 famiglie botaniche». Fonte: BENVENUTI, STEFANO, *Aspetti biologici ed ecologici della flora infestante dell'ecosistema urbano*, in bibl., p.2

alcune città mitteleuropee hanno riscontrato una presenza di specie aliene mediamente stimabile nel 40% della flora totale, quindi una percentuale elevatissima. Effetto che conduce all'instaurazione di una spiccata competizione tra specie alloctone e indigene. È quindi possibile affermare che il «mesoclima urbano gioca un ruolo importante sulla composizione della flora e sul livello di biodiversità, soprattutto sul contingente alloctono attraverso l'ingresso di specie estranee nelle flore locali»⁵² e tipiche. In sintesi: la città si trova ad essere interessata da un clima tendente alla mediterraneità e tale fatto condiziona le specie presenti. Si viene quindi a creare una situazione consequenziale schematizzabile in una sorta di diagramma a cascata, in cui è presente un'intima relazione tra l'effetto dell'isola di calore, le sue ripercussioni sulle caratteristiche dei suoli urbani e, in definitiva, sulle loro dirette ricadute a livello di flora riscontrabile.



Fig.IV.7 – Edificio storico colonizzato dai vegetali. Queste piante di *Capparis spinosa* (cappero) sono riuscite ad invadere la muratura (colonizzazione primaria) sfruttando la propria capacità di disseminazione myrmecocora: i semi della pianta – molto grandi, quindi impossibilitati al raggiungimento autonomo delle fessure murarie – vengono trasportati dalle formiche che li collocano negli interstizi rocciosi. (Fonte: BENVENUTI, STEFANO, *Aspetti biologici ed ecologici della flora infestante dell'ecosistema urbano*, in bibl., p.11)

Nonostante il difficile ambiente ecologico, comunque, molte specie riescono a colonizzare in modo naturale suoli e spazi della città, e le tipologie di piante che solitamente vi riescono sono quelle che tollerano maggiormente i fenomeni di stress vegetale tipicamente indotti dall'habitat urbano, come scarsità di substrato, carenza idrica, disturbi antropici accentuati ed inquinamento dell'aria. Fattori di

⁵² GORTAN, EMANUELLE, *Misura dello stato idrico di Fraxinus ornus L. quale biomonitore dell'aridità ambientale in siti diversi del carso triestino*, in bibl., p.11

selezione che portano a sopravvivere con maggiore facilità e a prendere il sopravvento sulle altre quelle specie che riescono a sviluppare precise strategie di persistenza in loco, come *resilienza*, *disseminazione* e *perennanza*⁵³: tutte specie, quindi, molto competitive. Accade perciò, di conseguenza, che spazi urbani – orizzontali e verticali – dalle diversissime tipologie di substrato (come ad esempio pareti verticali di ruderi abbandonati, aiuole spartitraffico, bordi di marciapiedi, ecc.) si trovano ad essere interessate da molteplici forme di colonizzazione vegetale primaria⁵⁴ che, sfruttando le intrinseche caratteristiche vegetali sopra descritte, riescono a trovare il modo per attecchire anche in luoghi dove la presenza di substrato sia minima, l'umidità scarsissima e le condizioni di vita estreme. Tali caratteristiche di colonizzazione e competitività tipiche della vegetazione urbana, oltre a rivelarsi particolarmente insidiose per impianti artificiali prodotti dall'uomo⁵⁵, possono anche tramutarsi in una delle configurazioni ideali ed archetipiche che hanno odiernamente condotto all'approdo verso alcune tipologie di chiusure verticali vegetate⁵⁶ (Fig.IV.7).

IV.3.4. Effetti di microclima, suolo e flora urbana sugli impianti realizzati dall'uomo

Il contesto urbano condiziona le specie spontanee ivi presenti o potenzialmente reperibili e queste, al contempo, possono presentare un'influenza diretta sulle piante che vengono introdotte dall'uomo all'interno della conurbazione, come una parete vegetata o una copertura a verde. Valutare le caratteristiche del microclima nella selezione dei possibili vegetali da introdurre in una chiusura vegetata, e considerare possibili sollecitazioni, attacchi o competizioni alle quali esse possano trovarsi a dover fronteggiare diventa una discriminante fondamentale per la buona riuscita di un impianto.

La condizione climatica è il fattore che primariamente determina le possibilità di una superficie a verde, in quanto il mesoclima urbano che si viene a creare – imputabile, come visto, alle attività di origine antropica – si palesa come un innalzamento di temperatura localizzato: innalzamento microclimatico che si ripercuote sulla riserva idrica necessaria alle piante e, perciò, a sua volta anche in un maggiore dispendio di risorse energetiche e idriche da dedicare ai vegetali interessati.

Inoltre, il contesto climatico è un fattore determinante anche per la vita stessa di una pianta perché ogni specie vegetale, in funzione della regione di provenienza e della contestuale struttura fisiologica caratterizzante, potrà sopravvivere con maggiore o minore facilità in un dato luogo che ripresenti, o meno, le condizioni native originali: la temperatura di esercizio che ogni pianta riconosce come maggiormente favorevole viene definita *cardinale*, e può presentare diverse declinazioni o valori

⁵³ La *resilienza* (al calpestamento da persone, pneumatici, ecc.) è un fattore di resistenza allo stress che, per quel che concerne l'ambito urbano, appartiene soprattutto alle specie graminacee. La *disseminazione* consiste nella capacità di alcune specie vegetali di disseminare anche molto lontano dalla pianta stessa i propri organi riproduttivi (ad esempio i semi), e può avvenire tramite il vento (disseminazione anemocora), mediante insetti o animali (myrmecocora o zoocora) o antropocoria (prodotta cioè dall'essere umano che contribuisce a disseminare gli organi della pianta, ad esempio trasportandoli involontariamente coi pneumatici delle automobili). Le specie *perennanti* sono quelle che hanno un ciclo biologico più lungo di un anno, quindi riescono a sopravvivere oltre la stagione avversa: ciò rappresenta un indubbio vantaggio nei confronti di quelle specie che, invece, ogni anno devono ricominciare dall'inizio il proprio ciclo di vita.

⁵⁴ La colonizzazione *primaria* è quella che consiste nell'inizio di un ciclo vegetale in un nuovo ecosistema precedentemente non colonizzato da alcuna specie: si parla di colonizzazione primaria (in contesto urbano) ad esempio quando una specie vegetale riesce ad attecchire e crescere sul davanzale o sulla grondaia di un manufatto architettonico. Cfr. paragrafo IV.4

⁵⁵ Come ad esempio una parete a verde.

⁵⁶ Cfr. paragrafo IV.4

caratteristici. Alla temperatura cardinale *ottimale* la pianta vegeta al meglio, cioè con il massimo dell'efficienza sia fisiologica che per quel che concerne la domanda di risorse; al di sotto della temperatura cardinale *minima* e al di sopra di quella *massima* le attività fisiologiche del vegetale si interromperanno, per riprendere solo quando la temperatura dell'aria ritorni all'interno del range di compatibilità differente per ogni specie o varietà. Ovviamente, l'uscita della temperatura dai valori compresi all'interno di quelli cardinali massimi o minimi provoca dei fenomeni di stress all'apparato vegetale; sofferenza che sarà funzionale sia alla temperatura effettiva che alla durata nel tempo. Qualora tale discomfort del vegetale si prolunghi eccessivamente potrebbe anche sopraggiungerne il decesso.

La flora urbana, particolarmente pioniera e colonizzatrice, può rivelarsi una criticità per le specie introdotte dall'uomo, in quanto potrebbe crearsi una competizione fra le piante presenti in parete e quelle spontanee – indigene o esotiche – che interessano le aree circostanti della conurbazione edificata. Le pareti a verde, e specialmente quelle di ultima generazione contenenti una molteplicità di esemplari anche differenti fra loro nella struttura e nella provenienza, possono risultare facilmente attaccabili dalle specie invasive o infestanti (queste ultime sia vegetali che animali): esse col tempo potrebbero anche prendere il sopravvento su quelle originarie⁵⁷. Tale fattore potrebbe quindi risolversi nella non riuscita formale o nel decadimento delle qualità estetiche della facciata inverdita, anche solo dopo un lasso di tempo relativamente breve dall'impianto⁵⁸; o comunque in una necessaria e particolarmente intensa serie di manutenzioni ordinarie o straordinarie (come ad esempio sfalci, estirpazione delle piante infestanti, potature, trattamenti antiparassitari, ecc.) che corrisponderebbero, anche in questo caso, ad un forte investimento energetico ed economico per le attività di manutenzione o ripristino del verde iniziale: pena il totale sconvolgimento delle caratteristiche della parete vegetata. Risulta quindi evidente come il parametro dei possibili disturbi da parte di specie infestanti sia da tenere in debita considerazione nella progettazione agronomica di una parete a verde, nonché nella scelta dei vegetali da impiegare; in quanto optare per specie poco (o per nulla) attaccabili si traduce in una diminuzione dei costi gestionali della facciata e in una maggiore percentuale di riuscita dell'intervento.

IV.4. Sistemi vegetali d'integrazione a superfici edilizie: dinamica evolutiva e tipologie archetipiche di riferimento

Le tre tecnologie per l'inverdimento parietale definite nel paragrafo II.5 (ossia rivestimenti a verde, chiusure verticali vegetate e muri vegetali) non sono un'invenzione contemporanea ma tutte – anche quelle considerate più evolute – presentano matrici storiche assodate e derivano dall'osservazione diretta dei fenomeni della natura. L'obiettivo del presente paragrafo sarà quello di illustrare gli elementi archetipi e le manifestazioni naturali che abbiano ispirato dette tecnologie: seppur esse siano in alcuni

⁵⁷ I rivestimenti vegetali (cfr. capitolo III) risultano solitamente meno attaccabili dalle piante infestanti, in forza della loro bassa presenza contemporanea di specie diverse, nonché del minor numero totale di esemplari presenti. Infatti, se un rivestimento a verde solitamente presenta poche piante (o anche una sola) su molti metri quadrati di superficie rivestita, alcune tipologie di chiusure verticali vegetate possono anche giungere a contenere 25-30 piante per ogni metro quadrato di superficie.

⁵⁸ “Un tempo relativamente breve dall'impianto” potrebbe convenzionalmente essere quantificato in uno o due anni.

casi interpretabili come degli apparati dall'elevatissima tecnologia e specializzazione intrinseca, è altresì vero che esistano dei fenomeni d'inverdimento naturale di spazi o edifici che le hanno ispirate.

Le forme d'inverdimento parietale oggi più evolute derivano tutte da quella tecnologia d'ingegneria ambientale che potrebbe essere definita come "tecnica del terrazzamento": schematizzando il concetto è possibile ammettere che muri vegetali e chiusure vegetate della contemporaneità presentino il luogo d'impianto dei vegetali direttamente come integrazione degli apparati di facciata. Si giunge quindi ad una situazione tecnologica in cui la chiusura verticale è completamente pervasa da una serie di punti d'impianto giustapposti in quota e posizionati ad una distanza reciproca variabile. Tale luogo d'impianto, essendo ricavato in una nicchia contenuta nella chiusura stessa presenta, appunto, una forte similitudine con quello che accade nei terrazzamenti montani della tradizione, in cui il substrato d'impianto è portato in quota mediante un espediente architettonico appositamente studiato.

Risulta comunque obbligato ribadire che seppur il terrazzamento montano sia forse la tecnica che idealmente rappresenta in modo migliore il concetto archetipico di parete vegetata, esso è solo *una* delle possibili matrici di riferimento. Infatti, tutte le varie tecniche per la realizzazione di pareti a verde possono essere rapportate ad una molteplicità di forme esistenti in natura, e che presentano tutte delle spiccate forme d'integrazione fra architettura (o parete massiva in generale) ed elementi vegetali⁵⁹.

Seppur ogni tipologia di quelle descritte in seguito presenti delle peculiarità dipendenti dalla regione di provenienza, e in conseguenza di elementi o fattori del clima, esse dimostrano, però, anche delle evidenti caratteristiche comuni legate alle modalità di diffusione territoriale delle piante. La dinamica generale che le accomuna consiste nel fatto che la natura, se non tenuta sotto controllo da parte dell'essere umano, tende ad espandersi nel tempo e nello spazio, giungendo ad invadere anche contesti particolarmente difficoltosi, come anfratti rocciosi verticali o elementi architettonici massivi. Per contro, la modalità specifica varia invece da caso a caso e da regione a regione, in funzione delle caratteristiche climatiche ed ecologiche del contesto. Ne consegue che ogni tipologia descritta all'interno del paragrafo sarà caratterizzata da specie vegetali diverse che per proprie caratteristiche fisiche e fisiologiche sono riuscite a svilupparsi in contesti estremi come quelli delle pareti verticali edilizie o rocciose.

La modalità che permette alle piante di colonizzare anche in superfici particolarmente difficoltose come quelle verticali (o tendenti alla verticalità) è sempre la stessa in ogni parte del mondo, in quanto le piante, in ogni luogo della Terra, hanno l'obiettivo primario della riproduzione al fine di garantire la perpetuazione della specie. Gli organismi vegetali diffondono quindi i propri elementi riproduttivi (semi, pollini, ecc.) in base alle proprie strategie specifiche di colonizzazione (vento, animali, insetti, ecc.), riuscendo ad attecchire dove possano trovare un contesto adatto alle particolarità specifiche.

Anche in questo caso entra quindi in gioco la fenomenologia delle modalità di successione della specie. Modalità che si suddividono in due classi, potendo essere primarie o secondarie: le successioni vegetali primarie sono quelle che prendono l'avvio in ambienti precedentemente privi di vegetazione, come ad esempio un substrato geologico vergine o una porzione muraria abbandonata⁶⁰; quelle secondarie corrispondono a ricostruzioni vegetali successive alla distruzione di

⁵⁹ Molteplicità di forme che verranno descritte nei paragrafi successivi. Si precisa che dalla seguente trattazione è stata esclusa – in quanto abbondantemente esplicita nel precedente capitolo – quella forma d'integrazione fra natura e superfici verticali che si viene a creare quando si abbiano delle pareti (edilizie o naturali) invase da piante rampicanti.

⁶⁰ Tale concetto, ovviamente, dovrà essere sempre rapportato ad un periodo temporale. Nel lunghissimo periodo

una comunità naturale o all'abbandono di una vegetazione antropogena. Entrambe queste strategie risultano quindi strettamente legate alle modalità di nascita o sviluppo dei vegetali e si basano su regole comuni; ma quelle che interessano l'argomento in esame – ossia sistemi vegetali che attecchiscono su pareti massive o rocciose – sono le strategie primarie. Nel far questo alcune specie sono naturalmente meglio attrezzate di altre. Le variazioni evolutive della presenza vegetale in un dato luogo sono infatti differenziate, a seconda che le specie siano più o meno adatte a colonizzarlo. Quindi, a seconda di questa loro capacità, le comunità vegetali si suddividono in *pioniere* o *mature*, in base al *Modello di descrizione delle strategie adattive* proposto dagli studiosi Drury & Nisbet nel 1973⁶¹.

	COMUNITÀ PIONIERE: STRATEGIA “r”	COMUNITÀ MATURE: STRATEGIA “K”
Mortalità	Variabile imprevedibile	Più costante e prevedibile
Ammontare della popolazione	Variabile: minore alla capacità portante	Costante: vicina alla capacità portante
Tipologia di competizione	Spesso debole	Tipicamente forte
Sviluppo	Rapido	Lento
Riproduzione	Precoce (anche una sola volta nella vita)	Ritardata (più volte nella vita)
Dimensioni	Piccole	Grandi
Durata di vita	Breve	Lunga
Produttività	Alta	Bassa

Tab.IV.8 – Confronto tra le principali caratteristiche di comunità vegetali pioniere e mature, in base al modello proposto nel 1970 dal Planka. (Rielaborazione da: FILESI, LEONARDO, *Dispense del corso di Botanica – Prima parte*, in bibl., p.28)

Le pioniere sono piante feconde, caratterizzate da dispersione degli organi riproduttivi e crescita veloce ma vita breve, e senza apparati di immagazzinamento dell'energia né difese. Sono quelle che per prime, ed in tempi relativamente brevi, riescono a colonizzare un luogo, iniziando un rapido e proficuo aumento della presenza vegetale, salvo poi scomparire e lasciare il posto, nel lungo periodo, a comunità di specie mature mediante il processo di *sostituzione vegetale*.

Le comunità mature dimostrano caratteristiche differenti dalle precedenti, presentando una dispersione degli organi riproduttivi più lenta, maggiore capacità competitiva, elevati valori di longevità ed un dislocamento delle risorse molto differenziato che va dalla riproduzione specifica, all'immagazzinamento energetico, alla difesa. In altre parole è possibile affermare che in natura, nel breve periodo, il competitore peggiore è un miglior colonizzatore, ma nel lungo periodo il competitore migliore avrà la meglio⁶² (Tab.IV.8).

(millenni o milioni di anni) i fenomeni climatici (ad esempio glaciazioni) possono provocare numerosissime variazioni climatiche sostanziali – e quindi anche ecologiche –, perciò la flora potrebbe ritrovarsi a ripartire da zero e doversi riformare dal nulla in più occasioni, creando quindi molteplici successioni primarie nel tempo.

⁶¹ FILESI, LEONARDO, *Dispense del corso di Botanica – Prima parte*, in bibl., p.27

⁶² Un esempio chiarificatore è quello che contempla la differenza fra i semi di acero e quelli di castagna, entrambe specie arboree provenienti dai medesimi areali: la prima specie è una colonizzatrice, la seconda una

Un modello di descrizione più evoluto di quello succitato è stato proposto da Grime nel 1979⁶³. In tale modello le caratteristiche delle strategie adattive specifiche vengono descritte in funzione dei fattori di *stress* e *disturbo*, portando così alla comparsa di tre strategie adattive primarie (quindi una in più di quello precedente). Un disturbo è esprimibile come un evento raro e imprevedibile – ad esempio un incendio – che si traduce nella distruzione parziale o totale della biomassa di una comunità, riportando la stessa ad uno stadio evolutivo precedente a quello rilevabile al momento del manifestarsi del disturbo; lo stress invece include i fenomeni che limitano la produzione fotosintetica delle piante, come scarsità di luce, acqua, nutrienti, temperature non opportune, ecc. In base alle modalità che tali due fattori avranno di manifestarsi si potranno riscontrare specie ruderali, competitive o stress tolleranti.

Le specie *ruderali* sono adattate a frequenti disturbi, ma non alla competitività. Esse sono del tutto simili alle pioniere citate in precedenza e tendono ad allocare tutte le proprie risorse verso la fecondità e la dispersione: la possibilità di muoversi e di esplorare spazi incontrastati è essenziale per la loro sopravvivenza. Le *competitive* sono adattate a bassi disturbi e basso stress, e succedono sempre alle ruderali nel medio-lungo periodo grazie alla maggiore competitività che le caratterizza. Le specie *stress tolleranti*, invece, ottengono il migliore successo sempre alle alte densità in quanto, in tali precise condizioni anche la stessa competizione può essere vista come un fenomeno di stress⁶⁴. Le stress tolleranti sono quindi adattate a basso disturbo ed alto stress, e suddividono le proprie risorse tra competizione e stress.

Conseguentemente alle particolari condizioni che interessano i contesti di colonizzazione descritti nei successivi paragrafi saranno sempre le specie pioniere ad avere la meglio, ossia le comunità ruderali, le stress tolleranti e quelle che presentino “strategia r”. Esse, in forza della loro migliore risposta allo stress riusciranno ad attecchire con più facilità in luoghi particolarmente difficoltosi come potrebbero essere anfratti rocciosi o pareti architettoniche (Fig.IV.9). A quel punto, comunque, sarà stato compiuto solamente il primo passo della colonizzazione vegetale di un’area, in quanto la pianta riuscirà ad adattarsi al nuovo luogo d’impianto solamente superando i vari fenomeni di stress da esso imposti: in tal caso la pianta potrà aumentare la propria colonia nel tempo (Fig.IV.10), mentre nel caso opposto essa sarà destinata alla morte o ad essere soppiantata da altre specie maggiormente adattabili alle specifiche criticità contestuali. A ciò si aggiunge un’aggravante ulteriore, ossia che nel tempo potrebbero sopraggiungere ulteriori fenomeni estranei e di variazione che potrebbero modificare le condizioni al contorno, trasformando un dato luogo da favorevole a sfavorevole o viceversa⁶⁵.

competitrice. Il seme di acero è molto piccolo e presenta degli apparati che somigliano a delle ali: apparati che gli permettono di venire trasportato molto lontano dai venti; il seme di castagno – ossia la castagna che normalmente si mangia – è invece particolarmente grosso e pesante, quindi non potrà cadere a grande distanza dal tronco dell’albero. Di conseguenza l’acero produce moltissimi semi piccoli e, perciò, contenenti poca energia e sostanze nutritive, mentre la castagna (che, viste le dimensioni ingloba un elevato quantitativo di energia e nutrienti) avrà maggiori possibilità di proliferare e concludere il ciclo di vita rispetto a specie meno competitive. Nel breve periodo l’acero colonizzerà grosse porzioni di spazio ma nel lungo periodo sarà il castagno ad avere la meglio e prendere il sopravvento, costringendo la colonia d’acero a spostarsi nella ricerca di altri spazi naturalmente liberi o liberati da eventi fortuiti, come ad esempio un incendio o l’opera dell’uomo.

⁶³ FILESI, LEONARDO, *ibidem*.

⁶⁴ Le cactose (piante grasse) sono un esempio ottimale di specie stress tolleranti.

⁶⁵ Un esempio è quello legato al riscaldamento globale. In risposta al *global warming* molte specie tendono ad emigrare sempre più a Nord, dove riescono a trovare condizioni climatiche maggiormente favorevoli.



Fig.IV.9 – A sinistra. Cattedrale romanica di Aquileia (UD), 2010. Il muschio (appartenente alla famiglia delle *briofite*) è una pianta particolarmente portata alla colonizzazione primaria: i muschi sopportano bene luoghi umidi e scarsamente illuminati, quindi sono anche identificabili come piante sciafile. La specie muscinale ritratta nella foto ha preso avvio da una macchia d’umidità sulla superficie muraria interna alla chiesa.

Fig.IV.10 – A destra. Venezia, giardini pubblici, 2009: dettaglio di un monumento commemorativo. Una volta che i muschi abbiano proliferato per primi sull’area di una superficie massiva, la flora tende ad evolvere. Nella foto è visibile come lo strato muscinale si sia tramutato da specie colonizzatrice a substrato per altre piante maggiormente complesse e strutturate.

Le specie considerate competitive invece, viste anche le dimensioni maggiori che presentano, troveranno sempre particolarmente difficoltosa la vita in tali tipologie di luoghi, almeno per quel che concerne una prima colonizzazione; ma una volta che determinati siti saranno stati colonizzati, e conseguentemente al deposito di substrati e sostanze organiche prodotte dagli avvicendamenti biologici o dai tessuti di piante morte, tali luoghi inizieranno a naturalizzarsi in modo sempre maggiore e più definito, finché non si verranno a creare condizioni favorevoli ad una colonizzazione di specie competitive e mature.



Fig.IV.11 – A sinistra. Pianta di *Sedum sp.* che ha colonizzato una cavità rocciosa dopo avervi trovato una minima presenza di substrato fertile (ad esempio polvere di terra o altre sostanze organiche). Il *sedum* appartiene alla famiglia delle crassulacee, particolarmente resistenti alle forme da stress tipiche di una parete massiva, come scarsità di substrato, carenza idrica e di luce naturale, pH roccioso potenzialmente aggressivo nei confronti del vegetale.

Fig.IV.12 – A destra. Flora urbana che è riuscita a colonizzare la fuga tra due pietre collocate sul corrimano di un ponte fluviale. (Fonte: BENVENUTI, STEFANO, *Aspetti biologici ed ecologici della flora infestante dell'ecosistema urbano*, in bibl., p.8)

IV.4.1. Le falesie rocciose

Le falesie montane sono sicuramente uno degli elementi naturali che hanno favorito in modo maggiore l'invenzione delle odierne tecnologie per la realizzazione di chiusure verticali vegetate, in quanto molte delle dinamiche che stanno alla base dell'avvio di colonie vegetali sulle superfici della falesia sono state riscoperte e riutilizzate ai giorni nostri, praticando una tramutazione architettonica e tecnologica di quegli elementi naturali.

Esse corrispondono a delle pareti verticali rocciose formatesi conseguentemente a fenomeni geologici o comunque naturali, e sono tipiche di paesaggi montani o scogliere marittime riscontrabili in gran parte del globo terrestre. Detto ciò è comunque doveroso specificare che quelle sicuramente più interessanti appartengono al bioma della foresta tropicale pluviale – definita spesso anche solo con l'appellativo di foresta tropicale –, in quanto tali conformazioni rocciose si assommano, in quel contesto, ad una presenza vegetale e climatica unica. Dal punto di vista morfologico le falesie si presentano come delle pareti rocciose contenenti un altissimo numero di nicchie geologiche e micro cavità che le piante possono utilizzare come luogo da cui prendere origine.

Vista la particolare conformazione delle foreste tropicali accade che le piante ivi presenti si siano adattate ad una scarsissima presenza di luce durante tutto l'arco dell'anno, dovendo peraltro trovare modalità alternative per il reperimento energetico e dei nutrienti. Infatti, se in botanica l'intero regno vegetale può essere suddiviso in due classi, ossia fanerogame e crittogame⁶⁶ determinate dalla

⁶⁶ LAMBERTINI, ANNA, *Giardini in verticale*, in bibl., p.15. Sono piante crittogame i muschi, le alghe, le felci, i funghi e persino alcuni batteri mono o pluricellulari.

diversa forma degli organi riproduttivi, si avrà che le seconde – caratterizzate da una non netta e ben delineata differenziazione degli organi ascendenti e discendenti (come radici e fogliame), o tra quelli destinati alle varie funzioni vitali nutritive e di crescita – tendono ad essere largamente presenti in ambienti dalla scarsa illuminazione, proprio come accade nella foresta tropicale. Specie crittogame che, come si vedrà in seguito e proprio in forza di tale caratterizzazione, si prestano ad un utilizzo ottimale in chiusure verticali vegetate e muri vegetali.



Fig.IV.13 – A sinistra. Dettaglio di una falesia della foresta tropicale pluviale. Si noti la vegetazione particolarmente sviluppata e caratterizzata da apparati fogliari di grandi dimensioni. (Fonte: BLANC, PATRICK, *Il bello di essere pianta*, in bibl., p.28)

Fig.IV.14 – A destra. Dettaglio di una falesia della zona alpina. La maggioranza della superficie massiva è ricoperta di uno strato muscinale che, se confrontato con la foto precedente, risulta molto rado e scarsamente strutturato. (Fonte: BLANC, PATRICK, *Il bello di essere pianta*, in bibl., p.30)

Ulteriore specificità della foresta tropicale è un ambiente particolarmente ricco d'acqua, sia sottoforma liquida che come percentuale di umidità dell'aria. Ne consegue che tutte le parti di quel particolare bioma (tronchi d'albero, terreno e pareti rocciose, superfici vegetali) sono costantemente pervasi dalla risorsa idrica sotto diverse forme: risorsa che condiziona, a sua volta, le caratteristiche fisiche e fisiologiche dei vegetali presenti. Tutta la flora della foresta tropicale è infatti identificabile, a livello generale, mediante una struttura particolarmente vigorosa e variegata, presentando grandi apparati vegetali e fogliari, un'accentuata presenza di infiorescenza molto strutturata o caratterizzate da notevole presenza di pollini e nettari: in botanica è particolarmente diretta la correlazione tra presenza d'acqua e struttura vegetale, infatti solo quelle specie che possono naturalmente (o artificialmente mediante l'apporto umano) contare su una grande quantità d'acqua – e quindi di

nutrimento – possono permettersi di “spendere” grandi dosi energetiche nella gestione e nel nutrimento di fiori e nettari⁶⁷.

La foresta tropicale è caratterizzata da uno strato arboreo⁶⁸ molto esteso e fitto, che crea delle condizioni particolarmente sfavorevoli per le specie presenti al di sotto di esso. Tali piante si trovano infatti a dover fare i conti con una scarsissima presenza di luce naturale (talvolta anche inferiore al 2% di quella totale) con ovvie ripercussioni sui meccanismi biologici: accade così che le specie del sottobosco tropicale abbiano dovuto sviluppare delle strategie di adattabilità nei confronti delle contestuali specificità. Si ha dunque, al di sotto della volta vegetale tropicale, un’altissima percentuale di piante *epifittiche*, a sua volta suddivisibili in parassite e non parassitarie. Le prime, dette anche piante aeree, vivono su di altre piante, utilizzandole come semplice base d’appoggio ma non per procurarsi il nutrimento (sono epifite non parassitarie felci, muschi, licheni o altri organismi sessili): esse non crescono sul terreno ma vivono prevalentemente sui tronchi o sui rami degli alberi. Le piante parassitarie, invece e come dice il nome stesso, si nutrono della linfa delle specie che le ospitano (sono esempi di piante parassite l’orchidea e il vischio): esse presentano degli apparati vegetali che penetrano nella corteccia della pianta ospitante per trarne nutrimento. Entrambe le specie hanno sviluppato nell’evoluzione differenti strategie che gli permettono di accumulare acqua e nutrienti utili alla vita. Col trascorrere del tempo tali tipologie di piante si riproducono aumentando la propria colonia vegetale, e divenendo substrato fertile per altre specie più grandi e maggiormente strutturate (Fig.IV.13).

Anche a latitudini maggiormente simili a quelle nazionali esistono comunque molteplici forme di falesia, come potrebbero essere quella montane o quelle a picco sul mare. Esse presentano però una differenza sostanziale dalle precedenti, in quanto le caratteristiche del clima sono molto diverse (temperatura, umidità e precipitazioni medie si attestano su livelli inferiori rispetto a quelli tropicali): questo fatto limita molto le caratteristiche della vegetazione presente, che si dimostra meno rigogliosa e differenziata, dovendo essa fare i conti con un’aridità zonale più marcata. Le specie rilevabili sono quindi quelle più simili alle regioni temperate o mediterranee, come ad esempio muschi e licheni (Fig.IV.14), *Sedum*, *Centaurea fronzuta*, *Campanulaceae*, *Salvia officinalis*.

IV.4.2. Le murature a secco

Le murature a secco rappresentano un’interessante forma di commistione tra architettura e natura, ed acquistano particolare interesse poiché tipicamente riscontrabili in contesti mediterranei (Italia, Spagna, Istria, ecc.), quindi le piante che vi si possono reperire si trovano in equilibrio con climi tendenzialmente aridi. Ciò significa che l’osservazione di tale elemento archetipico potrà risultare particolarmente proficua quando si ragioni in termini di aridità zonale, o si debba operare in contesti simili a quelli che caratterizzano la penisola italiana, dove le temperature sono mediamente elevate e la disponibilità idrica minore⁶⁹ rispetto ai luoghi tropicali o montani visti in precedenza. Il principio

⁶⁷ È per tale motivo che le specie tipiche di biomi storicamente aridi (come ad esempio i deserti o alcuni contesti mediterranei) presentano dimensioni e strutture molto più contenute, infiorescenze piccole e di breve durata o totalmente assenti: perché in quei contesti tali piante non potrebbero permettersi di sperperare un elemento tanto importante e così scarsamente presente come l’acqua nel nutrimento di infiorescenze o strutture sovradimensionate.

⁶⁸ Cfr. Fig.III.2 all’interno del terzo capitolo.

⁶⁹ Si fa notare, inoltre, come a causa del riscaldamento globale contemporaneo i contesti mediterranei

generativo della vegetazione nativa negli interstizi fra una pietra e l'altra è il medesimo che caratterizza le falesie, cioè si ha che si viene ad accumulare del substrato fertile tra fughe ed increspature dei massi che compongono tali murature a secco, permettendo nel tempo diverse fasi e successioni di colonie vegetali: la differenza quindi rilevabile tra le murature a secco ed altre che utilizzino malte o altri leganti risiede nel fatto che queste ultime potranno contare su una presenza di interstizi fugali solo minima, mentre le altre presentano anfratti e nicchie adeguatamente grandi da permettere l'attecchimento di vegetazione.

Le murature a secco si presentano come dei costrutti architettonici in cui la presenza vegetale non è altrettanto cospicua di quella riscontrabile altrove, ad esempio in alcune particolari tipologie di falesia quasi completamente rivestite da flore di diversa natura, con la conseguenza che il rapporto di copertura fra vegetazione e superficie massiva scoperta risulta più equilibrato (Fig.IV.15); inoltre, tale rapporto dipende molto anche dalla conformazione e dalla maggiore o minore complanarità della muratura ospitante. Le specie ivi presenti solitamente si riducono ad esemplari dalla grande capacità di adattamento, in quanto le condizioni di vita per le piante sono solitamente estreme e sottopongono i vegetali a continue forme di stress idrici, climatici⁷⁰, di substrato, o conseguentemente al pH solitamente aggressivo che certe rocce presentano.



Fig.IV.15 – Dettagli di murature a secco: gli interstizi fra i massi che le compongono diventano cavità per il deposito di terra e substrati che, col trascorrere del tempo, verranno colonizzati da forme vegetali differenti.

Le murature a secco si dimostrano quindi un riferimento interessante non solo dal punto di vista formale – in quanto elemento architettonico che contiene dei vegetali in superficie – ma anche da quelli agronomico e tecnologico. Alla luce dei paradigmi dettati dall'approccio sostenibile in campo progettuale diviene sempre più importante un oculato sfruttamento delle risorse; per di più, all'interno

risulteranno sempre più penalizzati, e la relativa scarsità idrica rappresenterà un problema sempre più grave.

⁷⁰ Si pensi alle alte temperature raggiunte dalle rocce quando direttamente irradiate dal soleggiamento.

di tale classe esigenziale uno dei comportamenti che assume oggi particolare importanza è sicuramente quello relativo al risparmio della risorsa idrica – altrimenti detta *oro blu*, per evidenziarne l'incommensurabile importanza a livello sia globale che nei confronti della vita umana – che inizia a scarseggiare in tutto il mondo.

Prendere spunto, nella realizzazione di pareti a verde, dagli apparati vegetali che popolano gli elementi archetipici ora descritti significherebbe poter godere pienamente della benefica azione microclimatica prodotta dall'impiego vegetale⁷¹, ma minimizzando gli sprechi idrici; fatto che non potrebbe ovviamente essere realizzato qualora si utilizzassero specie provenienti da areali o biomi naturalmente ricchi d'acqua, come ad esempio le specie tropicali. Il riferimento si rivela perciò interessante – visto che a tutt'oggi risulta ancora completamente inesplorato a livello di rivisitazione progettuale in chiave contemporanea – fermo restando che esso, obbligatoriamente, si accompagnerà ad una riuscita formale del Verde Verticale molto differente di quella a cui si è abituati. Integrare le chiusure verticali edilizie a specie vegetali tipiche delle murature a secco significherà dover fare i conti con dei rapporti fra superficie vegetale ed architettonica “nuda” molto minori rispetto alle pareti verdi cui si è oggi abituati, in quanto i vari sedum, muschi o licheni, seppur abbiano necessità idriche basse, presentano, per contro, delle strutture vegetali molto contenute e scarsamente rigogliose.

IV.4.3. I ruderi architettonici

La questione dei ruderi si riallaccia direttamente a due argomenti già citati in precedenza, ossia quello della flora urbana (con tutte le contestuali fenomenologie ad essa collegate), e le considerazioni introdotte al momento della descrizione delle falesie rocciose. Questo perché la vegetazione che interessa i ruderi edilizi, vista la loro ordinaria collocazione e struttura, è essenzialmente urbana; inoltre, dal punto di vista tecnologico e agronomico i ruderi sono del tutto assimilabili alle falesie delle nostre latitudini. Il fenomeno rappresentato dalle rovine edilizie consiste nella riappropriazione da parte della natura dello spazio tolto molto tempo prima mediante l'urbanizzazione e l'edificazione. Tale azione naturale sarà quindi interpretabile come colonizzazione *primaria* in senso stretto, qualora il lasso temporale di analisi si fermi al medio-lungo periodo, ed invece come colonizzazione *secondaria* se il lasso temporale si basasse sul lungo periodo. In questo secondo caso la colonizzazione sarà interpretabile quindi come ri-appropriazione vegetale vera e propria, introducendo – almeno concettualmente – una sorta di reversibilità dell'azione umana da parte di quella naturale.

Gli elementi che permettono la nascita di piante sulle superfici edilizie sono, appunto, quelle legate alle strategie di adattamento dei vegetali, e le specificità di alcune piante particolarmente adattate allo stress: perciò riescono a proliferare in ambienti tanto estremi. Le specie interessate sono quelle tipicamente resistenti all'azione urbana declinate in precedenza, in particolare le graminacee (ad esempio *Hordeum murinum*, *Cyperus spp.*); ma non solo, come *Parietaria spp.*, *Ficus carica*, *Cynodon dactylon*, *Centranthus ruber*, *Elichrisium italicum*, *Satureia montana*, *Calamintha nepeta*, *Capparis spinosa*, ecc.

Tale argomento risulta interessante ai fini del presente studio in quanto consente di mettere a sistema esigenze tipiche dei contesti urbani, cioè quelli preferenziali per l'installazione del sistema del verde parietale: ad esempio resistenza all'inquinamento, stress e disturbo accentuati, temperature

⁷¹ Cfr. capitolo VI

sempre maggiori alla media, azioni antropiche di disturbo, alta competitività specifica, ecc; quindi potrebbe rappresentare un ottimale riferimento alla selezione delle specie in sede progettuale.



Fig.IV.16 – Parco archeologico di Selinunte (TP), 2008. Le muraure abbandonate sono particolarmente portate ad essere colonizzate da diverse forme vegetali: gli interstizi fra le pietre da costruzione si rivelano ottimali nicchie per il deposito di substrati e l’attecchimento delle piante. Attecchimento tendenzialmente non osteggiato, in questi particolari contesti, dal disturbo recato dall’azione antropica.

IV.4.4. I terrazzamenti

I terrazzamenti montani, a differenza degli esempi riportati finora, sono un esempio di artificiosità, consistendo essi in un espediente creato dall’essere umano e finalizzato allo sfruttamento estensivo del terreno coltivabile anche in contesti montani o particolarmente difficili. Ulteriore differenza è che essi non sono completamente verticali, ma tendono alla verticalità percorrendo un crinale montano degradando in altezza. Tale categoria esulerebbe quindi dal puro rivestimento vegetale di superfici murarie o facciate edilizie: essi divengono però particolarmente importanti a livello culturale e tecnologico. Culturale in quanto, come detto, hanno ispirato tecniche contemporanee d’integrazione fra sistema tecnologico verticale e vegetale; tecnologico in quanto tale tecnica ha messo a punto nel corso dei secoli raffinati sistemi per integrare natura ed artificiosità, unitamente ad una serie di

strategie che riguardano sia le azioni d'impianto che quelle concernenti un corretto deflusso delle acque irrigue o meteoriche.

Le strutture terrazzate consistono sostanzialmente in una serie di muri di sostegno ravvicinati e degradanti in altezza, realizzati a secco o mediante l'impiego di leganti, che servono a creare delle superfici orizzontali praticabili per consentire impianti agricoli⁷² (Fig.IV.17). Essi non hanno dunque a che fare con precise o limitate tipologie di specie vegetale, ma si riferiscono piuttosto ad una tecnica agronomica applicabile con la quasi totalità delle specie agricole. È perciò difficile identificarli con specifici luoghi d'uso o di provenienza, ma interessano sostanzialmente molte regioni della Terra: per lo stesso motivo risulterebbe difficoltoso indicare delle specie tipiche ad essi associabili⁷³.

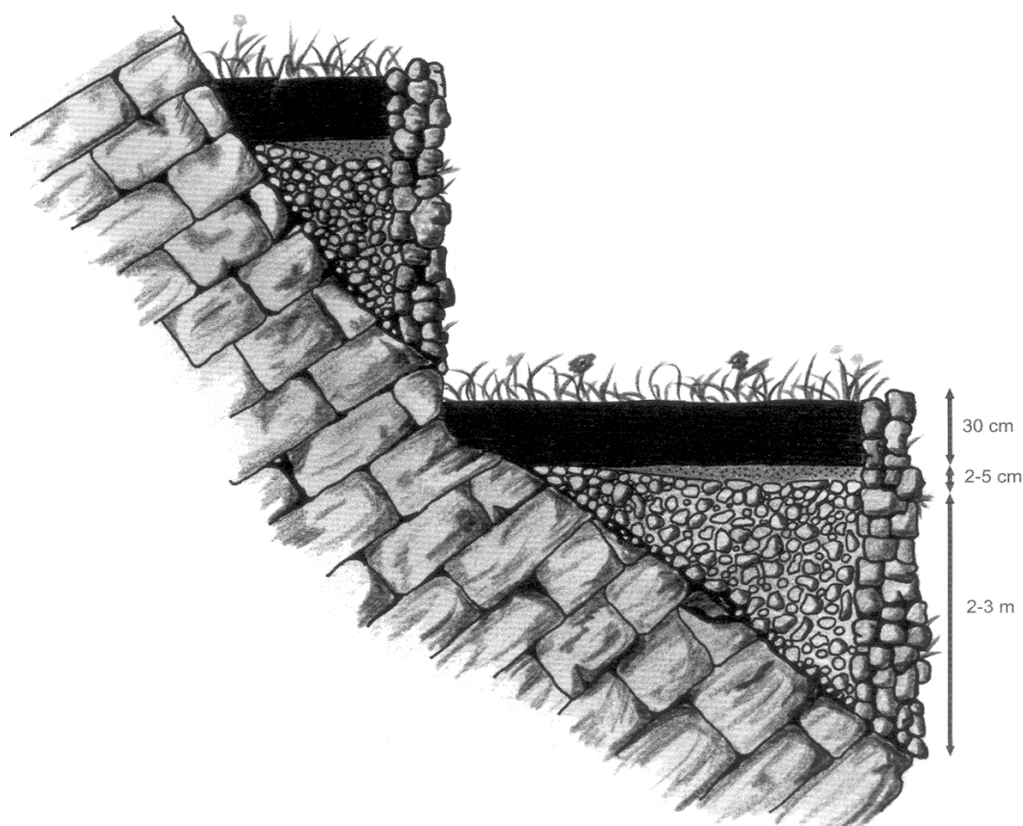


Fig.IV.17 – Schema tecnologico delle parti che compongono i terrazzamenti montani. Si noti la similitudine stratigrafica coi sistemi per la realizzazione dei substrati destinati agli impianti in vaso, visti nel capitolo precedente. (Fonte: FONTANARI, ENRICO, PATASSINI, DOMENICO (a cura di), *Terraced landscapes of the Alps – Projects in progress*, in bibl., p.50)

Invece risulta particolarmente degno di nota il paragone coi sistemi contemporanei per l'integrazione fra vegetali e architettura (come chiusure vegetate o muri vegetali), e con le tecnologie di collocazione in vaso e in quota per specie a portamento decombente descritte nel capitolo precedente⁷⁴. Inoltre, anche la stessa tecnica irrigua consistente nella percolazione dell'acqua dall'alto

⁷² I terrazzamenti potrebbero essere eseguiti anche in altro modo: creando uno sfalsamento tra i livelli praticabili mediante la creazione di scarpate utilizzando la tecnica del riporto di terreno, e quindi senza la necessità di realizzare dei muretti di sostegno. Non è però questo il caso che interessa il presente lavoro.

⁷³ Un esempio diffuso nelle zone montuose o collinari dell'arco alpino è la coltivazione della vite.

⁷⁴ Si veda anche come durante l'evoluzione storica che ha progressivamente condotto alla verticalizzazione

verso il basso per effetto dell'attrazione di gravità, è una di quelle che risultano maggiormente proficue quando si abbia a che fare con le odierne tecnologie per l'irrigazione parietale automatizzata.

I terrazzamenti sono una conseguenza della tecnica delle mura a secco succitate, in quanto la vegetazione che essi solitamente ospitano sulla superficie muraria verticale, e la morfologia costruttiva sono del tutto simili. Ne consegue che le colonie vegetali saranno esattamente le stesse che popolano tali strutture, ed alla stessa maniera verranno caratterizzate e risentiranno delle contestuali condizioni climatiche (Fig.IV.18).



Fig.IV.18 – Esempi di terrazzamenti eseguiti mediante murature a secco. Si noti la grande varietà vegetale delle specie presenti, direttamente proporzionale alla dimensione degli interstizi tra le pietre.

IV.5. Il sito di progetto: valutazione preventiva dei fattori microclimatici e ambientali

I fattori che caratterizzano l'ambiente e condizionano la presenza e lo sviluppo degli organismi viventi in un dato luogo vengono detti *fattori ecologici*, o *ambientali*. La sommatoria delle necessità di un vegetale nei confronti dei fattori ambientali consiste nelle *esigenze ecologiche* specifiche. Ogni specie si localizza in un dato punto del globo terracqueo a seconda delle proprie esigenze ecologiche: ciò significa che i vari organismi biologici prendono origine, crescono e si sviluppano nei luoghi in cui trovano le condizioni ambientali più adatte. Traslando il ragionamento e rapportandolo alle specie impiantate dall'essere umano è possibile affermare che si rende necessaria una valutazione attenta delle caratteristiche del sito dove si vada ad intervenire, con l'obiettivo che la specie inserita trovi l'ambiente adatto non solo alla propria sopravvivenza, ma anche ad un ottimale sviluppo biologico e allo svolgimento della funzione a cui è destinata. Il tutto al fine di poter ridurre al minimo il rischio di un eventuale insuccesso causato da un imperfetto adattamento ecologico della pianta.

L'individuazione di una pertinente correlazione tra i parametri fisici dei vari ambienti e il comportamento dei vegetali risulta un'attività delicata e complessa, in quanto i fattori ecologici ottimali

vegetale, la tecnica del terrazzamento sia stata una delle matrici figurative che hanno suggestionato importanti progettisti. Cfr. Fig.II.30 – Fig.II.33

si rivelano spesso complessi da determinare. La condizione teorica ideale sarebbe quella in cui tutti i fattori ecologici del luogo presentino le condizioni più favorevoli alla specie, anche se si tratta di una situazione difficilmente attuabile; bisognerà quindi operare affinché il maggior numero possibile di fattori si avvicini ai valori favorevoli, in modo da compensarne eventuali altri di deficitari⁷⁵. Come visto in apertura di capitolo, inoltre, il sottogruppo più importante relativo alle esigenze ecologiche è sicuramente quello legato ai fattori climatici: essi si rivelano la vera discriminante fondamentale per la buona riuscita di un impianto vegetale realizzato dall'uomo.

Ciò accade sia alla grande scala che a quelle minori. Nel momento in cui si decida di misurarsi con l'integrazione fra un sistema vegetale ed uno tecnologico all'interno del progetto di architettura sarà fondamentale essere consci del fatto che non sono solo le caratteristiche zonali ed ecosistemiche ad avere un'influenza diretta sullo sviluppo biologico delle piante, ma rappresenteranno un peso notevole anche le caratteristiche microclimatiche del contesto d'inserimento. Infatti, non sarà esclusivamente la maggiore o minore latitudine geografica a suggerire la tipologia di piante da impiegare, ma anche le condizioni del luogo in cui debba essere collocata una parete a verde, e l'eventuale presenza di elementi di disturbo architettonico o antropico, possono rivelarsi una discriminante da cui dipende la riuscita finale del progetto.

IV.5.1. Esposizione geografica e radiazione solare

La prima considerazione concerne l'esposizione della parete nei confronti del soleggiamento diretto. I vegetali, come la maggior parte degli esseri viventi, assumono una fisiologia fototropica, ossia tendono a ricercare il sole mediante i propri comportamenti; le piante tendono a disporre i propri apparati fogliari in direzione dei raggi solari mediante una continua ricerca della luce, in quanto utilizzano tale irraggiamento come fonte energetica nei processi fotosintetici⁷⁶.

Il sole è quindi l'elemento che primariamente caratterizza tutte le funzioni vegetali, e da esso dipendono anche, in buona percentuale, le temperature dell'aria e radianti di un contesto edilizio. Ne consegue che tutti gli organismi vegetali dovrebbero aver accesso diretto a un'adeguata dose di luce solare giornaliera o stagionale: luce solare che potrà essere diretta o diffusa, e suddivisa nella duplice componente energetica normalmente sfruttata dai vegetali, consistente negli spettri del visibile e dell'infrarosso⁷⁷. Dalla presenza della luce solare dipendono fenomeni come la nascita e l'accrescimento delle piante, la caduta o la formazione di foglie, fiori e frutti, quindi, in buona sostanza, della globalità della stagionalità vegetale; ne consegue che tutte le differenti specie richiedono adeguati *fotoperiodo* e *termoperiodo*: il primo consta nel rapporto giornaliero tra luce ed oscurità, mentre l'altro, fattore direttamente proporzionale al fotoperiodo e alla latitudine geografica, si traduce in maggiori o minori temperature giornaliere che influenzano lo sviluppo delle piante.

Si renderà perciò necessaria una selezione dei vegetali in funzione dell'esposizione della parete da inverdire, tenendo conto che tutte le specie necessitano, come visto, di luce solare diretta o diffusa

⁷⁵ MONTACCHINI, ELENA, BOUVET, DANIELA, *La vegetazione nel progetto – Uno strumento per la scelta delle specie vegetali*, in bibl., p.97

⁷⁶ Il fenomeno del fototropismo naturale verrà esplicitato con maggiore precisione all'interno del sesto capitolo.

⁷⁷ I raggi visibili sono utili alle piante in quanto riscaldano l'aria, mentre quelli infrarossi vengono sfruttati durante il processo della fotosintesi clorofilliana.

per vivere, ma alcune tollerano meglio di altre un'eventuale scarsità⁷⁸. Ogni pianta reagisce in modo differente agli stimoli luminosi e li utilizza in modo diversificato da specie a specie. Ne consegue che alcune richiedono un maggiore periodo di illuminazione su base diurna o stagionale, mentre altre presentano necessità minori. Ciò conduce ad una possibile classificazione dei vegetali in funzione della necessità di luce solare, che porta le varie specie a suddividersi in funzione della richiesta luminosa¹¹. Classificazione che potrà suddividersi in:

- luce piena: specie che vivono bene a forti intensità luminose;
- mezza ombra: specie che si adattano ad intensità di luce minore;
- ombra: quelle che prediligono un apporto solare basso;
- piena e mezza ombra;
- mezza ombra e ombra;
- indifferente alla luce: specie indifferenti alle condizioni di luce.

L'utilizzo dei diagrammi solari propri della disciplina della bioclimatica risulterà particolarmente prezioso per la comprensione di quali porzioni di edificio o di parete siano maggiormente sottoposte al soleggiamento, nonché per comprendere quante ore di una qualsiasi giornata dell'anno una parete a verde possa contare sull'apporto solare diretto: questo perché in funzione dell'esposizione varieranno anche le strategie di selezione dei vegetali.

La parete a Nord risulta quella maggiormente svantaggiata in quanto mai esposta alla radiazione diretta⁷⁹; soleggiamento che risente anche della latitudine, quindi volendo rapportare il concetto alla nazione italiana è possibile affermare che le regioni settentrionali risulteranno interessate da un flusso di durata giornaliera e stagionale minore, unitamente ad un'intensità più bassa. In linea generale è possibile affermare che sulle facciate a Nord è preferibile l'impiego di specie sempreverdi, a carattere legnoso (ma solo se non eccessivamente vigorose), sufrutticoso ed erbaceo, capaci di sopportare forti sbalzi giornalieri e annuali delle temperature (ad esempio *Ruscus aculeatus*, *Waldstenia ternata*, *Ophiopogon japonicus*). Altra strategia importante potrebbe essere quella di utilizzare specie in grado di vegetare e fiorire durante le stagioni fredde e caratterizzate anche da un'illuminazione diurna breve e molto contenuta, cioè le piante fotoperiodiche brevidiurne con meno di quattro ore di luce giornaliera (ad esempio *Azalea japonica*, *Gaulthera mucronata*). Ulteriore categoria impiegabile sarà quella in cui vi sia la presenza di masse fogliari che predispongono una struttura multistrato della copertura vegetale, in modo da poter contare su una distribuzione omogenea ed efficace tra foglie di luce e foglie di ombra (ad esempio *Venca minor*)⁸⁰.

Le altre tre esposizioni – Est, Sud e Ovest – presentano il problema opposto, ossia quello di utilizzare specie che ben si adattino a un soleggiamento diretto e forte durante le stagioni più calde; la tendenza dovrebbe quindi essere quella di impiegare specie che presentino un termoperiodo longidiurno e che fioriscano preferibilmente in primavera o estate. Le esposizioni a Ovest e Sud dovranno sopportare i carichi termici maggiori, in quanto nel primo caso i raggi solari raggiungono la parete con un'incidenza tendente alla perpendicolarità, unitamente a delle alte temperature dell'aria

⁷⁸ Nelle applicazioni di pareti verticali in ambiente indoor, qualora la luce penetrante nell'edificio non sia sufficiente alle esigenze della pianta si renderà necessario integrarla mediante apposite lampade che riproducono lo spettro della luce solare naturale.

⁷⁹ Ovviamente ci si riferisce all'emisfero Boreale; le considerazioni per l'emisfero Australe risulteranno tali e quali, ad esclusione del fatto che le esposizioni a Sud non saranno mai interessate da un apporto solare diretto.

⁸⁰ MENGOLI, STEFANO, "La componente vegetale", in bibl., p.30

tipiche del tardo pomeriggio; inoltre, sarà sulle pareti esposte a meridione che l'intensità dei raggi solari raggiungerà i livelli massimi giornalieri. Ciò significa che le specie ivi impiegate dovranno essere naturalmente predisposte a sopportare sia carichi termici elevati che un conseguente e proporzionale dispendio della risorsa idrica. Si rivelano maggiormente indicate per queste esposizioni le specie eliofile, che presentano foglie naturalmente ispessite ed una lamina fogliare di dimensioni contenute, come ad esempio le piante macroterme⁸¹ o quella aromatiche (ad esempio *Thymus*, *Santolina chamaecyparissus*, *Rosmarinus officinalis*, *Lavandula*, ecc), le caducifoglie arbustive (ad esempio *Gaura lindheimeri*) e le bulbose mediterranee (*Hemerocallis*, *Iris rizomatoso*)⁸².

Un discorso a parte meritano in questo contesto le specie mediterranee: esse, essendosi sviluppate in regioni climatiche particolarmente sfavorevoli in fase estiva riescono molto bene a tollerare climi particolarmente caldi o siccitosi, quindi risultano adatte a contesti esposti ad un forte e prolungato soleggiamento. Il problema nel caso delle specie mediterranee sarà ovviamente l'inverso, ossia la possibilità che esse soffrano le gelate invernali: motivo per cui non saranno solo da valutare le caratteristiche di esposizione nella selezione dei vegetali da impiegare in parete, ma anche tutte le altre caratteristiche microclimatiche del sito di progetto. Inoltre, come già enunciato nel capitolo precedente, anche in questo caso si renderà necessaria, in tutte le fasi progettuali di una parete a verde, un continuo interscambio informativo tra il progettista architettonico e quello del verde.

In conclusione di paragrafo è opportuno evidenziare che, come visto, ogni pianta richiede un differente quantitativo di luce e radiazione solare, in modo da poter vegetare al meglio e raggiungere uno sviluppo ottimale. Ciò non toglie che, comunque, in base alle altre esigenze dei progettisti possa venire ricercato il valore soglia per una data specie in ogni specifico contesto, in modo da poter eventualmente assecondare altri parametri progettuali differenti che magari, in misura limitata, possano anche penalizzare il vegetale o limitarne le funzionalità.

IV.5.2. Temperature annue e medie stagionali

Ogni tipologia di pianta proviene da un areale fitoclimatico in cui si è evoluta e che perciò le risulta ideale; regione di provenienza caratterizzata da precise condizioni climatiche ed idriche (precipitazioni e umidità) sia nell'immediato, cioè a livello di medie stagionali, che nell'intero arco annuale. Inoltre ogni specie o varietà⁸³, ed all'interno di quest'ultima categoria ogni fase del ciclo di vita specifico, presentano dei valori caratteristici in termini di temperature cardinali minime, ottimali e massime. Tutti questi *elementi* e *fattori* climatici condizionano le caratteristiche fisiche e biologiche degli esseri viventi: è perciò evidente come «le piante che interessano il progetto vivano meglio se hanno affinità

⁸¹ Si veda a tal proposito il paragrafo IV.5.2

⁸² MENGOLI, STEFANO, *ibidem*.

⁸³ All'interno della gerarchia tassonomica di classificazione biologica degli esseri viventi la *specie* si trova al livello più basso, ed è considerabile come «l'unità fondamentale di base del sistema di classificazione: dal punto di vista biologico è costituita da un complesso di organismi tra loro interfecondi e in grado di dare origine a prole feconda; gli organismi di una stessa specie condividono un patrimonio genetico che si considera sostanzialmente chiuso rispetto a quello di altre specie». La specie può essere quindi considerata come l'unità di base che univocamente accomuna degli organismi uguali. Sempre a livello di classificazione gerarchica, una specie appartiene ad un *genere* (che ne rappresenta l'insieme direttamente superiore) che a sua volta sarà appartenente ad una *famiglia*. Inoltre, ogni specie può contenere ulteriori sottoclassificazioni in *sottospecie* e *varietà* (dette anche *cultivar*) che si distinguono non tanto per caratteri morfologici, ma per uno o più caratteri fisiologici. (Fonte: <http://www.treccani.it>)

con la regione e le manifestazioni atmosferiche che la caratterizzano»⁸⁴ ma, essendo esse degli organismi che presentano delle qualità di adattabilità, nonché dei range climatologici entro i quali riescono ad assumere un comportamento adattivo ed elastico, «la maggior parte delle specie vegetali sono in grado di tollerare condizioni ambientali anche diverse da quelle ottimali e possono, quindi, venire inserite in climi diversi, previa però un'attenta analisi ecologica»⁸⁵.

Le temperature hanno quindi notevole influenza sugli organismi vegetali, sia per quel che riguarda la loro evoluzione storica sia per quel che ne concerne le fasi d'esercizio. Le condizioni termiche dell'aria si ripercuotono sui sistemi vegetali: da esse deriva direttamente la richiesta idrica di una pianta in regime soprattutto estivo, mentre la fase invernale può rappresentare una criticità nei confronti dell'intero sistema vegetale conseguentemente al fatto che temperature estreme e nevicate possono configurarsi come un fattore dannoso per i tessuti vegetali. Le prime in quanto ogni specie presenta delle temperature critiche – inferiori a quelle cardinali minime o superiori a quelle cardinali massime – oltre le quali si ha il decesso biologico; le nevicate possono invece produrre dei danni alle parti aeree del vegetale conseguenti all'accumulo di neve su apparati fogliari e ramificazioni.

Le condizioni climatiche giocano quindi un ruolo fondamentale nella selezione dei vegetali, anche se non si potrà non tenere conto degli effetti sulle temperature prodotte dalla localizzazione dell'impianto, come l'effetto dell'isola di calore, eventuali nicchie microclimatiche prodotte da una particolare morfologia architettonica, la vicinanza a soggetti emettitori, ecc. Ne consegue che certi contesti edilizi presentano un gradiente termico molto marcato su base annuale, stagionale o diurna, mentre altri tendono all'omogeneità su tutte le citate scale di valutazione. Tale condizione è rilevabile sia a livello regionale (il gradiente termico ed il differenziale di soleggiamento tra giorno e notte o tra estate e inverno aumentano in modo proporzionale man mano che ci si allontani dall'Equatore) che microclimatico (in ambiente urbano la variazione giornaliera è meno marcata, soprattutto d'inverno). Ciò comporta conseguenze dirette nella scelta dei vegetali, che dovranno riuscire a rispondere alle sollecitazioni termiche in modo quantomeno sufficiente, pena la perdita di funzionalità o, caso estremo, la morte delle piante.

Una linea d'indirizzo generale sicuramente efficiente sarà quella d'impiegare specie proveniente da areali maggiormente caldi nelle regioni del sud Italia (quindi da Roma spostandosi verso latitudini inferiori), e specie abituate a temperature maggiormente rigide per le regioni del settentrione. A tal scopo si riporta la classificazione dei vegetali in funzione delle esigenze termiche specifiche⁸⁶, utile ad una prima selezione di massima delle piante in relazione alla temperatura media annua di cui esse necessitano e, quindi, alle peculiarità climatiche di una zona. Tale classificazione è così composta⁸⁷:

- specie *megaterme*: specie che necessitano di temperatura media annua maggiore ai 20 °C;
- *mesoterme*: la temperatura media annua richiesta è compresa tra 15-20 °C;
- *microterme*: l'intervallo termico ammissibile si aggira tra 0-15 °C;
- *echistoterme*: la temperatura media annua è inferiore ai 0 °C.

⁸⁴ CONSORTI, LAURA, "La progettazione del verde", p.148

⁸⁵ CONSORTI, LAURA, *ibidem*.

⁸⁶ Si rimanda al paragrafo IV.1.1 per una classificazione simile ma incentrata sulle differenti classi climatiche.

⁸⁷ Solitamente in tale tipologia di classificazione è possibile trovare anche le piante *xerofite* (ossia vegetali adattati a vivere in ambienti caratterizzati da lunghi periodi di siccità o da clima arido o desertico, come ad esempio le specie cactacee) e le piante cosiddette *indifferenti alle temperature*: esse si adattano ad ampi intervalli di temperature, quindi ne risulta impossibile una classificazione secondo le temperature caratteristiche.

IV.5.3. Ventosità

La questione della ventosità è direttamente rapportabile a quella climatica: i venti dipendono in gran parte dall'esposizione, e quindi dalla loro provenienza. Per questo – e sempre per quel che concerne l'emisfero Boreale – i flussi ventosi provenienti da Nord saranno maggiormente freddi, quelli meridionali più caldi. Anche in questo caso, allora, la problematica andrà risolta mediante una pertinente selezione dei vegetali da impiegare in funzione dell'esposizione del manufatto da inverdire.

Conseguentemente a tale motivo diviene fondamentale l'impiego di una carta dei venti relativa alla zona di progetto, in modo da poter comprendere direzioni dominanti, intensità e frequenze medie mensili delle manifestazioni ventose; il tutto rapportando le ventosità medie agli altri elementi climatici e microclimatici, in modo da selezionare una specie che possa mantenere l'efficienza e le proprie funzionalità durante l'intero arco annuale.

Il vento esercita una duplice azione sui vegetali⁸⁸. La prima, definibile come *diretta*, è un'azione meccanica sulle parti aeree della pianta e può addirittura provocarne – se molto forte e prolungata – il danneggiamento o l'eradicazione (si noti ad esempio come nei luoghi ventosi in cui il flusso presenti un'unica direzione prevalente le piante assumano una conformazione incurvata nella direzione dominante): si renderà in tal caso opportuno scegliere specie che resistano bene sia alla pressione diretta che allo sradicamento. L'altra azione è invece quella *indiretta*: la pressione ventosa – sia fredda che calda – provoca un aumento di traspirazione delle foglie ed evaporazione dei substrati, provocando un maggiore consumo idrico che può anche tramutarsi, in casi particolari, in uno stato di sofferenza per il vegetale.

Altra caratteristica relazionabile al flusso del vento è la sua azione nei confronti delle parti strutturali della parete che ospita la vegetazione: essa, rientrando nelle considerazioni tecnologiche e strutturali che determinano la pratica costruttiva dei sistemi per il Verde Verticale, verrà trattata all'interno dei paragrafi specificamente incentrati sulla tecnologia.

IV.5.4. Precipitazioni annue e stagionali, umidità dell'aria

La risorsa idrica è, oltre alla temperatura, l'altro elemento fondamentale alla vita e allo sviluppo biologico dei sistemi vegetali. L'acqua contenuta in suolo o substrati è in stretta relazione alle caratteristiche idrometeoriche che determinano il bilancio idrico di un territorio. Essa è indispensabile alle funzioni vegetali in quanto ne determina il nutrimento e ne caratterizza le possibilità di fotosintesi e traspirazione⁸⁹ quindi, qualora il sito di progetto attraversi un periodo siccitoso e le piante utilizzate in tale contesto non siano fisiologicamente attrezzate per far fronte a carenze idriche più o meno prolungate, a tale mancanza si dovrà sopperire mediante annaffiatura artificiale. Per la stima dei periodi siccitosi medi che caratterizzano una data regione durante l'anno si utilizzano dei diagrammi termopluviometrici, ossia dei particolari grafici che riescono a relazionare, incrociandole, temperatura e piovosità medie di un luogo (o di una regione) nell'arco dei dodici mesi. Si tenga conto che in alcuni casi tali diagrammi potrebbero non bastare, qualora il contesto di progetto presentasse delle

⁸⁸ MONTACCHINI, ELENA, BOUVET, DANIELA, *La vegetazione nel progetto – Uno strumento per la scelta delle specie vegetali*, in bibl., p.111

⁸⁹ Fotosintesi clorofilliana e traspirazione fanno parte delle attività fisiologiche normalmente svolte dai sistemi vegetali. Si rimanda al paragrafo VI.2.1 per una descrizione maggiormente esaustiva del fenomeno.

caratteristiche puntuali, avulse da quelle climatiche, che impediscano l'acquisizione idrica naturale ai vegetali presenti.

Ogni specie vegetale può avere un comportamento differente nei confronti della richiesta idrica, ed anche in questo caso esistono dei valori limite massimi e minimi oltre i quali la pianta ne risente negativamente. Infatti, se è coscienza comune che una carenza idrica sia deleteria per la pianta, è assolutamente vera anche la condizione opposta: una sovrabbondanza d'acqua presente nei tessuti vegetali o nei substrati d'impianto può provocare il decesso del vegetale per asfissia. È comunque da sottolineare che, considerata la conformazione verticale delle pareti a verde, risulta assai difficile che l'acqua possa ristagnare a lungo in quanto, per effetto della forza di gravità, quella in eccesso percorre tutta la lunghezza della struttura fino a venirci espulsa. Ulteriore considerazione riguarda l'impianto d'irrigazione automatizzato: tutti i sistemi per l'inverdimento parietale che sono stati precedentemente definiti come evoluti presentano degli apparati d'irrigazione integrati in parete, in quanto il substrato presente – quindi l'elemento che funziona da riserva idrica per il vegetale – è ridotto ai minimi termini, e risulterebbe oggettivamente difficoltoso provvedere all'irrigazione di una parete verticale in modo manuale.

Altra questione inerente alla presenza idrica in un dato luogo è quella relativa all'umidità dell'aria: trattasi nello specifico di acqua presente in atmosfera allo stato gassoso e viene anch'essa sfruttata dalle piante per trarne nutrimento e svolgere i fenomeni evapotraspirativi. La sua importanza è relativamente scarsa alle nostre latitudini, in quanto la percentuale d'acqua presente nell'aria è limitata e quindi meno importante di quella attinente alle idrometeorie; ciò non toglie che in precisi contesti aridi o temporaneamente siccitosi⁹⁰, oppure in presenza di alcune specifiche tipologie di piante, anche l'umidità dell'aria si riveli non trascurabile in quanto le piante assorbono acqua non solo dalla radice ma anche tramite i propri organi aerei.

IV.5.5. Resistenza all'inquinamento

L'inquinamento atmosferico è di tipo gassoso o solido (ossia polveri in sospensione nell'aria e piogge acide) e incide sulla qualità di un impianto vegetale. Tale fenomeno può causare problemi o danni in modo diretto alle piante, come sofferenza o necrosi⁹¹ delle parti maggiormente delicate, disturbo del normale metabolismo e dei processi di crescita con relativa diminuzione della fotosintesi, respirazione alterata, invecchiamento precoce delle foglie, e addirittura portare ad un'interferenza nei processi di riproduzione sessuata o alla diminuzione della vitalità del polline; inoltre, indirettamente, le specie indebolite da un'azione inquinante chimica o fisica possono essere interessate con maggiore facilità da attacchi infestanti (insetti, funghi, ecc).

Ogni specie presenta proprie e precise caratteristiche in risposta agli stimoli inquinanti: da ciò deriva che alcune siano migliori di altre nella reazione alle sollecitazioni ambientali, in forza delle

⁹⁰ Aridità e siccità, talvolta, sono termini erroneamente impiegati come sinonimi. L'*aridità* è una caratteristica tipica del clima di una data regione, quindi permanente. Essa interessa le aree con scarse precipitazioni, in cui il quantitativo totale di evapotraspirazione supera l'apporto idrico meteorico: quindi il contestuale bilancio idrico risulta negativo in modo permanente. La *siccità* è un fenomeno momentaneo, e consiste in un deficit idrico temporaneo. Essa può verificarsi anche in regioni tipicamente ricche di precipitazioni ma non è destinata a durare in modo permanente.

⁹¹ La necrosi consiste in un complesso di alterazioni strutturali irreversibili dovute a cause di diversa natura (fisiche, chimiche, microbiche, ecc.): essa comporta per un qualsiasi organismo vivente la morte di gruppi cellulari, zone di tessuto, porzioni di organi. (Fonte: <http://www.treccani.it>)

proprie caratteristiche fisiologiche o morfologiche. Si renderà perciò necessaria una stima preventiva degli inquinanti presenti o potenziali di un dato luogo, in modo da poter agire mediante precise ed opportune strategie: diventerà perciò importante selezionare dei vegetali che sopportino meglio situazioni di stress dovute ad un accumulo di sostanze internamente o sulla superficie aerea dei tessuti. Quindi, nel momento in cui si debba operare in un contesto inquinato sarà necessario scegliere specie che garantiscano adeguata resistenza a tale tipo di sollecitazioni ambientali. Caratteristica di adattamento all'inquinamento atmosferico che peraltro, quando questo sia particolarmente alto e nel caso di una possibile integrazione parietale del vegetale, risulta abbastanza rara ed ascrivibile solo ad un numero limitato di specie (ad esempio *Pyracantha*, *Jovibarba sobolifera*, *Forsythia intermedia*, *Pittosporum tobira*, *Skimmia Japonica*, *Photinia x fraseri*).

IV.5.6. Ostacoli edilizi o di origine antropica

La presenza di eventuali ostacoli all'acquisizione solare o luminosa è strettamente legata alle specificità del contesto. Trattasi infatti di una questione puntuale che potrebbe tramutare, anche in un unico luogo di una conurbazione o addirittura in un solo punto di un'intera parete a verde, le condizioni del contesto microclimatico originario. L'esistenza di un ostacolo fisso o temporaneo potrebbe quindi ribaltare molte delle considerazioni fatte finora, in quanto al soleggiamento diretto – che nel caso di una presenza che lo ostacoli verrebbe eliminato parzialmente o totalmente – possono anche collegarsi tematiche quali la maggiore o minore temperatura, l'acquisizione idrica e la ventosità agente su un luogo; quindi, per contro, non è detto che tale condizione d'ostacolo sia sempre svantaggiosa per la pianta o per le esigenze del progetto.

Nel caso di elementi che intralcino la presenza solare in un determinato luogo, generando ombre proprie o portate sui manufatti circostanti e cambiandone le condizioni, si renderà necessario e prezioso, anche in questo caso, l'utilizzo dei diagrammi solari; essi andranno in tale caso specifico arricchiti, ovviamente, mediante l'inserimento degli elementi di disturbo rilevati, in modo da comprendere con buona precisione se ed in quali punti tali ostacoli possano rivelarsi una criticità.

Azione, questa, funzionale anche alla stima delle temperature agenti sulla chiusura da inverdire in quanto, se una parete non viene direttamente irradiata dall'irraggiamento solare, o se lo viene per un breve periodo nell'arco della giornata, presenterà delle temperature superficiali e radianti inferiori rispetto alla chiusura che sia interessata da soleggiamento non osteggiato: fatto peraltro direttamente rapportabile, come visto, alla scelta dei vegetali da impiegare. Questo perché il microclima *effettivo* dipende in buona parte anche dalle condizioni di ambiente ed edifici circostanti: albedo dei materiali, riflessioni localizzate, temperature radianti dei manufatti che attorniano il contesto di progetto sono tutti fattori che incidono pesantemente sulle caratteristiche dei luoghi, soprattutto nel caso si lavori con organismi delicati come sono quelli vegetali.

IV.6. L'integrazione fra sistema vegetale e chiusure edilizie

Una volta comprese le dinamiche evolutive o di successione tipiche dei vegetali, ed esplicitate quali siano le strategie o le modalità che essi operano nella loro interazione con le superfici architettoniche,

diviene necessario comprendere quali possano essere le motivazioni da mettere in campo finalizzate alla pertinente selezione di specie vegetali da porre come integrazione alle superfici edilizie verticali. Si tratterà quindi di capire quali siano le strategie da adottare per una corretta selezione del sistema vegetale in funzione sia degli obiettivi progettuali che delle caratteristiche del luogo deputato.

È opportuno anche evidenziare come nella realizzazione di quelle che sono state precedentemente declinate come chiusure verticali vegetate, tutte o quasi le specie vegetali possano essere impiegate, una volta che ne siano rispettate le necessità fisiologiche e di nutrimento. Infatti, a differenza di quel che accade coi rivestimenti a verde descritti in precedenza, che presentano un range abbastanza limitato di specie impiegabili, le chiusure verticali vegetate possono contenere un repertorio di specie amplissimo: ciò avviene in conseguenza alle precise caratteristiche della struttura d'impianto, che consente la collocazione del vegetale come stretta integrazione agli apparati tecnologici di chiusura. Fatto che si traduce nella possibilità d'utilizzo di specie dalle dimensioni anche particolarmente limitate o che non presentino, una volta mature, strutture vegetali particolarmente sviluppate o rigogliose. In conseguenza di ciò è possibile affermare che le chiusure verticali vegetate possono permettere l'utilizzo di migliaia di specie differenti, provenienti da gran parte delle regioni della Terra. Rimane fuor di dubbio, comunque, che una volta si decida di introdurre in un determinato contesto geografico specie provenienti da altri areali differenti, bisognerà confrontarsi con le esigenze della pianta *introdotta*, in modo da metterla nelle condizioni di poter vegetare e svilupparsi al meglio.

Un discorso a parte meritano i rampicanti. Seppur essi potrebbero venire impiegati anche con tecnologie differenti dal rivestimento a verde, si tende solitamente a non utilizzarli nel caso degli inverdimenti parietali qui descritti. Essendo i rampicanti delle piante a sviluppo particolarmente vigoroso, e conseguentemente alla loro estesa dimensione e velocità di crescita, presentano la tendenza ad invadere la parete espandendosi molto. La diretta conseguenza di tale fenomeno è quella che il rampicante diviene difficile da gestire e potrebbe entrare in conflitto con le altre specie presenti in parete; tutto questo richiederebbe cicli di manutenzione differenziati fra specie rampicanti e altre tipologie vegetali, se non addirittura il rischio che il rampicante prenda il sopravvento provocando la scomparsa delle altre specie. Per tali motivi è prassi consolidata quella di non utilizzare piante rampicanti con le tipologie di Verde Verticale ora descritte.

IV.6.1. Piante associabili agli involucri verticali

Le piante poste in verticale devono sopravvivere in uno spazio trofico⁹² molto differente da quello naturale: tale nuovo ambiente d'impianto consiste nella prima difficoltà che il vegetale dovrà superare. Sradicamento, stroncamento ed essiccamento rappresentano tre fenomeni che andranno debitamente conteggiati nella scelta delle specie da collocare in parete⁹³. Le prime due dipendono dalle caratteristiche fisiche e dalla mole del vegetale, l'altra è conseguenza di temperature e manifestazioni ventose.

⁹² La condizione di trofismo è quella «che riguarda la nutrizione o, comunque, le risorse energetiche delle piante» (Fonte: <http://www.treccani.it>). Le specie vegetali, tranne alcuni rarissimi casi, nascono in superfici orizzontali e si sviluppano verticalmente nella ricerca della fonte energetica solare (eliotropismo). Ne consegue che, per quanto attento e ben eseguito, l'impianto in parete risulterà sempre una condizione artificiale e di stress per la pianta.

⁹³ MENGOLI, STEFANO, op. cit., p.28

Lo *sradicamento* consiste nella possibilità che piante particolarmente vigorose, raggiunta una dimensione cospicua, possano non riuscire a stabilizzarsi sul substrato di supporto ed abbiano quindi la tendenza a cadere. Tale questione limiterà le possibilità di scelta a vegetali non eccessivamente vigorosi o che abbiano un volume vegetale aereo troppo cospicuo. Lo *stroncamento* è un effetto che dipende dalla capacità di resistenza a taglio della massa erbacea o legnosa, e relativo anche in questo caso alla posizione non naturale della pianta in parete. L'attrazione gravitazionale verso il basso e la tendenza alla crescita verso l'alto dei vegetali provocano due forze di segno opposto che agiscono sul fusto del vegetale: nei casi in cui questo non sia naturalmente ben predisposto alla resistenza a taglio potrebbe verificarsi il fenomeno dello stroncamento, che potrebbe portare alla morte o alla sofferenza del vegetale; tale effetto può essere inoltre amplificato dall'azione del vento. Anche l'*essiccamento* potrebbe rivelarsi un problema, soprattutto in un contesto problematico come quello di una parete edilizia: l'effetto delle alte temperature conseguenti alla radiazione solare e alle caratteristiche dei materiali edilizi, unitamente all'attività evapotraspirativa naturale potrebbero limitare lo sviluppo vegetale, con relative ed evidenti conseguenze sulla riuscita formale e funzionale dell'inverdimento.

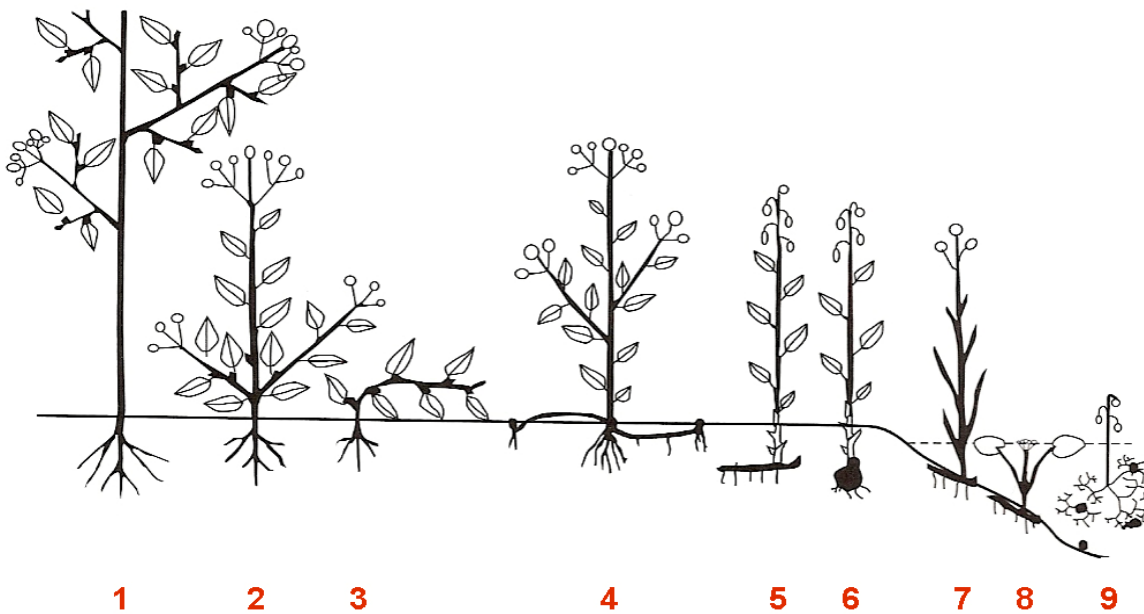


Fig.IV.19 – Schema del sistema di classificazione del Raunkiaer: da sinistra verso destra si possono trovare le piante fanerofite (1), camefite (2-3), emicriptofite (4) e criptofite (5-9). All'interno delle criptofite si possono annoverare geofite (5-6), elofite (7), idrofite sommerse (8) e idrofite natanti (9): ovviamente, necessitando di contesti acquatici, le specie con numerazione 7-9 non risultano idonee alla collocazione in parete. Non sono qui rappresentate le piante epifite, a causa dei loro particolari luoghi di vita. Si noti sia la variazione dimensionale delle varie forme biologiche che la differenza dei contesti di vita tipici, suddivisi tra terrestri (1-6) e acquatici. (Rielaborazione da: http://it.wikipedia.org/wiki/File:Life_forms.png)

A tali considerazioni preliminari se ne sommano altre riguardanti le forme di adattamento che le piante mettono in atto per il superamento della stagione avversa: sarà sempre opportuno averle bene in mente durante le fasi di selezione delle specie da impiegare. Tra le molteplici forme di classificazione tassonomica esistenti, quella più diffusa e sicuramente autorevole è stata messa a

punto durante i primi tre decenni del XX secolo dallo studioso danese Christen Raunkiaer. Tale sistema si basa sulla classificazione dei vegetali in funzione della posizione sulla pianta delle gemme destinate alla produzione di nuovi tessuti dopo la stagione sfavorevole (Fig.IV.19): egli ha quindi individuato alcune *forme biologiche* vegetali che si differenziano, dunque, in funzione del tipo di strategia che la pianta adotta per la continuazione della specie.

La conoscenza delle forme biologiche risulta importante al fine di comprendere le modalità di diffusione specifica che potranno, a loro volta, guidare nella scelta dei vegetali. La selezione di specie che presentino strategie diffusive affini potrà contribuire a limitare negativi fenomeni di “inquinamento vegetale” da parte di altre piante più forti o competitive, con la conseguenza che alcune possano prendere il sopravvento su altre. Di tutte le forme biologiche individuate dal Raunkiaer solo alcune risultano idonee alla collocazione in parete, ed all’interno di queste sono necessarie ulteriori decurtazioni relative alle caratteristiche strutturali delle *sottoforme*.

Le specie *fanerofite* presentano delle gemme svernanti ad un’altezza compresa tra 30-50 e 200 cm dal suolo (Fig.IV.20). Esse derivano soprattutto dalla regione tropicale umida e per questo sono poco adatte ai rigori del clima: la loro struttura tipica è di piante legnose e perenni⁹⁴. All’interno di questa forma biologica le sottoforme ritenute idonee sono le *nano-fanerofite* e le fanerofite *reptanti*.



Fig.IV.20 – A sinistra: il *Pittosporum tobira variegata* è una pianta nano-fanerofita. Al centro: il *Berberis* è, anch’esso, una nano-fanerofita. A destra: il *Viscum album* (vischio) è una pianta fanerofita-epifita. (Fonte delle immagini: <http://commons.wikimedia.org>)

Le *camefite* hanno gemme ad un’altezza dal suolo fino ai 30-50 cm. Si compongono di piccoli arbusti o piante erbacee perenni che mantengono la porzione epigea durante la stagione critica (che sarà quella estiva nei climi caldi ed aridi, e invernale per i climi freddi). Si tratta di specie diffuse prevalentemente in aree sia calde che fredde, con suoli in prevalenza rocciosi: tale caratteristica le rende particolarmente idonee allo stress causato dall’impiego in parete (Fig.IV.21). Per tale motivo tutte le sottoforme di camefite risultano impiegabili nel Verde Verticale, con qualche riserva per *scapose* e *succulente* in quanto sarebbero a rischio stroncamento.

⁹⁴ In botanica le piante perenni sono quelle che vivono più di due anni. Esse si differenziano dalle annuali – che hanno un ciclo di vita di un anno – e dalle biennali.



Fig.IV.21 – A sinistra: il *Salix reticulata* appartiene alla forma biologica delle camefite fruticose. Al centro: la *Gypsophila repens* è una camefita pulvinata. A destra: il *Thymus* (timo) è una camefita reptante. (Fonte delle immagini: <http://commons.wikimedia.org>)

Le specie *emicriptofite* mantengono le gemme a livello del suolo. Si tratta di vegetali erbacei perenni, nei quali la porzione morta della pianta contribuisce a proteggere le nuove gemme volte alla riproduzione futura (Fig.IV.22). La loro diffusione è massima nelle regioni a clima temperato. Anche tutte le sottoforme di emicriptofite sono integrabili alle pareti edilizie; le uniche a rischio stroncamento sono le emicriptofite *bienni*.

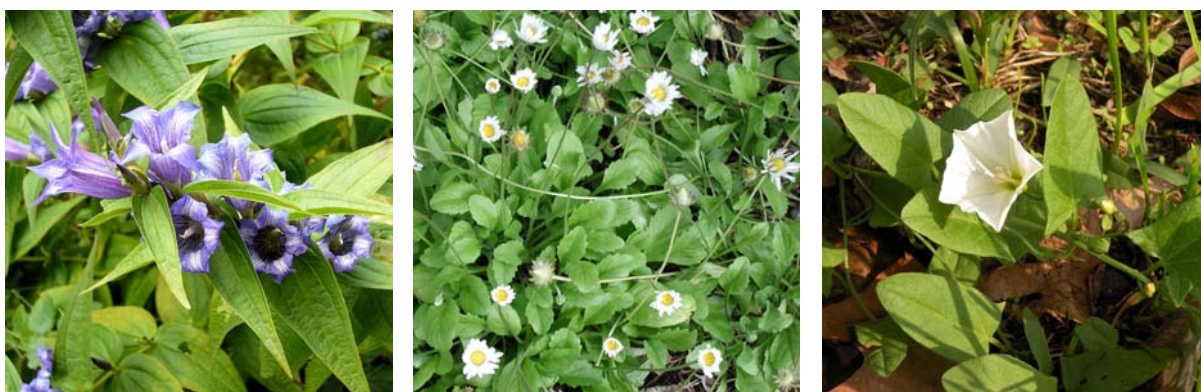


Fig.IV.22 – A sinistra: la *Gentiana* (genziana) è una pianta emicriptofita scaposa. Al centro: il *Bellis perennis* (margherita comune) è una emicriptofita rosolata. A destra: il *Convolvulus* è una emicriptofita scandente. (Fonte delle immagini: <http://commons.wikimedia.org>)

Le *geofite* mantengono le gemme sugli organi ipogei (rizomi, bulbi, tuberi, ecc). Trattasi di piante erbacee perenni che, avendo organi di riserva particolarmente sviluppati e protetti, resistono molto bene al disturbo (Fig.IV.23). Tale forma biologica non presenta una regione climatica caratteristica e tutte le contestuali sottoforme risultano utilizzabili, tranne le geofite *parassite* che potrebbero creare seri problemi alle altre specie presenti in parete.

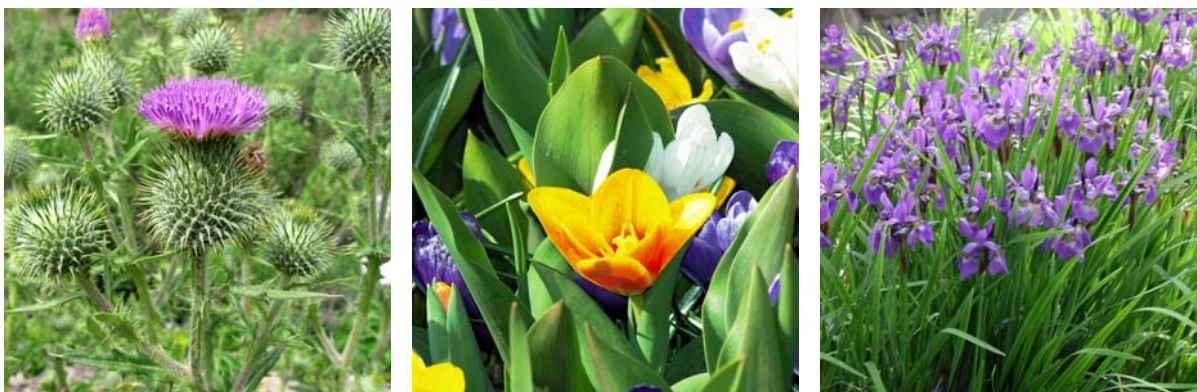


Fig.IV.23 – A sinistra: Il *Cirsium vulgare* è una pianta appartenente alla forma biologica delle geofite radicegemmate. Al centro: il Crocus è una pianta geofita bulbosa. A destra: l'Iris, della famiglia botanica delle *Iridaceae*, è una pianta geofita rizomatosa. (Fonte delle immagini: <http://commons.wikimedia.org>)

Le *epifite* sono tutte quelle specie che vivono su altre piante, utilizzandole come semplice sostegno e non per procurarsi il nutrimento (ad esempio felci, muschi, licheni o altri organismi sessili che non crescono sul terreno ma vivono prevalentemente sui tronchi o sui rami degli alberi). Esse provengono soprattutto dalle foreste tropicali o subtropicali e, viste le particolari caratteristiche, vengono anche chiamate piante *aeree* o *aerofite*; sono inoltre particolarmente portate a vegetare in contesti caratterizzati dalla scarsità di luce (Fig.IV.24).



Fig.IV.24 – Esempi di piante epifite. A sinistra: una felce (famiglia botanica delle *Pteridofite*); al centro: muschio (classificazione scientifica: *Bryophyta*); a destra: la *Tillandsia usneoides* è una pianta epifita appartenente alla famiglia botanica delle *Bromeliaceae*. (Fonte delle immagini: <http://commons.wikimedia.org>)

Nelle foreste tropicali la vegetazione è talmente fitta che impedisce alla radiazione solare di raggiungerne gli strati più bassi, lasciandoli perennemente in ombra; gli alberi tendono perciò a svilupparsi molto in altezza per consentire al fogliame di ricevere la necessaria quantità luminosa: le epifite sfruttano tale altezza arborea per raggiungere il medesimo scopo, ossia poter ricevere una minima quota di luce naturale. Queste sfruttano tronchi e rami delle piante ospiti come sostegno, ancorandovisi mediante radici adesive o aggrappanti; esse, all'interno di un ecosistema tanto ombreggiato, creano un habitat sopraelevato molto particolare e sufficientemente illuminato per lo

svolgimento del proprio ciclo vitale. Quasi tutte inoltre, anche se con modalità differenti, sono in grado di assorbire e conservare acqua piovana da riutilizzare durante i fisiologici cicli traspirativi. Le epifite furono inizialmente catalogate all'interno forma biologica delle fanerofite, salvo essere successivamente destinate ad una categoria a parte in quanto, oggettivamente, la posizione delle gemme rispetto al suolo non può in questo caso essere considerata alla stregua della stessa forma biologica delle fanerofite.

IV.6.2. Criteri di selezione delle specie in funzione delle caratteristiche prestazionali

La questione della selezione di specie vegetali integrabili a chiusure verticali vegetate o muri vegetali è molto aperta e in linea di massima, tranne alcuni casi che saranno via via individuati nella presente trattazione, aperta a tutte (o quasi) le specie vegetali del mondo. Allo stesso modo risulta doveroso evidenziare che la classificazione operata nel precedente paragrafo è solo una delle molteplici possibili in campo botanico – anche se quella maggiormente utilizzata e probabilmente la più autorevole in assoluto – in quanto il regno vegetale è molto complesso, in continua evoluzione e fortemente caratterizzato in funzione del bioma di provenienza delle varie piante.

Detto ciò sarà comunque obbligatorio essere consci del fatto che, proprio perché un grandissimo numero di specie mondiali potrebbero essere impiegate in parete, sarà proprio una loro corretta selezione a fare la differenza, operando affinché le volontà e le necessità progettuali che stanno alla base dell'impiego di un inverdimento parietale possono avverarsi pienamente, anziché venire vanificate da una scelta erronea della *materia* vegetale. Per tale motivo risulterà fondamentale, nella buona riuscita di una parete a verde, tenere presenti alcune “regole di selezione” che verranno ora declinate: esse sono finalizzate sia alla risposta delle sollecitazioni ambientali che ogni differente contesto potrebbe esercitare, che alle prestazioni globali del sistema composto da vegetazione e stratificazione tecnologica della chiusura.

Innanzitutto, vista l'importanza della correlazione tra elementi o fattori del clima e caratteristiche vegetali specifiche, sarà necessario operare una selezione di piante che si riveli appropriata in funzione delle proprietà climatiche di un luogo. Le piante prescelte non dovranno reagire in modo negativo alle sollecitazioni climatiche o microclimatiche di contesto, quindi la prima regola da osservare sarà quella di impiegare specie che provengano da regioni climatiche simili a quella in cui si opera: perciò, in contesti caldi o temperati saranno preferibili specie provenienti da areali a clima mite, per luoghi maggiormente freddi sarà opportuno selezionare specie provenienti da regioni poste più a settentrione. Questo perché, seppur molte specie potrebbero comunque tollerare contesti anche molto diversi da quello originario, ciò non avviene mai senza ripercussioni per la pianta o per la sua fisiologia: dei maggiori sforzi per la vita, o come reazione a sollecitazioni ambientali eccessivamente accentuate, si traducono in una più elevata richiesta di cure e di risorse.

Un principio sicuramente prezioso è quello di utilizzare la maggior quantità possibile di specie indigene, o comunque naturalizzate (Fig.IV.25). Esse, trovandosi in uno stato d'equilibrio col proprio clima di appartenenza⁹⁵ – e quindi anche con quello nuovo d'impianto qualora rispettata la regola dell'autoctonia – sono anche esattamente tarate sulle sollecitazioni e sugli agenti ivi rilevabili. Ciò

⁹⁵ Tale situazione, del resto, non è rilevabile solo nel caso dei sistemi vegetali, ma interessa tutti i corpi e tutti gli esseri viventi.

significa che la pianta necessiterà di maggiori acqua, temperatura e soleggiamento nei periodi in cui anche la condizione climatica di contesto possa offrirglieli naturalmente e, per contro, essa limiterà al minimo le sue attività fisiologiche nelle stagioni difficili. Per lo stesso motivo le attività maggiormente dispendiose dal punto di vista energetico (sviluppo vegetale, riproduzione, fioritura, fruttificazione) accadranno nei periodi più idonei per la pianta, mentre nelle stagioni più rigide e difficoltose il vegetale presenterà un'attività ridotta al minimo (deciduità, dormienza, ecc).



Fig.IV.25 – Alcune specie autoctone e/o naturalizzate per il clima italiano. Sopra, a sinistra: *Vinca major*; al centro: *Salvia officinalis* (salvia comune); a destra: *Koeleria glauca*. Sotto, a sinistra: *Glechoma hederacea*; al centro: *Senecio cineraria*; a destra: *Calluna vulgaris*. (Fonte delle immagini: <http://commons.wikimedia.org>)

Altro fattore importante concerne le condizioni microclimatiche, quindi quelle specificamente relative al luogo di collocazione. Come descritto al paragrafo IV.5 le sollecitazioni microclimatiche possono incidere molto sulla pianta, in alcuni casi estremi anche stravolgendo *elementi* climatici positivi o negativi. Per questo, un altro elemento che dovrà influenzare le modalità di selezione sarà l'attenta valutazione del luogo d'impianto, prevedendo come alcuni fattori di contesto (ad esempio esposizione, temperature, inquinamenti localizzati, ecc.) potrebbero interagire con le piante: di conseguenza, sarà necessario pilotare la selezione in modo che le specie impiegate possano rivelarsi naturalmente dotate per il superamento delle criticità individuate.

Le chiusure verticali vegetate, presentando un'alta tecnologia intrinseca, si costituiscono tramite modalità costruttive particolarmente evolute e, di conseguenza, altrettanto stratificate e complesse. Ciò si traduce nel fatto che esse, al di sotto della superficie a verde (più o meno) continua formata dallo strato vegetale, possono presentare una serie di sottosistemi tecnologici ed impiantistici che

rimarrebbero a vista qualora le piante morissero, o nel caso della perdita stagionale degli apparati aerei fogliari. Per questo motivo risulta sconsigliato – e, di fatto, altrettanto impossibile – l’impiego di specie decidue per le chiusure verticali vegetate, in quanto la caduta delle foglie durante le stagioni avverse – invernali o estive in funzione del bioma di provenienza – si tradurrebbe nel lasciare a vista tutti i vari sottosistemi che solitamente si presentano come puramente tecnici, quindi affatto presentabili dal punto di vista formale o estetico: per tale motivo risultano maggiormente adatte all’impiego nelle chiusure vegetate le specie perenni (Fig.IV.26).



Fig.IV.26 – Alcuni esempi di piante perenni. A sinistra: *Acanthus mollis*; al centro: *Ajania pacifica*; a destra: *Alchemilla mollis*. (Fonte delle immagini: <http://commons.wikimedia.org>)

Questione ancora una volta legata alla tipologia di piante è quella che interessa l’apparato radicale. L’integrazione parietale di sistemi vegetali implica il fatto che le specie selezionate debbano fare i conti con una marcata scarsità di substrato, dovuta soprattutto a pesi propri ed ingombri edilizi. Essendo il substrato il luogo deputato ad accogliere le radici delle piante, avviene che le specie in parete debbano per forza di cose presentare un volume radicale ridotto.

Se tutte le specie sono caratterizzate da un differente rapporto fra massa aerea e radicale, sarà opportuno verificare che i vegetali prescelti abbiano un volume ipogeo ridotto. Ingombro radicale limitato che, ovviamente, dovrà essere comunque in grado di permettere alla pianta di resistere al fenomeno dello sradicamento. Per la medesima questione, a livello di struttura vegetale, risulterà possibile impiegare solo vegetali che una volta maturi non presentino masse vegetali fuori-terra eccessive: ne consegue che potranno tranquillamente essere impiegate specie erbacee, arbustive o muscinali (Fig.IV.27), ma risulterà sempre opportuno evitare di collocare in parete esemplari arborei anche di piccole dimensioni. Ciò è dovuto non soltanto alla dimensione arborea che potrebbe comunque rivelarsi un problema, ma anche per la struttura legnosa che tali tipologie di piante sempre presentano: struttura legnosa che mal si sposerebbe a feltri inorganici o substrati di dimensione contenuta.

Conseguentemente alle richieste paradigmatiche che oggi permeano le discipline architettoniche in merito alle tematiche della sostenibilità, le specie vegetali per le chiusure verticali dovrebbero venire selezionate in modo da poter garantire un risparmio delle risorse durante l’intero ciclo di vita: risorse relative alle specie associabili con tecnologie per l’inverdimento parietale che afferiscono esclusivamente a due differenti categorie, ossia idrica ed energetica.

La prima consiste nell'acqua che dovrà essere periodicamente fornita alle piante, qualora le idrometeore ambientali non bastino a coprire la richiesta del sistema vegetale: fatto che accade assai di recente in quanto sia per causa della collocazione dei vegetali (la forza di gravità derivante dal posizionamento in verticale non aiuta i substrati ad imprigionare acqua e umidità), che conseguentemente alle caratteristiche di contesto (spesso in tessuti urbani, che sono quelli privilegiati per tali tipologie di chiusura, le condizioni climatiche e di disturbo antropico sono portate all'eccesso, quindi la pianta soffre più che se fosse inserita in altri contesti meno urbanizzati), accade che l'acqua ambientale tenda a non bastare alle piante, richiedendo perciò un apporto idrico artificiale spesso abbondante, realizzato tramite sistemi automatizzati d'irrigazione⁹⁶.



Fig.IV.27 – A sinistra: il *Plagiomnium* è una specie muscinale (muschio) appartenente alla divisione delle *Bryophyte*; al centro: il *Geranium macrorrhizum* è una pianta a erbacea perenne; a destra: l'*Abelia* è una specie arbustiva. (Fonte delle immagini: <http://commons.wikimedia.org>)

Ulteriore questione è quella della domanda energetica. Un corretto funzionamento dei citati sistemi d'irrigazione richiede apparati come pompe e centraline, in modo da poter gestire in maniera del tutto informatizzata i vari cicli di annaffiatura che avvengono anche più volte al giorno. La conseguenza di tale fatto è che l'impiego di tecnologie evolute per l'inverdimento parietale si accompagna sempre ad una richiesta di energia elettrica per il proprio funzionamento.

A ciò si somma anche un'altra questione, seppur molto più limitata come campo di diffusione, ossia quella dell'impiego *indoor*⁹⁷. Qualora si decida di inserire in ambienti confinati delle pareti a verde potrebbe risultare necessario, se il luogo deputato all'impianto non sia sufficientemente illuminato da luce naturale, integrare tali tecnologie anche mediante un apposito sistema di illuminazione artificiale, ottenuto mediante lampade a spettro solare appositamente studiate per i vegetali: anche questo si traduce in un aumento della spesa energetica imputabile alla componente vegetale.

Se quelli finora descritti risultano essere fenomeni *diretti* di consumo delle risorse relative al solo apparato vegetale della parete, non saranno da dimenticare quelli che possono essere declinati come *indiretti*, cioè conseguenti alla manutenzione del verde. Alcune specie presentano un vigore di crescita più elevato di altre, e anche il verde parietale, come tutti gli altri sistemi di vegetazione, dovrà essere

⁹⁶ Le varie caratteristiche delle chiusure verticali vegetate, come collocazione delle piante, complessità tecnologica e costruttiva, specie impiegate, fanno sì che tali chiusure debbano essere nel 100% dei casi integrate tramite sistemi d'irrigazione automatizzati.

⁹⁷ Le pareti a verde per l'impiego *indoor* sono descritte nei capitoli V e VII.

periodicamente interessato da manutenzione ordinaria (potature) o straordinaria (fertilizzazioni, trattamenti fitosanitari o ammendanti, sostituzione di esemplari morti, ecc), imputabili in maniera differenziata conseguentemente alle varie tipologie di specie impiegate. Ne deriva che una differente selezione dei vegetali si tradurrà in maggiori o minori lavorazioni manutentive.

Uno degli aspetti sicuramente più interessanti e innovativi in campo progettuale è la qualità formale che le tecnologie per l'inverdimento parietale rendono possibile. Qualità che dipende ovviamente dallo strato più esterno della parete, ossia quello vegetale; ulteriore discriminante perciò particolarmente importante sarà quelle derivante dalle modalità di composizione legate all'impiego delle varie piante. Risulterà pertanto indispensabile riuscire a padroneggiare, oltre alla conoscenza di un numero adeguato di specie associabili agli involucri architettonici, nonché delle loro capacità prestazionali intrinseche, anche di alcune modalità di composizione della facciata in funzione del risultato finale desiderato. Riuscita dell'immagine finale che, di fatto e schematizzando il concetto, permette tre differenti modalità compositive, corrispondenti ad altrettante risultanti formali. Si potranno dunque avere facciate vegetate sia *monospecie* (Fig.IV.28) che composte mediante un *mix vegetale* (Fig.IV.29); quest'ultima categoria potrà a sua volta differenziarsi ulteriormente a seconda che presenti una composizione vegetale *limitata* o molto *differenziata*.



Fig.IV.28 – A sinistra. Esempio di chiusura verticale vegetata mediante piantumazione monospecie: Evangeline Dennie, *Oulu Bar & Ecolounge*, New York (USA), 2007. Si confronti tale immagine con Fig.V.93 e Fig.V.94, per comprendere come questo edificio si sia evoluto nel tempo. (Fonte: <http://www.jetsongreen.com/2008/03/oulu-bar-eco-lo.html>)

Fig.IV.29 – A destra. Esempio di parete a verde che presenta un mix vegetale molto ricco: AECOM Design & Planning, ELT Easy Green, *Westfield Shopping Centre*, Londra (UK), 2009. (Fonte: Giovanni Avosani)

Tale triplice condizione non si limita comunque alla sola riuscita formale dell'intervento, ma si basa su importanti e non trascurabili considerazioni strategiche derivanti dal fatto che i vegetali presentano complesse modalità e dinamismi di relazione tra specie e specie, che in alcuni casi possono anche rivelarsi nodi problematici o critici. Ne consegue che una maggiore complessità vegetale della facciata potrebbe tradursi, in modo direttamente proporzionale alle varietà di specie impiegate, in altrettante criticità qualora non fossero ben ponderate a priori le reciproche caratteristiche di relazione.

Diviene quindi particolarmente importante anche la modalità di coesistenza fitosociologica delle specie utilizzate. La regola generale è quella dell'impiego piante che non interagiscano negativamente: il rischio sarebbe altrimenti quello che una specie più forte, maggiormente competitiva, invasiva o infestante (proveniente dall'interno della stessa parete o dall'ambiente circostante), possa prendere il sopravvento su quelle vicine. Partendo dal fondamentale presupposto botanico che comunque le comunità vegetali sono formate da individui "vivi", e che quindi una certa variazione ed evoluzione floristica non si potrà escludere in nessun caso, risulterà particolarmente importante un'equilibrata scelta delle specie impiegabili in modo che una o alcune piante non prendano il totale sopravvento sulle altre. Il rischio diretto di tale fenomeno sarebbe quello che ci si potrebbe anche trovare, nel breve o nel medio periodo, con una parete totalmente diversa da quella originaria; sia nel numero che nella tipologia degli esemplari presenti.

Allo stesso modo risulta consigliabile l'impiego di specie dalle proprietà fisiologiche simili, in modo da non creare scompensi ad una piuttosto che a un'altra. Questo perché, come visto, ogni pianta presenta differenti specificità e conseguenti necessità (idriche, nutritive, energetiche, manutentive); quindi, maggiore sia il numero di specie diverse presenti in parete, più alta sarà la difficoltà previsionale dei vari cicli di annaffiatura o nutritivi. Eventuali scompensi – nel caso in cui la loro entità non sia eccessivamente grave – potrebbero essere comunque assorbiti dalle piante più resistenti, ma potrebbero anche tradursi in conseguenze serie per le specie più svantaggiate. Per tali motivi sarà opportuno porre estrema attenzione alle caratteristiche associative dei vegetali, ricordando comunque la regola che un minor numero di specie diverse, o dalle caratteristiche fisiologiche simili, permetterà una più facile gestione globale della facciata.

IV.6.3. Specie vegetali impiegabili: realizzazione e gestione del verde, sostenibilità

In base a quanto esplicitato in precedenza è possibile affermare che risulterà necessaria una corretta selezione vegetale in funzione delle caratteristiche del clima, della conformazione strutturale delle piante e delle sollecitazioni alle quali esse dovranno riuscire a dare risposta. In base alle necessità progettuali e funzionali di progetto sarà importante impiegare di volta in volta delle specie che possano rappresentare la corretta mediazione tra esigenze di forma e di funzione. Altrettanto fondamentale sarà del resto conoscere quali siano le specie che sarebbe opportuno evitare, in quanto potrebbero creare disagi o problemi all'eventuale fruitore (come ad esempio allergie) o alle strutture architettoniche.

La prima necessità è quella di impiegare piante che presentino una struttura tale da permettergli un agevole impianto in parete. Infatti, in funzione della dimensione della porzione sia aerea che radicale delle varie specie, alcune risultano idonee perché di dimensioni contenute, mentre altre si rivelano troppo grandi. Per tal motivo le specie arboree saranno assolutamente da evitare, in quanto sia la loro porzione legnosa che quella radicale hanno dimensioni eccessive: il loro peso non ne permette l'impianto su superfici verticali, causa le azioni di stroncamento o sradicamento che potrebbero verificarsi.

Una tipologia di piante che potrà essere sempre proficuamente impiegata in parete è quella delle monocotiledoni⁹⁸: esse si rivelano ottimali perché, essendo tutte specie a struttura erbacea, non formano strutture legnose. Conseguenza diretta è che le radici delle monocotiledoni non si sviluppano molto, quindi possono ottimamente convivere con le facciate edilizie. L'impiego di piante dicotiledoni, invece, andrà valutato caso per caso in funzione della specie prescelta.

Piante erbacee e muscinali possono quindi presentare un'efficace integrazione alle chiusure edilizie, in quanto il loro peso risulta ridotto conseguentemente a un volume vegetale aereo limitato; essendo il volume ipogeo solitamente proporzionato a quello fuori-terra si potrà in questo caso contare su una dimensione radicale contenuta. Anche le specie a struttura arbustiva potranno venire integrate alle tecnologie parietali, ma il loro impiego deve essere ponderato con maggiore attenzione: ciò è dovuto alla massa vegetale fuori terra che in alcuni casi può essere anche molto grande; inoltre la loro struttura legnosa, se eccessivamente voluminosa, potrebbe rappresentare delle criticità per i motivi di peso precedentemente declinati.

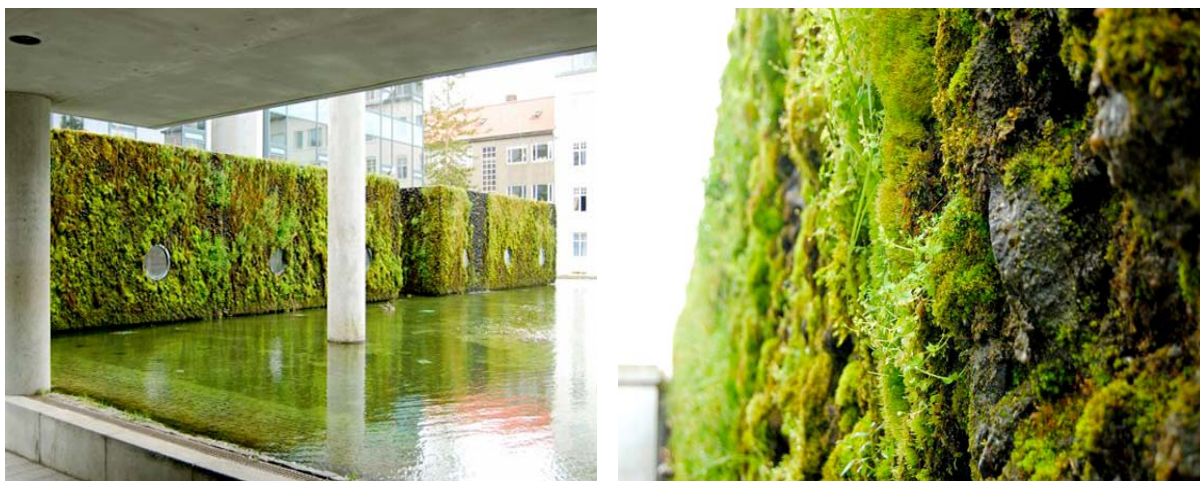


Fig.IV.30 – Alcune delle pareti esterne del municipio di Reykjavik (Islanda) sono state inverdite mediante vegetazione muscinali. I muschi, per poter vegetare su una qualsiasi superficie necessitano di grande umidità, quindi la chiusura viene costantemente inumidita facendovi circolare l'acqua della vasca esterna all'edificio. Per aumentare l'effetto della ritenzione idrica parietale è stato impiegato un substrato composto con lapilli vulcanici (foto di destra): tali lapilli, avendo un'altissima capacità ritenitiva, essendo reperibili in abbondanza sull'isola – quindi autoctoni – e presentando una superficie corrugata dove le piante colonizzano con maggiore facilità, si prestano perfettamente a tale funzione. Inoltre, la scelta di un apparato vegetale tipico dell'isola, quindi indigeno, si rivela ottimale dal punto di vista del bilancio energetico vegetale. (Fonte: <http://www.lushe.com.au>)

⁹⁸ Le *monocotiledoni* sono tutte le piante a struttura erbacea, e si distinguono dalle *dicotiledoni* grazie soprattutto alle modalità di riproduzione. Le dicotiledoni comprendono piante a fiore, e la loro struttura potrà essere sia erbacea che legnosa.

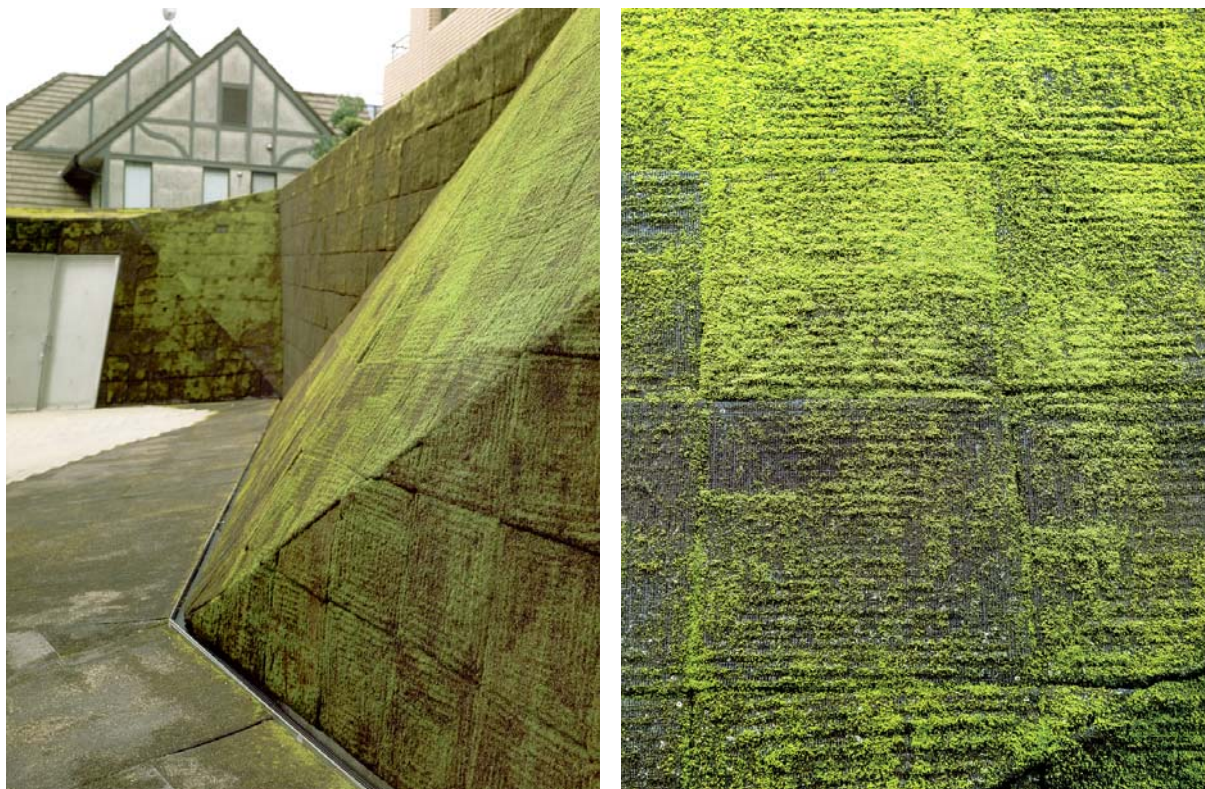


Fig.IV.31 – Herzog & de Meuron, *Prada Epicenter*, Tokyo (Giappone), 2003: altro esempio di inverdimento parietale ottenuto con specie muscinali. Interessante la modalità compositiva del basamento vegetato monospecie, le cui chiusure presentano la particolarità di non essere né perfettamente verticali, né tra loro complanari. Si noti, nella foto di sinistra, la canalina di recupero idrico posta alla base dell'installazione. Il sistema d'inverdimento è realizzato tramite moduli quadrangolari contenenti il substrato roccioso d'impianto; quest'ultimo è bloccato al ribaltamento tramite una rete polimerica a maglia molto fine. (Fonte: LAMBERTINI, ANNA, *Giardini in verticale*, in bibl., p.72 e p.75)

Gli apparati radicali di *tutte* le varie strutture vegetali appena descritte meritano un discorso generale a parte. Se i sistemi d'inverdimento parietale evoluti necessitano sempre di un sistema d'irrigazione automatizzato – che in alcuni casi potrebbe anche consistere in un impianto di fertirrigazione⁹⁹ – il substrato di coltivo risulterà sempre abbondantemente irrigato e umido, con la conseguenza che le piante si ritroveranno con degli apparati radicali meno sviluppati: ciò, è essenzialmente dovuto al fatto che la risorsa idrica di cui necessitano risulterà sempre disponibile a brevissima distanza, quindi tali piante non avranno mai la necessità di dover sviluppare troppo le proprie radici nella ricerca idrica. Ne consegue che in parete, a maggior ragione, potranno essere adottati anche vegetali dalla struttura arbustiva, con l'unico limite che essi dovranno presentare una dimensione matura non svantaggiosa per le necessità architettoniche e funzionali dell'edificio.

Altra questione importante riguarda le tempistiche di crescita delle piante. Tempi di crescita intesi non tanto come intervallo trascorso dal momento d'impianto del seme a quello in cui la pianta abbia

⁹⁹ «Fertirrigazione: nella pratica agraria, irrigazione fertilizzante fatta con acqua in cui siano disciolti concimi organici naturali o concimi chimici in appropriata concentrazione» (Fonte: <http://www.treccani.it>). Quindi in questo caso la pianta potrà trovare tutte le sostanze nutritive di cui necessita già nella soluzione liquida fornitagli artificialmente, senza doverle perciò ricercare nei substrati sui quali insiste.

raggiunto una dimensione matura¹⁰⁰, ma piuttosto relativamente al vigore che tali specie presentano durante la crescita, che si traduce in una maggiore o minore attività di contestuale manutenzione ordinaria dovuta a potature. La scelta di vegetali che presentino un forte accrescimento della propria biomassa in tempi relativamente brevi si tradurrà in maggiori interventi annuali di sfalcio, mentre quelle che abbiano un accrescimento più contenuto richiederanno anche, parallelamente, minori necessità manutentive: in altre parole è possibile affermare che scegliere specie a crescita lenta consente una riduzione della manutenibilità ordinaria.

Sarà inoltre da tenere in debita considerazione che piante che presentino un accrescimento maggiore si accompagneranno a più alte attività evapotraspirative (ETP) e fotosintetiche (FS), quindi il loro effetto sul microclima ambientale sarà più elevato; per contro, non sarà da dimenticare che maggiore evapotraspirazione consiste in una più alta richiesta idrica.

In tutte le fasi di progettazione e gestione degli apparati vegetali saranno sempre da avere ben chiari i requisiti e le prestazioni di progetto, in modo da poter selezionare le specie più idonee in funzione del quadro esigenziale di partenza. Tale relazione tra i tre elementi appena descritti – accrescimento di biomassa, necessità della risorsa idrica, attività fisiologiche del sistema vegetale – potranno quindi essere schematizzata secondo il seguente diagramma a flusso consequenziale, che li mette in relazione come elementi interdipendenti e consecutivi:

> accrescimento > richiesta idrica > attività fisiologiche (ETP e FS)

Specie come i sedum (o in generale le piante succulente e xerofile¹⁰¹) presentano un accrescimento medio di biomassa particolarmente limitato, quindi le relative attività e spese di gestione ordinaria saranno minori di altre; ciò è dovuto al fatto che essi necessitano di uno scarso apporto idrico e manutentivo. L'unico problema legato al loro utilizzo consiste nel rischio di stroncamento, soprattutto per quelle varietà dalla massa aerea più cospicua. Se ne deduce che i sedum saranno sì impiegabili in parete – e potranno garantire un'efficienza elevata – ma sarà buona prassi limitarne l'utilizzo ad aree di dimensioni non eccessive e facilmente accessibili per l'eventuale rimpiazzo degli esemplari stroncati (Fig.IV.32).

Per contro, sempre rimanendo in tema di crescita specifica come possibile elemento su cui basare la selezione delle specie, è possibile affermare che piante dalla crescita vigorosa – e che quindi necessiterebbero di più sessioni annue di sfalcio – sono quelle erbacee appartenenti alla famiglia delle graminacee (o *poaceae*). Esse, in quanto piante perenni o annuali, sono di sovente impiegate per le superfici verdi a prato e, seppur una volta collocate in parete possano avere una riuscita formale particolarmente apprezzabile, è altrettanto vero che il loro impiego potrebbe creare non pochi problemi in sede di gestione.

¹⁰⁰ È prassi consolidata che con le tecnologie evolute si utilizzino inverdimenti *pronto-effetto* (Cfr. III.5).

¹⁰¹ Le piante *xerofile* sono vegetali che, grazie all'evoluzione, si sono adattati a vivere in ambienti caratterizzati da lunghi periodi di siccità o da clima arido e desertico: ambienti, appunto, genericamente definiti xerici.



Fig.IV.32 – Alcune varietà di sedum adatte al clima italiano. Sopra, a sinistra: *Sedum album*; al centro: *Sedum hispanicum*; a destra: *Sedum spurium*. Sotto, a sinistra: *Sedum telephium*; al centro: *Sedum dasyphyllum*; a destra: *Sedum oreganum*. (Fonte delle immagini: <http://commons.wikimedia.org>)



Fig.IV.33 – Esempi di piante graminacee (a struttura erbacea) diffuse in Italia. A sinistra: *Zoysia japonica* (specie microterma); al centro: *Poa pratensis* (microterma); a destra: *Festuca rubra*: specie macroterma. (Fonte delle immagini: <http://commons.wikimedia.org>)

Ciò tenendo conto del fatto che comunque, quando si abbia a che fare col regno vegetale, risulta particolarmente complesso – se non impossibile – fornire delle formule universalmente applicabili. Infatti, volendo soffermarsi ulteriormente sulla stessa famiglia delle graminacee, la scelta di un genere¹⁰² vegetale piuttosto di un altro potrebbe creare delle differenze notevoli: un impianto parietale

¹⁰² Si specifica che, all'interno della famiglia delle graminacee, sono stati catalogati circa 600 generi diversi.

che utilizzi graminacee del genere *Zoysia* richiede mediamente 1-2 tagli annuali – quindi in perfetta media con gli inverdimenti parietali a manutenzione medio-bassa – mentre una del genere *Festuca* necessita di 4-6 tagli ogni anno (Fig.IV.33). È quindi evidente come la scelta di una verità piuttosto che di un'altra, anche solo all'interno della stessa famiglia, possa rivelarsi una discriminante fondamentale, soprattutto se tale problematica venga messa a sistema con la difficoltà non trascurabile di eseguire la manutenzione ordinaria su una parete verticale che potrebbe anche estendersi fino a molti metri da terra.

Decisiva anche la questione della caratterizzazione climatica. Come visto al paragrafo IV.5.2 le piante possono essere suddivise in base alla tipologia climatica che riescono meglio a sopportare (capacità direttamente derivante, peraltro, dalla regione climatica originaria). Per tale motivo, una volta comprese appieno le caratteristiche sia del clima regionale che di quello microclimatico del luogo d'impianto, sarà opportuno selezionare delle specie che possano trovarsi a proprio agio nel luogo destinato alla collocazione della parete a verde.

Operare un'opportuna selezione di vegetali che presentino dei caratteri d'equilibrio col contesto nel quale si troveranno a vivere per lungo tempo significherà poter contare su una percentuale maggiore di riuscita dell'impianto, in quanto verranno minimizzate le criticità che potrebbero agire negativamente sulla pianta (eccessi climatici, carenza idrica, criticità relative alle modalità d'interazione tra specie, ecc). Si tenga comunque conto del fatto che i vegetali, alla stregua di qualsiasi altro essere vivente, presentano delle caratteristiche di adattabilità nei confronti degli agenti esterni di disturbo, quindi in alcuni casi essi, seppur presentando una maggiore o minore sofferenza nei confronti di detti agenti negativi, riusciranno a sopravvivere: l'importante sarà che il loro limite di resistenza massimo non venga superato.

In base a tale caratterizzazione climatica risulterà quindi sempre consigliabile selezionare specie sviluppatasi in contesti il più possibile simili a quello che dovrà ospitare l'impianto. Quindi, una prima regola potrebbe essere quella dell'impiego di specie macroterme, mesoterme e microterme in contesti caratterizzati da climi più o meno caldi ed umidi, in modo da poter rispettare le temperature cardinali minime, ottimali o massime di ciascuna specie (Fig.IV.34). Al contrario, risulterà opportuno l'impiego di specie maggiormente adattate a climi freschi o freddi, in contesti che esprimano tali caratteristiche.



Fig.IV.34 – Esempi di specie macroterme e microterme. A sinistra: *Lolium perenne* (macroterma); al centro *Stenotaphrum secundatum* (macroterma); a destra: l'*Isopyrum thalictroides* è una specie microterma. (Fonte delle immagini: <http://commons.wikimedia.org>)

Per le regioni calde o aride (come quelle che compongono buona parte del territorio meridionale nazionale) risulterà perciò prezioso l'impiego di piante che presentino un equilibrio con climi simili. In questo caso l'impiego di specie xerofite, succulente, cactacee, o comunque adattate a climi e contesti caldi, sarà la scelta maggiormente efficiente e sostenibile (Fig.IV.35). Anche l'utilizzo di piante provenienti da contesti tropicali potrebbe in alcuni casi essere contemplato, tenendo comunque conto del fatto che la foresta tropicale pluviale è particolarmente ricca di umidità, quindi le specie provenienti da tali areali avranno sempre un elevato fabbisogno idrico.



Fig.IV.35 – Esempi di specie dell'area mediterranea o adattate ai climi caldi. Sopra, a sinistra: il *Ruscus aculeatus* è una pianta a struttura arbustiva sempreverde tipica della macchia mediterranea; al centro: l'*Arbustus unedo* è una specie arbustiva originaria delle regioni del Mediterraneo occidentale; a destra: il *Calycotome villosa* è un arbusto della macchia mediterranea. Sotto, a sinistra: *Smilax aspera* è una specie monocotiledone della famiglia delle *Liliceae*; al centro: il *Cistus monspeliensis* (cisto marino) è un vegetale arbustivo; a destra: *Pistacia lentiscus* (lentisco), un arbusto sempreverde della famiglia delle *Anacardiaceae*. Si noti per tutte le specie rappresentate la struttura coriacea degli apparati fogliari, ed il colore scuro delle foglie stesse: caratteristiche entrambe sempre presenti nelle piante endemiche dei climi caldi o aridi. (Fonte delle immagini: <http://commons.wikimedia.org>)

Alla stessa maniera sarà buona prassi usare piante che possano adeguatamente rispondere alle sollecitazioni luminose – climatiche o microclimatiche – caratteristiche di ciascun contesto d'impianto. Infatti, ulteriore suddivisione può essere effettuata tra piante che prediligano il soleggiamento diretto (eliofile: Fig.IV.36) e quelle che invece necessitino di collocazioni meno esposte alla radiazione (sciafile: Fig.IV.37 e Fig.IV.38), soprattutto nelle ore più calde della giornata. È possibile reperire un'ampia casistica di piante erbacee o arbustive che prediligano *pieno sole*, *ombra* o *mezz'ombra*:

condizione che, una volta comprese le caratteristiche del contesto d'impianto, potranno rivelarsi un utile strumento operativo.

Discorso a parte meritano specie muscinali (che non hanno struttura né erbacea né arbustiva) e piante epifite. Entrambe prediligono ombra o mezz'ombra, e luoghi dall'elevata umidità. Come del resto risulterà sempre opportuno selezionare specie maggiormente resistenti a fenomeni ventosi o d'inquinamento localizzati qualora il contesto edilizio sia affetto da tali criticità.



Fig.IV.36 – Riga superiore: esempi di specie eliofile che prediligono esposizioni *in pieno sole*. A sinistra: *Euphorbia characias*; al centro: *Lallium maculatum*; a destra: *Hypericum patulum*.

Fig.IV.37 – Riga centrale: esempi di specie vegetali che tollerano esposizioni *in mezz'ombra*. A sinistra: *Carex morrowi*; al centro: *Cotoneaster lacteus*; a destra: *Bergenia cordifolia*.

Fig.IV.38 – Riga inferiore: sempi di specie sciafile adatte ad esposizioni *in ombra*. A sinistra: *Lamium galeobdolon*; al centro: *Ophiopogon japonicus*; a destra: *Liriope muscari*. Si precisa che le specie da ombra e da mezz'ombra possono venire impiegate indifferentemente in entrambe le casistiche. (Fonte di tutte le immagini di Fig.IV.36, Fig.IV.37 e Fig.IV.38: <http://commons.wikimedia.org>)

A conclusione del presente capitolo incentrato sui comportamenti della componente vegetale associabile agli involucri architettonici verticali, è opportuno evidenziare che esistono delle specie che risulterà sempre necessario evitare, in quanto il loro impiego potrebbe rivelarsi problematico o altamente negativo per fruitori occasionali o abituali di un ambiente. Le specie da eludere accuratamente per impieghi in facciate edilizie sono quelle che ricadranno all'interno delle seguenti categorie:

- specie vegetali con profumazione sgradevole: il loro utilizzo non risulta deleterio o pericoloso, ma potrebbe pregiudicare la fruizione di uno spazio;
- fruttificazione tossica: i frutti potrebbero venire ingeriti dai bambini;
- piante velenose, specie allergogene e vegetali urticanti: il contatto diretto con gli apparati vegetali da parte delle persone, o quello indiretto mediante l'inalazione di pollini e sostanze volatili da esse prodotte, potrebbe rivelarsi sfavorevole o pericoloso per l'uomo;
- piante che presentino avversità ricorrenti (da curarsi, dunque, mediante interventi fitosanitari): queste specie, oltre a richiedere maggiori investimenti di manutenzioni ordinarie e straordinarie, possono rivelarsi dannosi per l'uomo; i prodotti impiegati in tali interventi curativi per la pianta, molto spesso di origine chimica, potrebbero rivelarsi deleteri per la salute delle persone.

Ultima questione è relativa alla composizione formale della parete. Ogni specie vegetale presenta un proprio portamento a seconda delle caratteristiche strutturali di rami e foglie. Una pianta potrà quindi essere tappezzante, ricadente, decombente o prostrata, a seconda di quale sia il suo aspetto esteriore¹⁰³. La combinazione e tutte le possibili coniugazioni di tali caratteri all'interno dello spazio di facciata, permetterà di pervenire a differenti risultanti formali a seconda di come si posizionino le varie specie in parete.

Anche in questo caso risulta forse utile fornire una regola generale finalizzata all'ottenimento di minori criticità gestionali e operative. Essa consiste nella convenienza d'impiegare specie tappezzanti e muscinali nella parte basamentale della parete, per collocare piante a portamenti più complessi e maggiormente voluminosi nelle porzioni poste più in alto. Questo perché le propaggini fogliari di specie decombenti o prostrate tenderanno a ricadere su sé stesse una volta che abbiano raggiunto una determinata dimensione, presentando uno sviluppo sempre maggiore di piante erbacee o muschi. Tale considerazione deriva dal fatto che un eccessivo sviluppo vegetale potrebbe creare problemi qualora posto nelle vicinanze delle vie pubbliche pedonali o carrabili (invasione del marciapiede, ingombro fisico o visivo, ecc), mentre si rivelerebbe meno critico ad una certa distanza dal piano della viabilità. Questa strategia operativa permette inoltre di poter posticipare al massimo le azioni di sfalcio e potatura, con evidenti ripercussioni positive sui costi gestionali.

¹⁰³ In linea di massima risulta sempre sconsigliabile l'impiego di specie rampicanti con le chiusure verticali vegetate. Queste piante, a causa del vigore di crescita particolarmente sviluppato e della notevole estensione parietale che possono raggiungere nel giro di pochi anni, risultano molto difficili da gestire nella loro interazione con gli altri vegetali, con la conseguenza che tenderanno a sottrarre spazio, nutrienti e luce alle altre specie presenti. Per tal motivo, se i rampicanti risultano essere i protagonisti assoluti nel caso dei *rivestimenti a verde*, sono invece sempre sconsigliabili coi rimanenti sistemi d'inverdimento parietale.

IV.7. Fonti di riferimento

In questo ultimo paragrafo verranno citati i riferimenti sia bibliografici che derivanti dalla consultazione di pagine *web*, utilizzati nella redazione del capitolo. Tutti i titoli qui segnalati saranno riportati anche nella *Bibliografia e sitografia generale*, reperibile nelle pagine finali della ricerca.

IV.7.1. Bibliografia tematica

1. ASSOVERDE - ASSOCIAZIONE ITALIANA COSTRUTTORI DEL VERDE, *Costruire il verde – Manuale tecnico-pratico sulla gestione del verde*, Monteveglio (BO), Editrice Tipografia Moderna, 2007, pp.125
2. BENVENUTI, STEFANO, *Aspetti biologici ed ecologici della flora infestante dell'ecosistema urbano*, Università di Pisa, Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie, documento on-line disponibile all'indirizzo:
http://www.avanzi.unipi.it/comunicazione/convegni/incontro_tec_diserbo_non_chimico/documenti_dis_non_chimico/benvenuti.pdf, pp.57
3. BETTINI, VIRGINIO, *Elementi di ecologia urbana*, Torino, Einaudi, 1996, pp.259
4. BLANC, PATRICK, *Il bello di essere pianta*, Torino, Bollati Boringhieri editore, 2008, pp.93
5. BLASI, CARLO, PRETTO, FRANCESCA, CELESTI-GRAPOW, LAURA, “La *watch-list* della flora alloctona d'Italia”, pp.7-8, in GALASSO, G., GHIOZZI, G., AZUMA, M., BANFI, E., *Le specie alloctone in Italia: censimenti, invasività e piani di azione*, Memorie della Società Italiana di Scienze Naturali e del Museo Civico di Storia Naturale di Milano, Vol.XXXVI, Fascicolo I
6. BONESI, LAURA, VASCOTTO, MARIANNA (a cura di), *Specie invasive – Specie aliene invasive in Italia*, Università degli Studi di Trieste – Documento on-line disponibile all'indirizzo:
<http://www2.units.it/specieinvasive/invasive>
7. BRETZEL, FRANCESCA, *Terreno: un aspetto trascurato nel verde pubblico*, documento on-line disponibile all'indirizzo: <http://culturadelverde.imagelinenetwork.com/cura-del-verde/terreno-un-aspetto-trascurato-nel-verde-pubblico-00256.cfm>
8. CELESTI-GRAPOW, L., ALESSANDRINI, A., ARRIGONI, P.V., BANFI, E., BERNARDO, L., BOVIO, M., BRUNDU, G., CAGIOTTI, M.R., CAMARDA, I., CARLI, E., CONTI, F., FASCETTI, S., GALASSO, G., GUBELLINI, L., LA VALVA, V., LUCCHESI, F., MARCHIORI, S., MAZZOLA, P., PECCENINI, S., POLDINI, L., PRETTO, F., PROSSER, F., SINISCALCO, C., VILLANI, M. C., VIEGI, L., WILHALM, T., BLASI, C., “Inventory of the non-native flora of Italy”, *Plant Biosystem*, n.143 (2), 2009, pp.386-430
9. CONSORTI, LAURA, “La progettazione del verde”, pp.147-160 in ABRAM, PAOLO, *Giardini pensili – Coperture a verde e gestione delle acque meteoriche*, in bibl.
10. FILESI, LEONARDO, *Dispense del corso di Botanica – Prima parte*, Università IUAV di Venezia, Facoltà di Architettura, Corso per le lauree specialistiche, Venezia, A.A. 2006-07, pp.36
11. FILESI, LEONARDO, *Dispense del corso di Botanica – Seconda parte*, Università IUAV di Venezia, Facoltà di Architettura, Corso per le lauree specialistiche, Venezia, A.A. 2006-07, pp.83
12. FONTANARI, ENRICO, PATASSINI, DOMENICO (a cura di), *Terraced landscapes of the Alps – Projects in progress*, Venezia, Marsilio, 2008, pp.121

13. GERI, VINCENZO, *Progettare l'ambiente, progettare nell'ambiente*, Milano, Il Sole 24 Ore/Pirola, 2002, pp.926
14. GORTAN, EMANUELLE, *Misura dello stato idrico di Fraxinus ornus L. quale biomonitor dell'aridità ambientale in siti diversi del carso triestino*, Tesi di Dottorato di Ricerca, tutor Tretiach, Mauro, Università degli Studi di Trieste, Dottorato in Metodologie di biomonitoraggio della alterazione ambientale, XX ciclo, 2008, pp.112
15. IAMONICO, DUILIO, "La flora esotica d'Italia", Atti del *I Convegno del Forum Natura Mediterraneo*, Selva di Paliano (FR), 20-21/03/2009
16. IPCC, *Climate Change 2007: Synthesis Report – Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment*, Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)], Geneva, IPCC, 2008, pp.104
17. LAMBERTINI, ANNA, *Giardini in verticale*, Firenze, Verbavolant, 2007, pp.240
18. LORENZETTI, R., "Il suolo nell'ambiente urbano", Atti del *I Convegno del Forum Natura Mediterraneo*, Selva di Paliano (FR), 20-21/03/2009
19. MALORGIO, FERNANDO, INCROCCI, LUCA, DIMAURO, BIAGIO, PARDOSSI, ALBERTO (a cura di), *La tecnica della coltivazione fuori suolo*, Progetto interregionale "Orticoltura" 2001-2004, Sottoprogetto "Colture protette", pp.142
20. MARIANI, LUIGI, "Clima urbano e alberi: risorse e limiti", pp.7, Atti della giornata di studio intitolata *La vita degli alberi in città – Un equilibrio instabile*, Milano, Triennale di Milano, 28/09/2009
21. MENGOLI, STEFANO, "La componente vegetale", pp.23-40 in CORRADO, MAURIZIO (a cura di), *Il Verde Verticale*, Bologna, Sistemi Editoriali, 2010
22. MONTACCHINI, ELENA, BOUVET, DANIELA, *La vegetazione nel progetto – Uno strumento per la scelta delle specie vegetali*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2007, pp.144
23. OKE, TIM R., *Boundary layer climates*, Londra, Methuen & Co. Ltd., 1978, pp.371
24. PIERUCCINI, PIERLUIGI, *Il sistema climatico di Wladimir Köppen*, Università degli Studi di Siena, Laurea in Scienze Geologiche, Corso di Geografia Fisica, documento on-line disponibile all'indirizzo: http://www.smfn.unisi.it/smfn_lauree/matdid/1673.pdf, pp.66
25. PIGNATTI, SANDRO, *Flora d'Italia*, Opera in 3 volumi, Bologna, Edagricole, 2002 (ed. orig. 1982), pp. tot.2302
26. SICURELLA, ANNIBALE, *Progettare il verde - Tecniche e soluzioni*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2003, pp.187
27. STAFFOLANI, LAURA, *Studio ecologico del potenziale fitoallergenico nell'ecosistema urbano dell'Italia centrale*, Tesi di Dottorato di Ricerca, tutor Kruniča, Hruska, Università degli Studi di Camerino, Dottorato in Scienze e tecnologie per l'ambiente, la natura e la salute dell'uomo, XIX ciclo, 2007, pp.101

IV.7.2. Sitografia tematica¹⁰⁴

- <http://www.europe-aliens.org>

Sito del progetto DAISIE – *Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe*. Tale spazio web contiene, come definito dal nome stesso del progetto, l'inventario di tutte le specie aliene invasive (sia vegetali che animali) d'Europa, al fine di comprendere le modalità diffusive e studiare strategie per limitare il problema delle invasioni biologiche.

- <http://www2.units.it/specieinvasive/invasive>

Sito web dell'Università degli Studi di Trieste dedicato allo studio delle specie invasive.

- <http://www.ilpolline.it>

Sito dell'AIA, *Associazione Italiana di Aerobiologia*. Essa promuove attività di ricerca e confronto scientifico sui temi legati allo studio delle particelle sospese in atmosfera, delle fonti che le producono, delle modalità con cui queste vengono trasportate dall'aria e dei contestuali effetti sull'ambiente.

- <http://www.wwf.it>

Il WWF, *World Wildlife Found*, è la più grande organizzazione mondiale per la difesa della natura. Tale associazione agisce mediante molteplici attività, sia operative che di ricerca scientifica, volte «a costruire un mondo in cui l'uomo possa vivere in armonia con la natura».

- <http://culturadelverde.imagelinenetwork.com>

Cultura del verde è un portale web multidisciplinare (architettura, tecnologia, paesaggistica, agricoltura, agronomia, ecc) che mira a offrire «un panorama completo delle soluzioni, delle notizie e degli approfondimenti sul mondo del verde» tramite «un motore di ricerca in cui sono raccolti articoli, informazioni e pubblicazioni».

- <http://www.meteogiornale.it>

Spazio web dedicato a studi e ricerche sui fenomeni climatici e meteorologici.

- <http://commons.wikimedia.org>

Wikimedia Commons è una raccolta di files multimediali (immagini, video, ecc.) a licenza libera.

- <http://www.treccani.it>

Portale a cura dell'Istituto Treccani, contenente la versione on-line dell'omonima enciclopedia.

¹⁰⁴ Ultima visita ai siti web di seguito citati: lunedì 14 febbraio 2011.



V. Le chiusure verticali vegetate

In questo capitolo ci si addentra in quello che è il principale oggetto di trattazione tecnologica della ricerca: d'ora in avanti ci si concentrerà specificamente su quelli che sono i più innovativi sistemi finalizzati alla realizzazione di pareti a verde. Essendo tale tipologia di chiusure caratterizzata da solo pochi anni di sperimentazione, ma richiedendo parallelamente grande specializzazione tecnica e multidisciplinare per essere messa in atto, si vuole innanzitutto dimostrare come si sia potuti arrivare a concepire tali realizzazioni, per poi delinearne sia lo stato dell'arte che possibili orizzonti di sviluppo. Importante sarà allora evidenziare quali siano stati tutti i passaggi empirici e di scala che hanno permesso di poter realizzare, oggi, pareti verdi continue tecnologicamente molto avanzate e dalle notevoli dimensioni. Obiettivo del capitolo sarà quello di esplicitare sotto l'aspetto funzionale, costruttivo e tecnologico, cosa siano e come funzionino tali pareti verdi *di ultima generazione*² e ,quindi, anche quali apparati impiantistici o risorse richiedano.

Considerando il brevetto del *Mur Vegetal* di Patrick Blanc come la rivoluzionaria invenzione che ha fatto conoscere il sistema tecnologico delle pareti verdi su scala globale, e pienamente consapevole del fatto che almeno per gli anni a venire esso sarà il modello sul quale le aziende si baseranno per la realizzazione di prototipazioni più o meno industrializzate, si passerà qui a definire innanzitutto, mediante idoneo apparato di considerazioni tecniche ed iconografiche, l'esplicazione tecnologica, impiantistica e funzionale di detto sistema.

In seguito alla notevole affermazione che il *Mur Vegetal* ha registrato a livello planetario, e dal momento che attualmente l'industria delle costruzioni sembra essere adeguatamente matura per assimilare definitivamente le istanze culturali legate alle tematiche dello sviluppo sostenibile, si passerà di conseguenza alla trattazione degli sviluppi *di confine* relativi alla tecnologia dell'inverdimento parietale. Molte aziende stanno oggi producendo grande ricerca (sia *applicata* che *industriale*) sulle chiusure a verde e, in risposta alle sperimentazioni semi-artigianali di Blanc, numerosi produttori iniziano a proporre sui mercati globali una varietà di soluzioni modulari industrializzate.

Essendo il sistema delle chiusure a verde particolarmente complesso, si procederà ad una sua particolareggiata scomposizione in sottosistemi e componenti funzionali, in modo da evidenziare le stratificazioni che lo compongono, quali funzioni esse debbano assolvere e quali siano le loro relazioni reciproche, la manutenzione ordinaria o straordinaria richieste, i costi di costruzione e manutenzione, i dettagli costruttivi. Il tutto prendendo debitamente in esame le sollecitazioni tipiche a cui il sistema possa essere sottoposto durante l'intero ciclo di vita ed utilizzando come parametro di valutazione i relativi requisiti esigenziali e prestazionali. Obiettivo del capitolo sarà quello di dimostrare come vada realizzata una parete a verde, una volta che ne siano anche state evidenziate le possibili criticità intrinseche.

Considerando che oggigiorno l'industria delle costruzioni assume un peso di assoluto rilievo nello sviluppo e nell'affinamento del sistema, si è ritenuto opportuno vagliare attentamente anche quale sia lo stato dell'arte relativo all'industrializzazione di prodotto. Perciò, nel prosieguo del capitolo, verranno esposti e descritti alcuni fra i sistemi commerciali ritenuti più interessanti ed originali: questo, anche in considerazione del fatto che, come accade ormai di sovente nella produzione architettonica di massa,

¹ L'immagine della pagina precedente ritrae una delle facciate sulle corti interne presso il padiglione francese all'Expo di Shanghai 2010, progettato da Jacques Ferrier. (Fonte: Giovanni Zannoni)

² La dicitura generica "pareti verdi di ultima generazione" verrà qui utilizzata per indicare il macrogruppo tecnologico contenente *chiusure verticali vegetate* e *muri vegetali*.

quando un progettista decide di misurarsi con una data tipologia sistemica, succede che esso debba rivolgersi propositivamente all'industria, instaurando una collaborazione bilaterale. Motivo per cui, oggi, accade spesso che tale settore produttivo, agendo coi propri prodotti o sistemi tecnologici, incida sulla riuscita formale e tecnica di un progetto.

L'ultima premessa riguarda ancora gli obiettivi specifici del capitolo. Considerato il fatto che non sia oggi rilevabile né in Italia né all'estero una normativa che definisca le caratteristiche tecnologico-prestazionali e le modalità di realizzazione di questi particolari sistemi, una delle volontà della presente sezione della ricerca sarà quella di fornire un possibile spunto tecnico-critico all'unificazione e formalizzazione tecnologico-costruttiva delle chiusure vegetate verticali, mediante la proposta di indicazioni generali o specifiche volte alla realizzazione di codesti sistemi.

V.1. Il passaggio dalla chiusura ospitante vegetazione a quella in cui le piante sono integrate all'involucro

La sostanziale differenza tra rivestimento vegetale e chiusura verticale vegetata non è prettamente tecnologica ma anche profondamente concettuale. Se il primo sistema può contare su uno strato a verde in appoggio a chiusure edilizie che potrebbero normalmente sussistere anche senza di esso³, nelle chiusure verticali vegetate le piante sono profondamente integrate agli altri apparati d'involucro, ossia ne rappresentano parte *integrante* a tutti gli effetti.

Le chiusure vegetate⁴ presentano in tutte le loro molteplici declinazioni, che verranno via via inquadrare all'interno del presente capitolo, una tecnologia molto complessa e strutturata, che permette una profonda complementarietà fra la componente verde e tutti i sottosistemi tecnologici che formano la chiusura nella sua globalità. Per tale motivo è possibile affermare che, se nei rivestimenti a verde il sistema vegetale e la chiusura collaborano, nelle chiusure vegetate essi *coincidono*.

Le chiusure vegetate esistono da sempre, sia nelle loro forme archetipiche descritte nel capitolo precedente che sottoforma di prassi edificatorie localizzate in contesti e paesi nordici⁵ ma, a differenza dei rivestimenti a verde che hanno conosciuto un utilizzo continuativo durante tutta la storia delle costruzioni, esse sono state per un lungo lasso di tempo totalmente dimenticate, salvo poi essere riscoperte solo pochi anni fa e da allora re-impiegate in campo architettonico a livello planetario. L'evento scatenante di tale *re-invenzione* è sicuramente stata l'introduzione sul mercato del *Mur Vegetal*.

³ Ciò non toglie che lo strato a verde presenti una serie di ripercussioni molto importanti dal punto di vista sia dell'efficienza energetica che per quel che concerne le altre ricadute ambientali. Cfr. capitolo VI

⁴ Nel prosieguo del capitolo le chiusure verticali vegetate potranno talvolta venire indicate con la sola locuzione di *chiusure vegetate*: ciò al fine di semplificare l'apparato testuale della ricerca. Si intende perciò specificare fin da subito che anche se verrà in alcuni casi omissa l'aggettivo *verticale*, si continuerà sempre e comunque a riferirsi alle chiusure verticali e mai a quelle superiori.

⁵ Cfr. capitolo II

V.1.1. La (ri)scoperta della parete a verde continua: Patrick Blanc e il brevetto del *Mur Vegetal*

L'invenzione del *Mur Vegetal* risale a circa una trentina d'anni fa: concettualmente tale sistema è considerabile come la trasposizione in chiave contemporanea di alcune delle conoscenze legate ai *turf buildings* dell'antichità, unitamente alle acquisizioni di sapere derivanti da una diretta e reiterata osservazione dei fenomeni della natura. La sua scoperta è ascrivibile al francese Patrick Blanc, botanico e ricercatore del CNR francese, nonché studioso e profondo conoscitore del sottobosco vegetale delle foreste tropicali, al quale ha quasi totalmente dedicato la sua carriera scientifica.

L'ideazione di questo sistema ha cambiato le modalità tecnologiche ed espressive legate al modo di concepire l'integrazione fra progettazione architettonica e natura (Fig.V.1 e Fig.V.2), ed è possibile affermare che Blanc vi sia pervenuto in modo quasi accidentale: accadde infatti che egli, a quel tempo giovane studioso di botanica, avesse collocato delle radici di filodendro (*Philodendron*) nell'acquario di casa propria, per sfruttare le caratteristiche di quella specie vegetale nella purificazione dell'acqua dai residui in sospensione. Tali radici, con la sola presenza idrica e senza la necessità di altri nutrienti, iniziarono a crescere e proliferare moltissimo, fino a trasbordare sulla parete retrostante l'acquario e ad invadere quasi completamente le superfici della muratura confinante con la vasca: conseguentemente a tale accadimento lo studioso comprese le possibilità d'interazione fra vegetazione e architettura, iniziando la propria attività sperimentale verso quelle specie che possono sopravvivere in contesti estremi o penalizzanti come una parete verticale e massiva.



Fig.V.1 – A sinistra: Jean Nouvel, Patrick Blanc: *Musée du Quai Branly*, Parigi, 2006. La facciata degli uffici esposta a Nord-Ovest è stata vegetata utilizzando la tecnica del *Mur Vegetal*. Trattasi della più grande installazione vegetale mai realizzata da Blanc: essa presenta una superficie di 800 m² e contiene circa 15.000 piante di 150 specie diverse. (Fonte: <http://rueparis.com/wp-content/uploads/2009/07/quai-branly-paris.jpg>)

Fig.V.2 – A destra: Herzog & de Meuron, Patrick Blanc: *Caixa Forum*, Madrid, 2007. La facciata cieca prospettante sulla piazza ospita un *Mur Vegetal* alto 24 metri: si noti la grande varietà compositiva della chiusura vegetata, contenente più di 15.000 piante di 250 specie. Alla base della parete è stato installato – a posteriori – un parapetto, che serve a precludere la possibilità di contatto fra persone e piante. (Fonte: Giovanni Zannoni)

Studi che più tardi lo condussero alla ricerca sul campo proprio nei contesti più sfavorevoli dal punto di vista sia della collocazione che del reperimento della risorsa luminosa, ossia le foreste subtropicali, dove poté osservare tutta una serie di specie epifite o parassitarie che vivono aggrappate

alle falesie rocciose o sui tronchi di altre specie. La sinergia tra l'osservazione del fatto fortuito accaduto nell'acquario di casa propria e le conoscenze che andava maturando rispetto alle specie del sottobosco della foresta pluviale gli permisero di iniziare un percorso di ricerca che avrebbe portato, nel tempo, al concepimento dei suoi muri vegetali oggi molto conosciuti e diffusi.

Tramite l'osservazione del fenomeno, ed una volta compresa la possibilità di riproporre "artificialmente" quel meccanismo naturale su scala maggiore e nelle opere di architettura, Blanc decise di iniziare delle sperimentazioni volte ad una possibile applicazione all'edilizia. Attività di sperimentazione e continui affinamenti empirici che lo portarono ad un brevetto registrato denominato appunto *Mur Vegetal*, che fece la sua apparizione nei primi anni Novanta.

Il sistema, tuttora in costante affinamento, è in sé molto semplice: è formato da alcuni strati e sottosistemi destinati a mantenere in vita un apparato vegetale complesso e da una molteplicità di specie vegetali diverse che convivono nella stessa installazione parietale. Esso dispone di quattro strati funzionali che, dall'esterno verso l'interno, possono essere così riassunti:

- strato vegetale;
- substrato⁶ colturale;
- strato impermeabile e di protezione dall'azione delle radici;
- sottosistema di supporto.

Lo strato vegetale si compone di una molteplicità di specie diverse che, nella quasi trentennale esperienza di Blanc, egli ha utilizzato e testato, fino a selezionarne più di 300 con cui oggi abitualmente opera. Quindi un alto numero di specie differenti, tuttora oggetto di continua implementazione, che il botanico francese ha imparato ad impiegare sia in funzione delle specificità geografiche o microclimatiche di contesto, che conseguentemente alle relative reciprocità di sopravvivenza o conflitto interspecifico⁷. I muri vegetali di Blanc possono anche giungere a contenere fino a 25-30 piante per metro quadrato, quasi sempre di specie differenti. I vegetali prescelti generalmente sono specie epifite (felci, muschi, ecc.) provenienti da ogni parte del mondo, che il botanico ed i suoi collaboratori compongono di volta in volta in modo artigianale, collocando ogni pianta manualmente in parete (Fig.V.12). Visto l'altissimo numero di specie utilizzato nei muri vegetali sarebbe impossibile fornire un elenco generalizzato di piante impiegabili, perciò ci si limita in questa sede a declinare solo alcuni esempi: *Kerria*, *Spirea*, *Sedum spectabile*, *Buxus sempervirens*, *Ligularia*, *Begonia*, muschi.

Il vero elemento d'innovazione del brevetto qui descritto risiede però nel substrato: esso è composto da un doppio strato di feltro inorganico in poliammide sintetica (3+3 mm), nel quale vengono ricavate delle sacche per l'alloggio delle radici dei vegetali. La superficie esterna del feltro risulta perciò completamente pervasa sia in altezza che in larghezza da un certo numero di sacche, dove le piante verranno collocate una ad una in ogni nicchia così ricavata: col trascorrere del tempo i vegetali accresceranno i propri apparati radicali, invadendo ed aggrappando sulla superficie del feltro fino ad attraversarlo completamente. Si perverrà così, dopo un certo lasso di tempo, ad una totale

⁶ All'interno della disciplina dell'agronomia il termine *substrato* indica la superficie su cui vive una pianta. Esso normalmente consiste nella composizione di uno o più materiali organici (ad esempio terreno naturale, torba, ecc.) o inorganici (roccia, argilla espansa, feltro, fibra di vetro o di ceramica, ecc.) adeguatamente miscelati a seconda delle specifiche caratteristiche delle specie vegetali che vi dovranno insistere.

⁷ Le relazioni *intraspecifiche* interessano comunità vegetali della stessa specie, mentre quelle *interspecifiche* si riferiscono a specie diverse all'interno del medesimo appezzamento.

integrazione fra sistema vegetale e strutture architettoniche (Fig.V.3). Il feltro che compone il substrato assolve ottimamente la propria funzione, in quanto abbina discreta capacità di ritenzione idrica a un peso contenuto.



Fig.V.3 – Patrick Blanc, due esempi di *Mur Vegetal*: dettaglio del substrato d’impianto ottenuto con un doppio feltro in poliammide sintetica. Nell’immagine di sinistra è rappresentato il *Caixa Forum* di Madrid poco dopo l’inaugurazione avvenuta nel 2007; a destra è invece raffigurato l’*Athenaeum Hotel* di Londra dopo circa due anni dal completamento. In quest’ultima sono ben visibili i fusti delle piante e le radici del vegetale (in colore chiaro) che si integrano completamente alla superficie del feltro, penetrandolo ed attraversandolo in tutte le direzioni. A destra si può notare la conformazione delle sacche per l’alloggio dei vegetali, e la loro scansione spaziale. Confrontando le due foto è visibile come, col trascorrere del tempo, le colonie vegetali tendano a invadere la superficie del substrato sintetico, naturalizzandolo. (Fonte: Valeria M. Rocco)

Il substrato inorganico viene costantemente mantenuto umido da un impianto automatizzato di fertirrigazione⁸ che agisce più volte al giorno (a seconda delle esigenze delle piante e della stagionalità), ed è composto da un certo numero di tubi orizzontali equidistanti in altezza (dai 30 ai 50 cm in funzione delle specificità di progetto) e contenuti tra i due feltri, che percorrono tutto lo sviluppo della parete: tali tubi irrigano il substrato, all’interno del quale la soluzione idrosalina⁹ scende per percolazione imbevendo completamente la superficie del feltro. Ne consegue che una parete a verde così realizzata sia costantemente pervasa da un’abbondante quantità di soluzione idrosalina che serve a fornire acqua e nutrimento alle piante ivi contenute: il substrato è quindi costantemente umido. Alla base di ogni parete a verde è presente una grondaia, che assolve al compito di raccogliere e incanalare il liquido in eccesso non trattenuto dal feltro o non assorbito dalle piante: a quel punto tale liquido pregiato (in quanto contenente sali e altre sostanze nutritive per l’apparato vegetale) potrà essere ri-utilizzato o convogliato verso il normale sistema di smaltimento fognario.

⁸ Si rimanda al paragrafo V.2.2.6.1 per la descrizione del funzionamento delle coltivazioni *fuori suolo*.

⁹ La soluzione idrosalina consiste in un particolare liquido (acqua + sostanze nutritive) che funge da nutrimento alle piante.

L'apparato, composto da impianto vegetale, feltri in poliammide e sistema d'irrigazione, è collocato su un geotessuto in polipropilene a sua volta adagiato su dei pannelli in polivinilcloruro (PVC) espanso dello spessore di 1,5 cm: l'intera stratigrafia composta da poliammide e geotessuto è fissata meccanicamente allo strato polimerico retrostante; la funzione del geotessuto è quella di migliorare l'aderenza fra i due strati che lo inglobano, in modo da diminuire le criticità legate a eventuali cedimenti del feltro che comporterebbero onerosi interventi di manutenzione straordinaria.

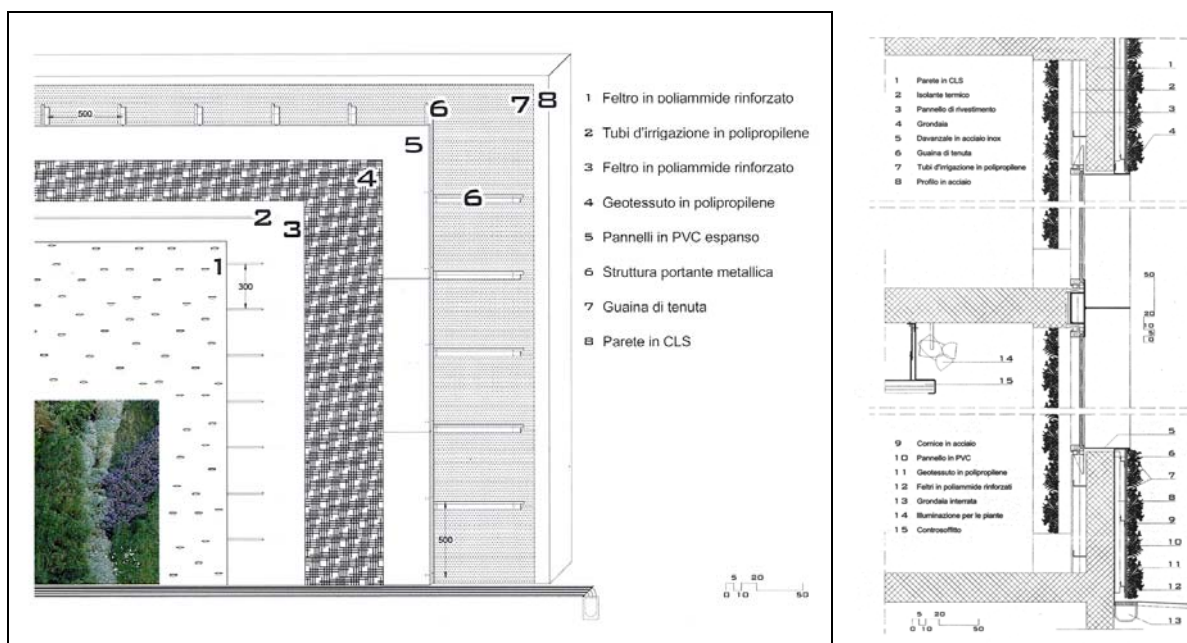


Fig.V.4 – Patrick Blanc, *Mur Vegetal* presso il *Musée du Quai Branly*: disegni di dettaglio raffiguranti la tecnologia costruttiva. A sinistra un esploso frontale indicante la successione stratigrafica del *Mur Vegetal*; a destra è riportata una sezione trasversale. Come visibile dalla sezione, in tale edificio la chiusura è vegetata sia sulla facciata esterna che su quella interna, mediante l'impiego della stessa successione stratigrafica. (Rielaborazione da: MUSACCHIO, ANTONIO, “Il verde come elemento di chiusura”, in bibl., p.183 e p.199)

Il pacchetto così formato è sorretto da un'intelaiatura metallica in acciaio dello spessore complessivo di qualche centimetro, che funge da sottosistema di supporto all'apparato vegetato e forma un'intercapedine nella quale la condensa interstiziale che potrebbe venirsi a formare dietro il PVC possa evaporare liberamente (Fig.V.4). Vista la continuità superficiale creata dalla presenza del feltro, e la possibilità di lasciare delle griglie alla base e alla sommità della parete dove l'aria possa liberamente penetrare all'interno dell'intercapedine, il sistema ideato da Blanc è assimilabile ad una facciata ventilata a giunti chiusi.

La succitata e continuativa presenza idrica nel substrato d'impianto potrebbe condurre a delle problematiche per gli strati retrostanti della parete quindi, per aumentare la sicurezza della tenuta idrica nei confronti della chiusura ospitante, è consigliabile l'interposizione di una barriera impermeabile nello spazio retrostante al graticcio metallico di supporto: tale superficie di tenuta idrica è composta da una membrana impermeabilizzante che serve a bloccare il passaggio di umidità verso i rimanenti strati della chiusura edilizia (chiusura che ad esempio, nel caso del *Musée du Quai Branly*, è realizzata in calcestruzzo armato gettato in opera).

Il sistema del *Mur Vegetal*, non prevedendo un substrato organico a matrice terrosa risulta particolarmente leggero, giungendo a pesare, allo stato di saturazione idrica e una volta che i vegetali abbiano raggiunto un completo sviluppo, circa 30 Kg/m². Inoltre, con il trascorrere del tempo, le piante tendono a prendere il sopravvento sugli strati inorganici della parete vegetata, colonizzando il sistema e giungendo ad una particolare forma di ibridazione fra natura e artificio. Ciò è dovuto alla continuativa presenza di umidità che porta l'intera superficie del sistema tecnologico ad evolvere nel tempo. Evoluzione caratterizzata dalla colonizzazione da parte di muschi e microrganismi o dalla crescita delle specie presenti in parete, fino al raggiungimento di uno stato di totale – o quasi – naturalizzazione superficiale del sistema, che inizierà ad assomigliare a un ecosistema naturale vero e proprio: l'evoluzione sia delle specie vegetali presenti (che nei loro continui avvicendamenti annuali o stagionali cedono e depositano sostanze organiche) che dello strato naturale che si viene così a creare sulla superficie del feltro, divengono a loro volta substrato fertile per la proliferazione delle specie presenti o la colonizzazione di altre, esattamente come accade nella foresta tropicale.

Le specie più adatte alla collocazione in queste particolari tipologie di parete – complice anche la scarsa portanza del feltro – sono quelle a struttura muscinale, erbacea e piccolo arbustiva; inoltre, conseguentemente alla già citata esperienza in materia di Blanc, viene solitamente impiegata nelle sue installazioni un'elevatissima varietà specifica proveniente da tutti i continenti del pianeta. Grande varietà vegetale che, per la verità, va a scapito delle possibilità d'impiego di specie indigene o naturalizzate seppur queste ultime, come visto nel precedente capitolo, risulterebbero sempre consigliabili e maggiormente efficienti dal punto di vista dello sfruttamento delle risorse.



Fig.V.5 – A sinistra. Patrick Blanc, installazione presso il *Musée du Quai Branly*. Dettaglio dell'attacco a terra. Alla base del muro è stata realizzato un pozzetto di raccolta, in modo da poter re-immettere in circolazione il liquido fertirrigante non utilizzato dall'apparato vegetale. (Fonte: MUSACCHIO, ANTONIO, "Il verde come elemento di chiusura", in bibl., p.187)

Fig.V.6 – A destra. Patrick Blanc, installazione al *Caixa Forum*. Il raccordo con la superficie orizzontale è in questo caso eseguito in modo diverso dal caso precedente: non è infatti presente alcun sistema di recupero dei liquidi in eccesso, ma alla base della parete è stato eseguito uno zoccolo contenente materiale inerte. (Fonte: Valeria M. Rocco)

Altro aspetto interessante è la modalità operativa del botanico francese, che gli permette di essere appunto considerato l'inventore di quella particolare sottotipologia di chiusure vegetate che, in

apertura del presente lavoro¹⁰, è stata declinata come *muri vegetali*. Blanc opera in modo distante dalle prassi di standardizzazione e organizzazione razionale del lavoro proprie del settore della produzione, dimostrando appieno la sua estrazione culturale proveniente dalle discipline botaniche. Infatti, le sue realizzazioni – anche se sarebbe forse il caso di definirle installazioni o composizioni vegetali – vengono eseguite tutte manualmente, seguendo dei disegni di progetto realizzati a mano dallo stesso Blanc. Partendo quindi da un tale *concept*, egli schematizza delle composizioni vegetali sempre differenti, quindi uniche, che poi concretizza collocando manualmente ogni pianta nel punto esatto indicato dallo schizzo di progetto, facendosi aiutare dai collaboratori del suo studio. Tale prassi operativa, quasi artigianale o “artistica”, differenzia il suo lavoro da tutto il restante mondo della produzione industriale legata all’edilizia, che si basa su principi come standardizzazione di parti o sistemi, razionalizzazione delle filiere produttive, schematizzazione e semplificazione di processo.

Il sistema del *Mur Vegetal* è quindi tutto sommato abbastanza semplice sotto l’aspetto tecnologico e costruttivo, ma molto complesso per quel che concerne la realizzazione e gestione del sistema vegetale. Ciò a causa soprattutto dell’altissimo numero di specie coinvolte e che dovranno, per forza di cose, convivere assieme in parete per lungo tempo. Per tali motivi ogni *Mur Vegetal* risulta delicato e costoso. Delicato in quanto una così alta varietà vegetale richiede un’attenzione costante nel controllo delle piante, controbilanciata da altrettanta manutenzione¹¹ in fase gestionale; e costoso perché tale sistema si attesta su un prezzo medio indicabile con 600-700 Euro per metro quadrato¹².



Fig.V.7 – A sinistra. Patrick Blanc: muro vegetale presso l’*Athenaeum Hotel*, Londra, 2009. In seguito ad alcuni lavori di risanamento edilizio, fu chiesto al botanico francese di intervenire sulle facciate esterne: l’installazione vegetale ha in questo caso interessato la soluzione angolare del prestigioso albergo e la pensilina d’ingresso, mediante l’utilizzo di 260 specie vegetali differenti. (Fonte: Valeria M. Rocco)

Fig.V.8 – A destra. Carloratti Associati, Patrick Blanc: *Trussardi Café*, Milano, 2008. In seguito ai lavori di ristrutturazione dell’edificio, Blanc ha operato nella parte alta della volumetria in ampliamento. Si veda la contestuale Scheda Progetto al paragrafo V.3.

¹⁰ Si rimanda, a tal proposito, alla visione del paragrafo II.5

¹¹ La manutenzione vegetale ordinaria dichiarata da Blanc è di tre interventi annui dovuti a controllo e potatura del sistema vegetale.

¹² Per la verità, lo stesso Blanc in un’intervista risalente a poco tempo fa dichiarava come prezzo al m² per il Mur Vegetal la cifra di 400-500 €/m² (Cfr. ANDREINI, LAURA, “Intervista a Patrick Blanc”, *Area*, n.89, in bibl.); in base ai dati accumulati durante il presente percorso di ricerca è però possibile affermare che le dichiarazioni rilasciate da Blanc in quella sede appaiono leggermente sottodimensionante.

Il *Mur Vegetal* ha avuto, come detto, lustro e risonanza a livello mondiale e Blanc è oggi largamente riconosciuto come l'inventore della parete a verde. Seppur tale affermazione, come visto, non sia propriamente vera, è comunque fuor di dubbio che egli abbia fatto tantissimo per la diffusione del sistema oggetto di ricerca. Tale fama ha fatto sì che le sue opere vengano oggi richieste in ogni parte del mondo, sia alla piccola scala che a quella architettonica, obbligandolo ad aumentare le dimensioni e il personale della propria agenzia che si occupa esclusivamente di progettare e realizzare muri vegetali. Le opere di Blanc sono inoltre sempre più richieste da architetti di fama internazionale¹³, e le sue installazioni vegetali oltre ad aumentare nel numero e nella diffusione aumentano anche nella dimensione: se fino a pochi anni fa i suoi muri vegetali si manifestavano come installazioni indoor o di piccole dimensioni, da qualche anno a questa parte essi iniziano ad occupare la totalità di facciate edilizie o addirittura interi quartieri¹⁴.

V.1.2. Il “dopo” *Mur Vegetal*. Il settore delle costruzioni ha recepito il messaggio?

Il brevetto del *Mur Vegetal* ha riscosso successo e diffusione talmente elevati che oggi – differentemente da quel che accadeva solo poco più di due anni fa¹⁵ – praticamente tutti quelli che hanno a che fare con l'architettura sanno cosa sia una parete a verde, e tutti la riconoscono oltre che come elemento dalle elevatissime qualità estetiche, anche come un apparato tecnologico portatore di – reale o presunta – sostenibilità. Infatti, se è pur vero che oggettivamente tale sistema tecnologico possa essere individuato come elemento *verde*, è altrettanto indiscutibile – come dimostrato in più parti all'interno del presente lavoro – che esso, soprattutto nelle sue declinazioni più strutturate e complesse, si porti dietro anche delle necessità energetiche elevate¹⁶.

La conseguenza diretta della diffusione progettuale e d'immagine del sistema ideato da Blanc è quella di un'esplosione della domanda a livello mondiale; aumento di domanda controbilanciato – ma sarebbe forse più appropriato dire *superata* – da un'altrettanto accentuata offerta mercantile. Il mondo della produzione si sta infatti muovendo con grande velocità nel tentativo di colmare tale aumento di richiesta, provando ad intaccare quello che fino a solo poco tempo fa era una sorta di monopolio del *Mur Vegetal*. In altre parole si assiste ad un deciso tentativo da parte della produzione edilizia di creare un'alternativa industriale a quella che è la modalità operativa semi-artigianale del ricercatore francese. Ciò avviene secondo due modalità differenti, in funzione delle caratteristiche di implementazione industriale dei sistemi per l'inverdimento parietale.

La prima consiste in un'emulazione più o meno accentuata della tecnologia del *Mur Vegetal*, in quanto apparato che comunque gode di ormai quasi un trentennio di sperimentazione e rodaggio. Quindi accade che molte aziende abbiano iniziato a realizzare dei sistemi che sia nelle stratigrafie tecnologiche che nelle modalità d'impianto sono del tutto simili a quelli del *Mur Vegetal* (Fig.V.9). Tali

¹³ Se è sicuramente possibile affermare che la sua fama sia dovuta in parte a progettisti della levatura di Jean Nouvel o Renzo Piano che hanno collaborato con lui fin dagli anni '90, è altrettanto vero che oggi egli sia molto richiesto anche da molti altri studi d'architettura di prim'ordine, come Herzog & de Meuron o Kazuyo Sejima & Ryue Nishizawa.

¹⁴ In un'intervista risalente alla fine del 2006 Blanc dichiarò di stare lavorando su un quartiere di Saigon dove le sue installazioni avrebbero presenziato «in ogni zona: sugli edifici, nelle aree tra i blocchi costruiti e i giardini, sui ponti» (Fonte: ANDREINI, LAURA, op. cit., p.173). Ad oggi, 13 dicembre 2010, tale quartiere non è comunque stato ancora realizzato.

¹⁵ Periodo in cui è iniziata la presente attività di ricerca.

¹⁶ Cfr.V.4

aziende, infatti, nel tentativo di mascherare la grande affinità dei propri sistemi col “riferimento culturale” da cui prendono spunto, agiscono solitamente mediante alcune piccole variazioni materiche o sottosistemiche (ad esempio riguardanti il feltro per la formazione del substrato o le modalità di ancoraggio alla chiusura edilizia) ma continuando ad operare con una tecnologia simile a quella descritta nel paragrafo precedente. Se tale strategia industriale possa comunque contare sul fatto positivo di basarsi su un sistema assodato e che oggettivamente funziona, bisogna comunque notare che – quasi sempre – la figura che agisce a nome di tali aziende sull'apparato vegetale di chiusura non possiede le stesse conoscenze o una perizia tecnica eguale a quella dello scienziato francese.

Modalità differente è quella legata all'introduzione sul mercato di sistemi e brevetti inediti (più o meno) industrializzati (Fig.V.10). Avviene così che nell'ultimo periodo sia possibile assistere ad un continuo fiorire sui mercati di un elevatissimo numero di sistemi per la realizzazione del Verde Verticale. Fatto sicuramente positivo, anche se bisogna in questo caso evidenziare come le varie nascenti soluzioni non sempre si rivelino all'altezza, oppure si riferiscano a settori di sbocco commerciale molto ristretti e confinati, quindi difficilmente competitivi con la visibilità del *Mur Vegetal*.



Fig.V.9 – A sinistra: *Optima Verde Verticale*, prodotto dall'azienda *Optima Giardini Pensili*. La somiglianza tra il sistema qui raffigurato e il *Mur Vegetal* è notevole, sia nella realizzazione del substrato che dei sottosistemi destinati a supportare l'apparato d'inverdimento. La terra visibile all'interno della sacca serve solamente per sopperire ai primi periodi d'impianto: una volta che le radici abbiano attecchito sul feltro, e che quindi potranno accedere ai nutrienti prodotti dall'impianto di fertirrigazione, essa non sarà più necessaria.

Fig.V.10 – A destra: *Reviwall*, prodotto da *Reviplant*. Seppur il substrato d'impianto sia composto da sacche in feltro sintetico simile a quello utilizzato da Blanc, la restante parte del sistema è molto differente. Esso è infatti composto da strutture modulari in profilati di alluminio (cm 40x50x3), che andranno giustapposte verticalmente e orizzontalmente sulla superficie della parete da inverdire. Anche la scansione modulare delle piante risulta più rigida che nel *Mur Vegetal*, potendo *Reviwall* contenere solo 6 piante per ogni modulo.

È perciò possibile affermare che oggigiorno sia in atto, all'interno del settore delle costruzioni, una elevata attività di ricerca e sviluppo sul tema delle tecnologie per l'inverdimento parietale; ricerca

incentrata sull'ideazione e implementazione di sistemi per la realizzazione sia di rivestimenti a verde che di chiusure verticali vegetate. L'industria, con grande frequenza, immette sul mercato nuovi componenti e sistemi, talvolta interessanti e molto performanti ma altre volte di scarsa qualità, col solo obiettivo di inserirsi all'interno di possibili lacune di mercato, ma senza che tali nuovi prodotti abbiano avuto il tempo di essere adeguatamente testati in condizioni d'uso continuativo o prolungato: fatto che molto spesso ne significa il totale fallimento. Inoltre il medesimo discorso è applicabile anche col caso delle intrinseche caratteristiche prestazionali¹⁷: come precedentemente menzionato, tali nascenti sistemi vengono di sovente presentati come delle tecnologie fortemente sostenibili esclusivamente in forza del fatto che inglobino un apparato a verde in superficie, ma senza che nella realtà si sia fatto molto per comprenderne le effettive proprietà prestazionali. Molti di essi, grazie alla forte richiesta di mercato ed alle attività di marketing aziendale, iniziano perciò ad espandersi sia dal punto di vista mercantile che all'interno di applicazioni concrete in tutto il mondo; ma ciò accade in modo totalmente empirico, senza che se ne conoscano gli effettivi comportamenti prestazionali qualitativi o quantitativi: prestazioni che, in linea con quelli che sono gli sviluppi più contemporanei delle tematiche legate alla sostenibilità in edilizia, potranno essere declinate sia come efficienza energetica di prodotto, che relativamente al dispendio di risorse connesso alla loro realizzazione o gestione durante l'intero ciclo di vita utile.

Ulteriore fatto degno di nota ma abbastanza inedito in campo architettonico, è quello della profonda interdisciplinarietà che interessa queste tecnologie: tali sistemi di facciata rientrano sì all'interno della disciplina architettonica, ma si incrociano fortemente – e ovviamente – con una serie di problematiche botaniche talvolta anche molto complesse o portate all'estremo¹⁸. Accade quindi che l'industria edilizia si trovi costretta ad operare in un campo inedito, ossia quello del regno vegetale: tale situazione porta spesso alla nascita di consorzi fra aziende, con l'obiettivo della cooperazione congiunta volta alla concretizzazione di sistemi ibridati fra tecnologia e agronomia. Succede perciò sempre più di sovente che tali inediti sistemi tecnologici per l'integrazione fra vegetazione e architettura siano messi a punto ed implementati da più aziende contemporaneamente (ad esempio produttori di facciate, vivaisti, fabbricanti di sistemi d'irrigazione, commercianti di substrati, ecc.) in modo congiunto, ed ognuna in base alla propria esperienza.

Questi gli schematismi con cui l'industria dell'edilizia sta provando a colmare le numerose nicchie di mercato che ormai quasi giornalmente si vengono a creare. Modalità forse per certi versi discutibili, ma per alcuni altri sicuramente interessanti; prassi sempre più ricorrenti che stanno portando questo comparto del settore delle facciate edilizie verso uno sviluppo molto accentuato e totalmente inedito, attraverso la raffinazione di un sistema ancora molto giovane e che perciò potrebbe riservare risvolti tecnici e architettonici interessanti.

V.2. La progettazione di chiusure verticali a verde

Nel presente paragrafo si analizzano le componenti tecnologiche e stratigrafiche che rendono possibili le funzionalità di una parete a verde, mettendone in evidenza requisiti ed esigenze funzionali, unitamente all'indicazione di regole progettuali volte alla realizzazione di inverdimenti parietali *di*

¹⁷ Problematica che interessa pienamente anche il brevetto di Blanc.

¹⁸ Estremizzate in quanto, come già enunciato nel capitolo precedente, la condizione d'impianto in verticale non è quasi mai quella naturale per le piante.

ultima generazione. Seppur fra le molteplici sperimentazioni che attualmente stanno vedendo la luce con elevata frequenza esistano molteplici sistemi dalla composizione e dal funzionamento diversificato, le varie componentistiche che li generano sono ascrivibili ad una serie di macrogruppi o classi individuabili mediante definizioni e funzionamenti generalizzati. Ciò significa che seppur sia possibile variare di volta in volta, nella pratica costruttiva, quelle che sono le caratteristiche materiche o dimensionali dei vari componenti e apparati impiegabili, è altrettanto vero che le funzioni principali cui essi debbano assolvere sono sempre le stesse ed (quasi sempre) è costante anche la loro successione stratigrafica nello spazio.

La tecnica adottata nel presente paragrafo sarà quella della scomposizione del *metasistema*, in modo da comprendere appieno peculiarità e criticità dei sistemi tecnologici di chiusura verticale vegetata. Verranno quindi via via indicate le stratigrafie tipiche che compongono tali apparati tecnologici, definendone proprietà e requisiti essenziali, in modo da comprendere e dimostrare quali siano le loro funzioni principali ed i contestuali aspetti prestazionali. Inoltre, a titolo prettamente operativo, si specifica che seppur tali funzioni conseguentemente declinate possano essere svolte mediante una molteplicità di combinazioni tecnologiche e materiche differenti – e nella gran parte dei casi non ancora del tutto esplorate – si riporteranno di volta in volta ove possibile, a titolo puramente esemplificativo¹⁹, alcuni esempi pratici che evidenzino come alcuni progettisti o produttori risolvano il dettaglio.

L'ultima premessa riguarda la natura stessa di quella *Unità tecnologica* che la normativa UNI²⁰ definisce come *Chiusura verticale*. Infatti, considerate le tipicità costruttive che le caratterizzano, risulta evidente come tali sistemi tecnologici non possano in nessun caso venire integrati alle chiusure trasparenti, ma si adattino proficuamente solo alle pareti opache. Inoltre, visto che la loro particolare conformazione stratigrafica e tecnologica permetterebbe anche di considerarle come dei sistemi tecnologici applicabili a chiusure sia di nuova edificazione che pre-esistenti, la seguente analisi verterà esclusivamente sulle stratigrafie inerenti all'apparato *a verde*, tralasciando invece tutte quelle che sono le proprietà costruttive e prestazionali caratteristiche di una qualsiasi chiusura edilizia (ad esempio struttura portante, isolamento termoacustico, ecc.) in quanto esse, risultando ormai da lungo tempo interessate da specifica normazione tecnica, dovranno essere garantite a priori. Ciò significa che le esigenze strutturali, tecnologiche, energetiche e prestazionali relative ad una qualsiasi *Parete perimetrale verticale*²¹ verranno qui tralasciate, in quanto esse si considerano implicitamente richieste per legge e dovranno perciò essere assolte comunque, e trovare opportuna risposta sia che vengano *finite a verde* che mediante altre tipologie di facciata²².

¹⁹ Quindi senza la volontà di proporre gli esempi riportati come delle soluzioni definitive, ma piuttosto con l'intento di dimostrare soltanto una fra le varie scelte possibili.

²⁰ UNI 8290-1:1981, *Edilizia residenziale – Sistema Tecnologico – Classificazione e terminologia*.

²¹ UNI 8290-1:1981, *ibidem*.

²² La presente sezione del capitolo (paragrafi V.2.1 e V.2.2) è stata eseguita prendendo spunto, sia come traccia che come organizzazione dei contenuti, dalla normativa UNI 11235:2007 (*Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione, il controllo e la manutenzione di coperture a verde*), in quanto le tecnologie per l'inverdimento di chiusure superiori o verticali sono relativamente affini; inoltre, come precedentemente teorizzato all'interno della ricerca (Cfr. capitolo II), si ritiene che la tecnologia delle chiusure verticali vegetate derivi – almeno in parte – dalle conoscenze maturate intorno alle coperture a verde. Infatti, seppur le tecnologie per l'inverdimento parietale presentino una stratigrafia meno complessa di quella tipizzata per le coperture (a causa della particolare conformazione geometrica e spaziale di queste ultime), i requisiti essenziali e prestazionali sono in alcuni casi del tutto affini.

V.2.1. Agenti e requisiti

Gli agenti che interessano un sistema di chiusura verticale vegetata sono quelli di seguito elencati: ad essi il progettista dovrà prestare particolare attenzione in fase progettuale, in modo da giungere a realizzare un sistema tecnologico che possa rispondere in modo adeguato alle sollecitazioni ambientali o derivanti dall'utilizzo della parete edilizia. Tali agenti sono i seguenti:

- idrici: relativi alle idrometeore di precipitazione o al necessario apporto idrico artificialmente fornito alle piante;
- biologici: in dipendenza dell'azione umana, vegetale o animale che possa agire sulla parete mediante differenti modalità;
- chimici: inquinanti fisici, gassosi o di altra natura che accidentalmente o conseguentemente all'utilizzo della chiusura possano interessarla;
- carichi permanenti e sovraccarichi variabili: derivanti dal tipo di tecnologia costruttiva della parete e dall'azione di pioggia, neve e vento;
- termici, connessi al procedimento costruttivo e/o alla manutenzione: relativi ad utilizzo, costruzione e gestione di un manufatto architettonico;
- radiativi: relativi all'esposizione al soleggiamento diretto ed agli effetti climatici tipici del contesto d'impianto.

I principali requisiti che debbano essere assicurati dagli elementi o stratificazioni di una chiusura verticale a verde sono²³:

- capacità agronomica²⁴: in quanto l'elemento più importante e maggiormente delicato del sistema oggetto di studio è la sua componente vegetale;
- capacità di accumulo idrico, di aerazione dello strato drenante e di quello colturale: funzioni relative alla componente agronomica, che nel sistema tecnologico in esame vengono svolte dal substrato, di qualunque natura esso sia;
- resistenza agli attacchi biologici: inerente sia all'apparato vegetale che a tutti i componenti o sottosistemi della stratificazione tecnologica di chiusura.

V.2.2. Gli elementi funzionali che compongono il sub-sistema

Un sub-sistema edilizio integrato, come quello oggetto di studio, è composto dall'aggregazione di alcuni elementi architettonici o tecnologici invariabili (cioè sempre presenti nella globalità del pacchetto tecnologico di chiusura) e da alcuni altri variabili, che potranno essere introdotti a seconda di esigenze particolari, quindi funzionali o conseguenti a specifiche esigenze del sottosistema stesso. All'interno di un particolare sistema tecnologico di chiusura come quello qui studiato, sempre ed

²³ Nel presente testo non sono indicati i requisiti caratteristici delle chiusure verticali in quanto, come detto, si considerano implicitamente richiesti.

²⁴ La capacità agronomica è «l'attitudine di un sistema e/o di un suo componente a favorire e mantenere nel tempo le condizioni agronomiche necessarie al corretto sviluppo della vegetazione in funzione del contesto». UNI 11235:2007, p.3

esclusivamente assemblato a secco, gli elementi invariabili potranno essere definiti come elementi *primari*, mentre gli altri vengono identificati come *secondari* al fine di palesarne una contestuale subordinazione tecnologica. Gli apparati primari, in quanto fondamentali per la vita dei sistemi qui esplicitati, verranno elencati e descritti voce per voce, mentre gli altri, facendo parte della normale tecnologia di una qualsiasi chiusura verticale, verranno solamente elencati.

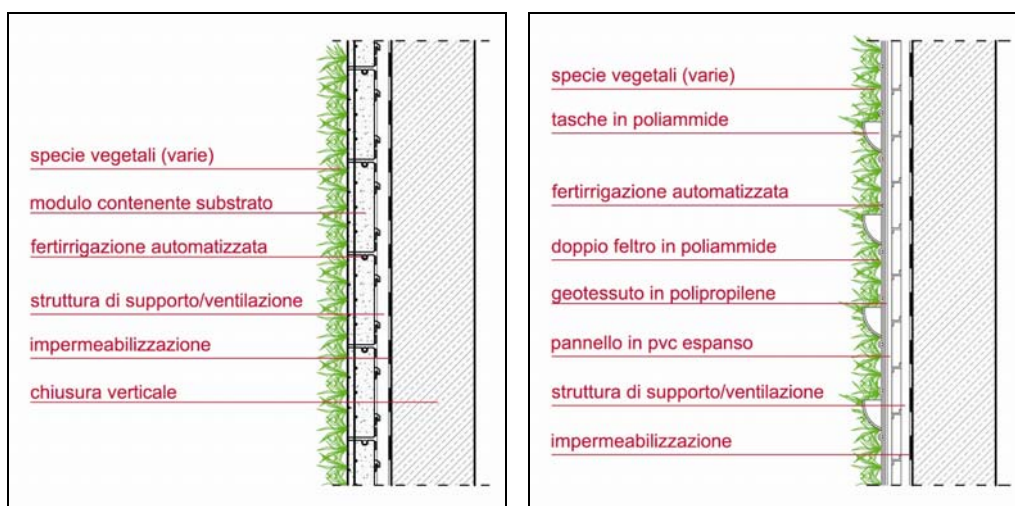


Fig.V.11 – Confronto tecnologico-stratigrafico tra chiusure verticali vegetate (a sinistra) e muri vegetali. Nell'immagine di sinistra il substrato organico è collocato in elementi industrializzati scatolari e modulari. Nel disegno a destra il substrato inorganico è composto da un doppio strato di feltro sintetico. Si specifica che tali due tipologie, in base alla definizione teorizzata nel secondo capitolo, fanno parte entrambe della categoria delle chiusure verticali vegetate: la loro differenza fondamentale sta nella modalità di realizzazione dello strato vegetale.

Gli elementi o strati primari di una chiusura verticale vegetata sono:

- elemento portante (esistendo specifica normazione relativa al dimensionamento strutturale, la definizione dell'elemento portante non viene trattata nella presente ricerca);
- strato di vegetazione;
- strato colturale;
- elemento di protezione dall'azione delle radici;
- elemento di tenuta all'acqua;
- tecnologie di supporto e mediazione tra il sistema a verde e la rimanente parte della chiusura edilizia;
- impianto d'irrigazione automatizzato.

Si precisa inoltre che nella normativa UNI 11235:2007 sono presenti, all'interno del gruppo relativo agli elementi primari delle coperture a verde, anche i seguenti strati: elemento di protezione meccanica, elemento drenante, elemento di accumulo idrico. Essi vengono in quella sede declinati e descritti separatamente, seppur anche all'interno della normativa stessa si ammetta che tali funzioni vengono spesso demandate ad altre stratificazioni. Lo stesso accade anche con le chiusure vegetate che, come detto, presentano una complessità tecnologica globale meno accentuata rispetto a quella delle coperture a verde.

Nelle chiusure verticali vegetate l'elemento di protezione meccanica non serve, visto che non accade mai che avvenga un contatto diretto fra la membrana impermeabilizzante e la rimanente stratificazione tecnologica.

L'elemento di accumulo idrico si rivelerebbe poco utile in quanto non risulta possibile – tranne in alcuni casi molto particolari²⁵ – pensare di realizzare una parete a verde senza la presenza di un impianto d'irrigazione automatizzato: considerazione dovuta sia alla particolare conformazione geometrica degli elementi tecnologici qui studiati (la conformazione verticale risente molto dell'attrazione gravitazionale che tende a far percolare verso il basso il volume d'acqua in breve tempo), che agli esigui spessori di substrato solitamente presenti. Le chiusure verticali, infatti, non potranno mai presentare spessori di substrato elevati, in quanto le ripercussioni sul peso totale del pacchetto tecnologico sarebbero eccessive; oltre a ciò, un volume di substrato troppo accentuato avrebbe dirette conseguenze sia sulle dimensioni raggiungibili dal pacchetto d'inverdimento – un peso maggiore si traduce, a parità di superficie vegetata, in un aumento dei supporti strutturali – che sul costo globale della parete (dovuto anche in questo caso alla maggiorazione strutturale).

L'elemento drenante risulta superfluo nel caso delle facciate architettoniche. La conformazione verticale contribuisce a drenare agevolmente l'acqua accumulatasi nel substrato, quindi il rischio di un ristagno idrico – che qualora prolungato risulterebbe deleterio per l'apparato vegetale provocandone l'asfissia – non viene corso. Anche le argomentazioni relative all'esiguità di substrato precedentemente citate contribuiscono a non trattenere per lungo tempo la riserva idrica.

Gli elementi o strati secondari sono:

- strato di barriera o schermo al vapore;
- strato termoisolante;
- strato di diffusione e/o equalizzazione delle pressioni di vapore;
- strato di separazione e/o scorrimento (per l'assorbimento delle dilatazioni differenziali tra materiali di origine diversa);

V.2.2.1. Lo strato vegetale

Il requisito generale è quello di riuscire a mantenere il più a lungo possibile uno stato vegetativo ottimale sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo, in modo da poter continuamente garantire all'edificio le funzionalità (estetiche, climatiche, microclimatiche e funzionali) che hanno condotto alla scelta progettuale di utilizzare la specifica tecnologia oggetto di ricerca; considerando nello specifico tale *scelta* sia a livello generale – relativa quindi alla preferenza di impiegare una parete a verde nel progetto – che specifica – cioè relativamente alla tipologia delle specie vegetali impiegate. La riuscita ottimale dello strato d'inverdimento dipende dalla sinergia intercorrente fra le strategie progettuali e di realizzazione che interessano il substrato, la componente vegetale e tutti i relativi sottosistemi d'irrigazione, nutrimento delle piante e drenaggio degli strati di coltivo.

Il contesto climatico e territoriale sono le condizioni che influenzano la scelta e le peculiarità delle specie vegetali da impiegare: a tal proposito, e riguardo alle più appropriate modalità di selezione e

²⁵ Si veda a tal proposito la Fig.II.96 all'interno del secondo capitolo o l'apparato vegetale utilizzato nel caso del *Moschino Store* di Capri (Cfr. Fig.V.57).

d'impianto del sistema vegetale destinato alle chiusure edilizie, si rimanda alle considerazioni già espresse nel capitolo precedente (Cfr. IV.5 e IV.6).



Fig.V.12 – A sinistra. Fasi di realizzazione dello strato a verde del museo *Quai Branly* di Parigi: piante giovani vengono collocate in parete manualmente, quindi la soluzione d'impianto non è un pronto-effetto ma si dovrà attendere un certo lasso di tempo prima che la parete si presenti come completamente conclusa (Cfr. Fig.V.15). Si noti la differenza formale della facciata tra questa immagine e quelle di *Muri Vegetali* maturi viste in precedenza (Cfr. Fig.V.1 e Fig.V.2); inoltre, vista la modalità operativa qui raffigurata, non è certo possibile affermare che tale sistema d'impianto sia agevole né tanto meno economico. (Fonte: KALTENBACH, FRANK, "Living Walls, Vertical Gardens", in bibl., p.1457)

Fig.V.13 – A destra. Esempio d'installazione del sistema francese *Greenwall*. Esso è formato da moduli prevegetati (o da vegetare in cantiere), consistenti in gabbie metalliche preformate delle dimensioni di 60x20x8 cm e contenenti un substrato composto da *Sphagnum* (un particolare muschio proveniente dal sottobosco della Foresta Tropicale): la sua risultante formale, nel caso si opti per l'opzione prevegetata, è quindi classificabile come un *pronto-effetto*. Il tempo medio di pre-coltivazione vivaistica si attesta sui 3-5 mesi; prevegetatura che dovrà essere peraltro eseguita, in conformità con le attività biologiche tipiche delle piante, durante stagioni che favoriscano le attività vegetative, quindi primavera o estate. Il costo finale del sistema si attesta sui 220 €/m² nel caso di moduli non prevegetati, e 450-600 €/m² qualora si opti per la prevegetatura.

In merito alle modalità d'impianto si specifica che i vegetali potranno essere collocati in parete sostanzialmente tramite due modalità differenti: attraverso la diretta introduzione di piante giovani sulla superficie di substrato (Fig.V.12), oppure tramite posa di pannelli adeguatamente preformati o porzioni di substrato precoltivate altrove, detti anche *smart-green* (Fig.V.13). In funzione dell'una o dell'altra delle modalità appena descritte varieranno anche le peculiarità formali e funzionali della chiusura vegetata durante i primi periodi successivi alla conclusione del cantiere: nel secondo caso si potrà contare su una superficie pronto-effetto, quindi la parete si presenterà completamente vegetata fin da subito²⁶, mentre nell'altra casistica si dovrà attendere una certa quantità di tempo prima che

²⁶ La preparazione del sistema in serra o in vivaio permette anche di controllare meglio le piante durante le prime fasi di sviluppo biologico, che notoriamente sono quelle più rischiose: giungere in cantiere con dei vegetali maturi consente di evitare buona parte delle problematiche legate alla vulnerabilità che qualsiasi organismo biologico, nelle prime fasi di vita, tipicamente presenta.

l'immagine finale del manufatto – e perciò di conseguenza anche le funzionalità della parete a verde – possa presentare il risultato desiderato.

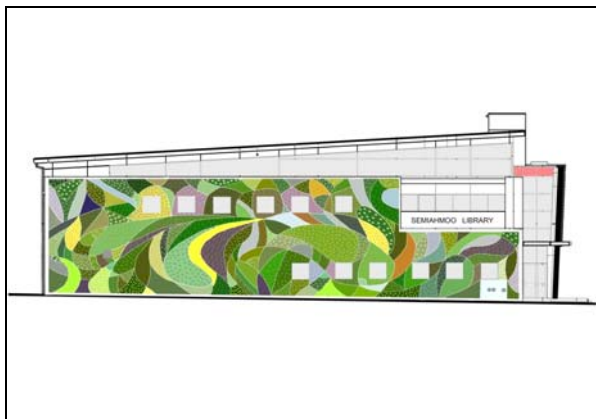


Fig.V.14 – A sinistra. Patrick Poiraud, muro vegetale presso la biblioteca cittadina di Semiahmoo (Canada), 2010: esempio di elaborato progettuale indicante la collocazione precisa delle varie specie vegetali ed il loro disegno in parete. Anche questa tecnica di elaborazione progettuale paga un grosso debito a Patrick Blanc. (Fonte: <http://www.lushe.com.au>)

Fig.V.15 – A destra. Patrick Poiraud, muro vegetale presso la biblioteca cittadina, Semiahmoo (Canada), 2010. Una volta eseguito il progetto formale della parete risulterà necessario realizzarlo anche nella realtà: tale operazione viene effettuata collocando manualmente sulla superficie della chiusura le varie specie prescelte, aiutandosi con mezzi meccanici e carrelli elevatori. Cfr. Fig.V.34. (Fonte: <http://www.lushe.com.au>)

V.2.2.2. Lo strato di coltura

Il requisito richiesto è il controllo della capacità agronomica²⁴. La scelta delle caratteristiche del substrato dipenderanno dal tipo di vegetazione selezionata, dalle particolarità di chiusura e dal contesto climatico di progetto.

Lo strato di coltura potrà essere organico (ad esempio substrati a matrice terrosa opportunamente progettati e miscelati – Fig.V.16 e Fig.V.17) o inorganico (feltri, sostanze minerali, fibre di varia natura, ecc. – come per gli esempi visti in apertura di capitolo), nel caso in cui si opti per l'impiego di una coltivazione *fuori suolo*²⁷. Anche lo spessore e le relative caratteristiche materiche dovranno essere adeguatamente previste e dimensionate, ancora una volta in funzione delle piante che debbano esservi ospitate: infatti, conseguentemente alla maggiore o minore dimensione media dei vegetali – relativa sia al volume della porzione aerea che a quello dell'apparato radicale della pianta, la cui sommatoria si traduce nel peso totale del vegetale – si renderanno proporzionalmente necessari maggiori o minori dosi di substrato²⁸, o comunque substrati dalle caratteristiche di resistenza²⁹ e ritenzione idrica più elevate. Questo perché in funzione delle dimensioni degli apparati

²⁷ Tale tipologia di coltivazione, presente nella maggioranza delle chiusure verticali vegetate, è descritta al paragrafo V.2.2.6.1.

²⁸ Motivo per cui, ad esempio nelle installazioni di Patrick Blanc, le dimensioni aeree dei vegetali impiegati sono sempre ridotte.

²⁹ Fusto e radici di piante collocate in verticale sono soggetti a sollecitazioni molto elevate, dovute all'attrazione gravitazionale: sollecitazioni che si ripercuotono sul substrato d'impianto, richiedendogli una resistenza maggiore.

vegetali varieranno anche, in linea di principio, le necessità idriche e nutrizionali delle piante³⁰: necessità idriche e nutritive delle specie vegetali che, come visto, sono totalmente demandate proprio ai substrati di coltivo. Le principali caratteristiche che dovranno essere richieste allo strato di coltivo in modo che esso possa presentare una corretta funzionalità, sono le seguenti³¹:

- controllo del pH (UNI EN 13037³²);
- determinazione della conducibilità elettrica (UNI EN 13038³³);
- controllo della permeabilità (DIN 18035³⁴);
- controllo della capacità di ritenzione idrica (UNI EN 13041³⁵);
- controllo della curva di ritenzione idrica (UNI EN 13041);
- controllo della fitotossicità.



Fig.V.16 – A sinistra. Sistema *G-SKY Green Wall Panels* per la realizzazione di chiusure vegetate: esploso assonometrico del pannello modulare d'inverdimento. Come visibile dal disegno, esso si compone di quattro parti: l'anima esterna quadrangolare in materiale polimerico, il substrato a sua volta contenuto in uno strato di tessuto non tessuto ignifugo e lo strato vegetale. Tale pannello viene collocato in parete tramite l'ausilio di un apposito sottosistema di supporto. (Fonte: *G-SKY*)

Fig.V.17 – A destra è possibile vedere delle foto raffiguranti lo stesso sistema di Fig.V.16. È ben visibile, nel modulo a destra sprovvisto di vegetazione, lo strato di tessuto non tessuto: esso funge sia da contenimento del substrato d'impianto che come elemento *antivento*; i fori presenti sulla sua superficie servono al posizionamento degli esemplari vegetali. (Fonte: http://zwang11.files.wordpress.com/2008/04/g-sky_green-wall_panel-copy.jpg)

³⁰ Tale concetto è comunque vero solo in linea di principio in quanto, viste le innumerevoli variabili di provenienza zonale e/o climatica che determinano le particolarità di una qualsiasi pianta, specie vegetali dalle simili caratteristiche formali o strutturali potranno anche presentare delle necessità nutrizionali differenti. Ciò è primariamente imputabile al meccanismo dell'*adattabilità* delle forme vegetali (Cfr. capitolo IV): specie provenienti da contesti storicamente più aridi o siccitosi si sono evolute adattandosi a minori disponibilità idriche presenti in loco, quindi riescono a sopravvivere in condizioni maggiormente sfavorevoli.

³¹ Il seguente elenco e i contestuali riferimenti normativi sono stati desunti da UNI 11235:2007, p.14

³² UNI EN 13037 – *Ammendanti e substrati per coltura – Determinazione del pH*

³³ UNI EN 13038 – *Ammendanti e substrati per coltura – Determinazione della conducibilità elettrica*

³⁴ DIN 18035-1/2/3/4

³⁵ UNI EN 13041 – *Ammendanti e substrati per coltura – Determinazione delle proprietà fisiche – Densità apparente secca, volume d'aria, volume d'acqua, coefficiente di restringimento e porosità totale*

Nel caso si optasse per un substrato derivante da miscele di origine organica, esso dovrà essere attentamente controllato nella sua composizione in modo da non presentare al proprio interno elementi biologici non voluti, come semi, parti di piante, rizomi o radici, che potrebbero dare l'avvio a colonie vegetali indesiderate e andrebbero a ripercuotersi negativamente su costi monetari ed energie impiegate in fase gestionale. Qualora per diversi motivi si decidesse comunque di utilizzare composti a matrice terrosa, andranno corretti, all'occorrenza, mediante soluzioni chimiche e/o ammendanti opportunamente selezionati e dosati.

Qualora si opti invece per substrati di altra origine, come accade nella coltivazione idroponica, oltre alle caratteristiche sopra elencate saranno da conteggiare debitamente anche alcuni altri fattori, quali una sufficiente capacità di drenaggio dello strato di coltivo, un'adeguata stabilità dimensionale e delle caratteristiche nel tempo, sterilità di partenza e, soprattutto, un'idonea capacità di scambio cationico (consistente nella proprietà di trattenere e mettere a disposizione delle piante nutrienti quali ammonio, potassio, calcio, magnesio, azoto, microelementi, ecc)³⁶.



Fig.V.18 – A sinistra. Khaja N. Abdul, muro vegetale artigianale presso il terminal voli del *Changi Airport* (Singapore), 2009. Dettaglio del pannello contenente substrato: tale foto rappresenta il pannello a terra prima della messa in opera. L'elemento di contenimento contro la caduta o il cedimento del substrato è realizzato mediante una rete polimerica microforata. Il passo successivo prima della sua collocazione finale in opera sarà quello di praticare dei piccoli fori sulla superficie della rete per consentire l'alloggio delle piante. (Fonte: <http://www.lushe.com.au>)

Fig.V.19 – A destra. Esempio di modulo parietale contenente substrato e senza la presenza dell'elemento antivento, presso il *Westfield Shopping Centre* di Londra (UK), 2009. È comprensibile come tale substrato lasciato a vista sia in balia delle intemperie, e possa cedere con facilità. (Fonte: <http://lisastown.com/inspirationwall/2010/01/05/westfield-living-wall>)

Le tecnologie per l'inverdimento parietale che prevedano la presenza di dosi più o meno cospicue di substrato sottoforma granulare (come ad esempio torbe, lapilli, ghiaia, ecc.), essendo del tutto assimilabili ai normali vasi per l'impianto dei vegetali dovranno essere progettati in modo da provvedere anche ad ulteriori possibili criticità. Essi dovranno infatti presentare adeguate precauzioni contro la possibile caduta del substrato per effetto dell'attrazione gravitazionale o conseguentemente ad avvenimenti meteorologici particolari, come acquazzoni o forte vento. Tale problema andrà risolto mediante l'interposizione di un elemento verticale *antivento*, compatto o microforato, tra lo strato di

³⁶ MALORGIO, FERNANDO et al. (a cura di), *La tecnica della coltivazione fuori suolo*, in bibl., p.19

coltivo e quello vegetale, in modo da formare un contenimento verticale qualora ci fossero dei cedimenti di substrato. Elemento verticale di contenimento che andrà successivamente liberato puntualmente ove necessario, per consentire la collocazione dei vegetali nel substrato (Fig.V.17 e Fig.V.18).

Si ritiene doveroso evidenziare che sia nella scelta dell'apparato vegetale, che in quella relativa alla tipologia di substrato più consona, non si potrà in alcun caso esimersi dalla stretta collaborazione, fin dalle prime fasi di progetto, con figure professionali o scientifiche esperte nell'operare coi sistemi vegetali. Vista la forte interdisciplinarietà caratterizzante il presente oggetto di ricerca, assommata alle condizioni di vita estreme in cui le piante sono portate a vegetare se collocate su una superficie di chiusura a verde, diviene imprescindibile affidare la gestione di tutte le parti funzionali all'apparato vegetale a figure professionali specifiche.

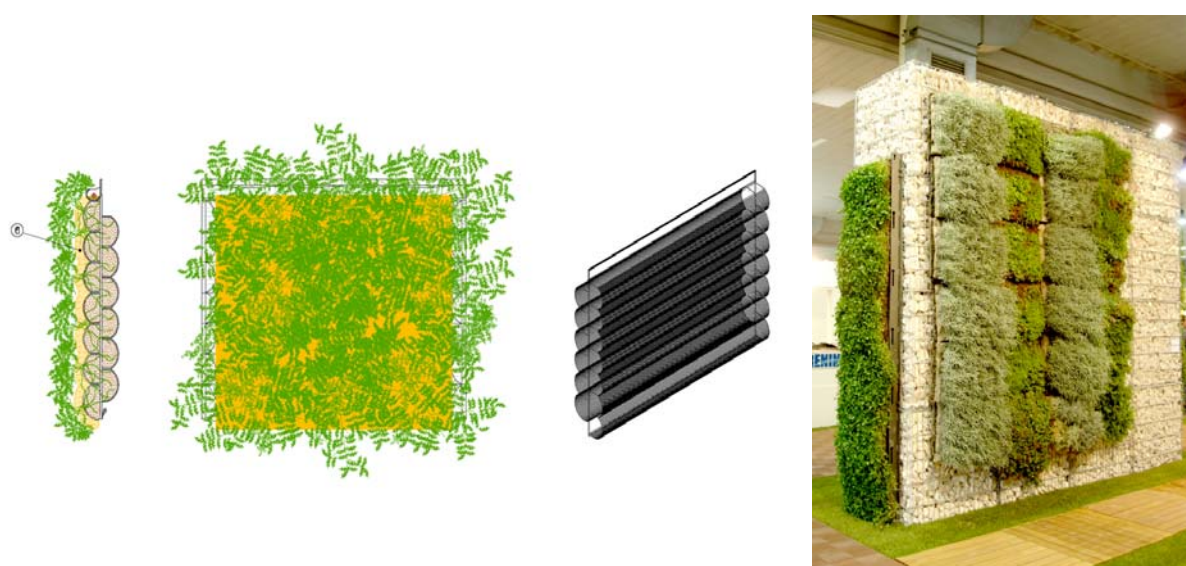


Fig.V.20 – A sinistra: disegni del modulo *Flexiverde* prodotto dalla ditta *Poliflor* (da sinistra a destra: sezione, prospetto, assonometria). Il sistema è composto da *materassini* modulari delle dimensioni 55x65x8 cm, contenenti un mix di substrati granulari inerti; sulla superficie del materassino viene poi collocato uno strato – prevegetato o da inverdire in loco – in fibra di cocco. Il substrato di coltura è quindi composto dagli inerti, mentre la fibra di cocco serve solo per sopperire ai primi periodi d'impianto: col trascorrere del tempo gli organi radicali delle piante penetreranno nel materassino, ancorandovisi saldamente. I moduli vengono messi in opera mediante un sottosistema metallico di montanti verticali, lasciando un'adeguata intercapedine d'aerazione tra la chiusura edilizia e l'apparato a verde. (Fonte: catalogo *Poliflor*)
 Fig.V.21 – A destra: esempio di messa in opera del sistema *Flexiverde*. Sono possibili differenti sottosistemi per la collocazione in verticale dei *materassini* (in funzione sia della chiusura edilizia da inverdire che delle esigenze progettuali), e molteplici specie vegetali. *Flexiverde* ha un costo di 220 €/m² qualora si utilizzino moduli non prevegetati, e di 450-600 €/m² nel caso si opti per la prevegetatura in vivaio.

V.2.2.3. Elemento di protezione dall'azione delle radici

Il requisito richiesto all'elemento *antiradice* è quello di opporre adeguata resistenza all'azione degli apparati radicali delle piante, in modo che questi non possano penetrare negli strati ad esso retrostanti pregiudicando le funzionalità della chiusura. Le radici dei vegetali sono infatti degli organismi molto

forti e invasivi che tendono ad addentrarsi in profondità nel substrato sul quale insistono alla ricerca di nutrienti e per ancorare la pianta il più stabilmente possibile. Tale azione penetrante, nel caso di piante molto vigorose o dagli apparati radicali particolarmente sviluppati, può creare non poche problematiche alle stratificazioni del pacchetto tecnologico, compromettendone in tutto o in parte il funzionamento³⁷.

CARATTERISTICA	OSSERVAZIONI	NORMA DI RIFERIMENTO
Determinazione della stabilità dimensionale	Una elevata stabilità dimensionale è fondamentale nella fase di applicazione del manto impermeabile. Fintantoché non viene applicata la superficie a verde il manto può essere soggetto ad alte temperature sotto insolazione diretta ed è soggetto ad escursioni termiche giorno e notte. Durante questo periodo, per evitare danneggiamenti meccanici, il manto non deve muoversi dalla sua posizione originale di posa e non deve essere soggetto a tensionamenti in corrispondenza dei punti fissi quali bordo della chiusura, imbotti di finestre, elementi fuoriuscenti, ecc. Un manto di elevata stabilità dimensionale riduce al minimo il rischio di danneggiamento dovuto ai movimenti sopra indicati.	UNI EN 1107-1 UNI EN 1107-2
Determinazione della resistenza al carico statico	La caratteristica di resistenza al carico statico è importante per verificare che il manto resista, con adeguato margine di sicurezza, ai carichi (permanenti ed accidentali) previsti.	UNI EN 12730
Determinazione della piegabilità a basse temperature	Una elevata piegabilità a basse temperature è un elemento caratterizzante della buona qualità del materiale sintetico.	UNI EN 495-5 EN 1109
Determinazione della resistenza alla penetrazione delle radici	Il manto può essere soggetto all'azione delle radici, è pertanto necessario verificarne la resistenza, se il sistema impermeabile non è a sua volta protetto da uno specifico elemento di protezione dalle radici. Qualora il manto svolga anche funzione di protezione all'azione delle radici, questa caratteristica è fondamentale.	UNI EN 13948 UNI 8202-24
Invecchiamento artificiale tramite esposizione a lungo termine ad elevate temperature	Una ridotta differenza tra i valori di prima e dopo la prova è indice di una propensione al mantenimento delle prestazioni nel tempo. La prova viene effettuata per una durata di 16 settimane.	UNI EN 1296
Resistenza ai microrganismi	La resistenza a questa caratteristica risulta essere fondamentale per una superficie impermeabile.	UNI EN ISO 846

Tab.V.22 – Caratteristiche degli elementi di protezione dalle radici e contestuali normative di riferimento. (Rielaborazione da: UNI 11235:2007, p.23)

³⁷ Si pensi a quanto potrebbe essere deleteria per il pacchetto tecnologico, l'azione delle radici di una pianta che penetrino o attraversino lo strato di tenuta all'acqua.

Le tipologie di protezione antiradice si suddividono in due differenti classi, in funzione della modalità dell'azione protettiva messa in gioco dall'elemento: esse potranno formare una barriera meccanica o chimica, a seconda che sia la fisicità dello strato di protezione o la sua composizione materica a reagire. Nel primo caso sarà il materiale a formare una barriera inattaccabile dagli organi radicali, nel secondo sarà la particolare additivazione a reagire alle sollecitazioni esercitate dalle radici.

Le casistiche per la realizzazione dell'apparato antiradice sono due, in funzione che esso sia costituito da un elemento a sé stante o che venga integrato ad altre stratificazioni presenti in chiusura. Quest'ultimo è il caso di gran lunga più ricorrente, e può suddividersi ulteriormente mediante una duplice possibilità imputabile al fatto che lo strato antiradice sia integrato all'elemento di tenuta – configurazione molto usata nel caso delle coperture a verde ma assolutamente inusuale per quel che concerne le chiusure verticali – o ad altre stratificazioni del pacchetto tecnologico.

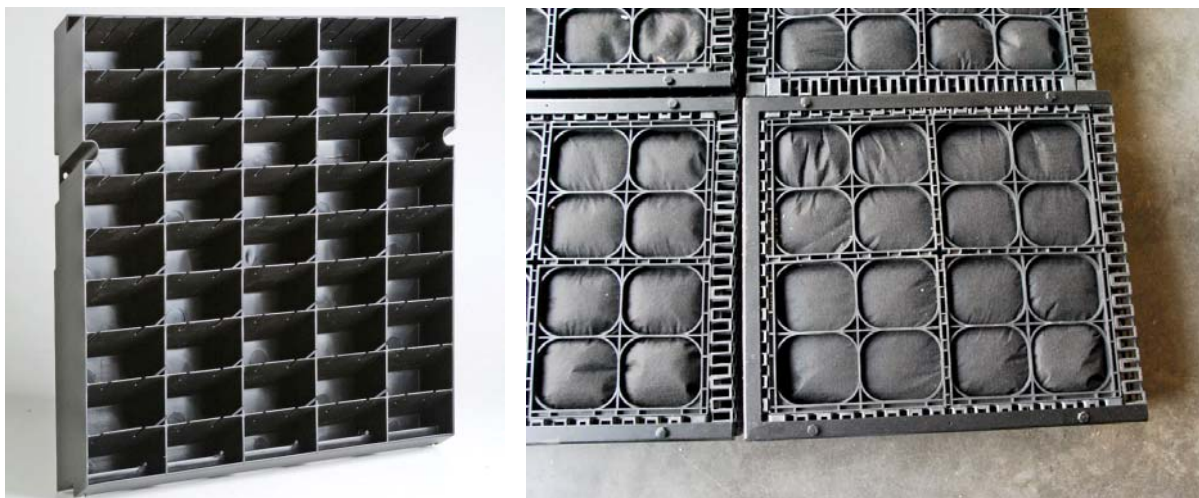


Fig.V.23 – A sinistra. *ELT Easy Green*: sistema modulare per l'inverdimento parietale, dettaglio di un modulo. Il pannello in polipropilene è compartimentato in 45 sottomoduli: essi avranno la funzione di contenere il substrato organico per l'alloggio dei vegetali. Viste le proprietà di resistenza del materiale, esso funge anche da elemento antiradice. Il sistema è simile a quello prodotto dall'azienda *Green Living Technologies*: l'unica differenza consiste nel materiale metallico (acciaio inossidabile o alluminio) con cui è realizzato quest'ultimo. (Fonte: <http://lisastown.com/inspirationwall/wp-content/uploads/2009/06/picture-7-419x416.png>)

Fig.V.24 – A destra. Il sistema *VGM – Vertical Greening Module* prodotto dall'australiana *Elmich* è realizzato tramite un modulo di origine polimerica contenente substrato, delle dimensioni di 50x56x15/25 cm: esso viene sistemato in opera mediante un sottosistema metallico di supporto da connettere alla parete da inverdire. Essendo tale modulo completamente forato in tutte le direzioni per consentire la percolazione idrica, necessita di una membrana geotessile per il contenimento del substrato: tale elemento è visibile in figura e funge anche da strato antiradice. Per consentire la collocazione dei vegetali è sufficiente operare dei fori sulla faccia esterna del modulo. (Fonte: <http://www.livingwallart.com/wp-content/uploads/2010/05/2.jpg>)

Nell'inverdimento parietale di ultima generazione infatti, sia che si tratti di muri vegetali che di chiusure vegetate, una o più delle componenti funzionali che costituiscono il pacchetto tecnologico andranno eseguite in modo da poter sopperire a tale sollecitazione, provvedo alla loro realizzazione mediante materiali che risultino impenetrabili alle radici. Ciò accade, ad esempio, nelle già descritte

realizzazioni di Patrick Blanc dove lo strato antiradice è assicurato dal pannello di PVC espanso dello spessore di 1,5 cm; ma anche altri sistemi proposti dall'industria si rivelano ottimali da questo punto di vista, quando ad esempio gli elementi modulari destinati a contenere il substrato risultano anche impermeabili alle sollecitazioni radicali (Fig.V.23 e Fig.V.24). Tale stratificazione funzionale potrebbe comunque essere realizzata in un qualsiasi elemento che risulti inerte all'azione delle radici, come poliolefine, membrane bitume-polimero, o lamine metalliche di sottile spessore. L'unica accortezza da non sottovalutare nel caso di elementi preformati o dalle dimensioni standardizzate sarà quella di porre adeguata attenzione alla realizzazione dei giunti: qualora questi presentassero delle discontinuità dovute a errori in fase di realizzazione le radici potrebbero trovarvi un facile spazio di penetrazione, apportando le suddette relative criticità.



Fig.V.25 – Esempio applicativo del sistema VGM – *Vertical Greening Module* (Cfr.Fig.V.24), all'interno del *Press Centre* presso l'Expo di Shanghai 2010: i pannelli vegetati sono contenuti nei pilastri strutturali. Vista la scarsa qualità raggiunta dall'inverdimento, sono comprensibili le modalità di messa in opera dei moduli preformati. Nella foto al centro, ai due lati della facciata di ogni pannello, si possono vedere i correnti verticali in filo metallico che servono a bloccare il sistema contro il ribaltamento. A destra è raffigurata la base del pilastro: vi si può notare un dettaglio del sistema d'irrigazione automatizzata. (Fonte: Giovanni Zannoni)

V.2.2.4. Elemento di tenuta

Il requisito principale che deve essere richiesto all'elemento è quello dell'impermeabilizzazione all'acqua o ad altri liquidi. Come definito dalla normativa tecnica³⁸, la Classe di elementi tecnici delle *Pareti perimetrali verticali* presenta, tra le proprie funzioni principali, quella «di impedire il passaggio di liquidi tra gli spazi interni ed esterni all'organismo edilizio»: ciò significa che anche all'acqua, di qualunque natura essa sia, dovrà essere impedito il libero movimento tra due sistemi ambientali di diversa origine. Ma se nel caso delle chiusure verticali convenzionali il problema dell'acqua è tutto sommato di scarso rilievo, in quello delle chiusure a verde – che, come visto, presentano un substrato

³⁸ UNI 8369-1:1988, *Edilizia – Chiusure verticali – Classificazione e terminologia*, p.1

costantemente pervaso da una certa dose di umidità – esso è indiscutibilmente di primaria rilevanza. Perciò, se le chiusure verticali convenzionali possono normalmente presentare un minimo livello di diffusione ai liquidi, quelle vegetate dovranno essere invece configurate come impermeabili all'attraversamento idrico dall'esterno verso l'interno.

Nelle chiusure verticali vegetate l'elemento di tenuta andrà collocato dietro all'intera stratificazione del pacchetto tecnologico a verde, in quanto destinato a bloccare qualsiasi passaggio di umidità. Qualora sia presente un'intercapedine di aerazione sarà buona prassi che l'elemento impermeabilizzante sia interposto fra la ventilazione e i rimanenti strati convenzionali della chiusura, in modo che tale camera di aerazione possa contribuire a smaltire il quantitativo di umidità allo stato liquido o gassoso eventualmente presente (Fig.V.27 e Fig.V.28).

Nella progettazione dell'elemento di tenuta andranno debitamente considerate alcune specificità dei sistemi tecnologici in esame, che in alcuni casi le differenziano dalle chiusure verticali convenzionali:

- l'elemento di tenuta è normalmente protetto dalle azioni termiche prodotte da irraggiamento solare e temperatura, ad esclusione dei periodi in cui avviene la posa;
- in alcuni casi particolari (ad esempio di mala realizzazione del sistema antiradice) esso potrà essere soggetto all'azione delle radici. Azione che si presenterà sotto forma di sollecitazione meccanica, chimica e biologica;
- qualora posto a diretto contatto coi substrati di coltivo, esso sarà sottoposto ad agenti biologici e chimici dovuti alle sostanze che compongono il substrato stesso e/o ai composti che possano eventualmente essere forniti alle piante mediante fertilizzazione ordinaria o fertirrigazione.

L'elemento di tenuta, qualora si opti per la sua realizzazione mediante membrane di qualsivoglia tipologia o provenienza, dovrà rispondere a determinati requisiti progettuali che dipendono dalle caratteristiche del materiale prescelto e dalla conformazione della parete. Infatti, se la chiusura presenta una geometria verticale il problema dei liquidi tenderà ad essere minore, in quanto l'azione esercitata dalla forza di gravità farà discendere l'acqua verso il basso prima che questa – in toto o in parte – possa raggiungere le retrostanti stratificazioni tecnologiche. Nel caso in cui la chiusura non risulti completamente verticale ma sia inclinata verso l'interno, il problema della possibile infiltrazione idrica risulterà maggiore in quanto il liquido, seppur sempre attratto verso il basso dall'attrazione gravitazionale, prima di raggiungere il terreno potrebbe scorrere sulle superfici interstiziali della chiusura.

CARATTERISTICA	OSSERVAZIONI	NORME DI RIFERIMENTO
Determinazione della stabilità dimensionale	<p>Una elevata stabilità dimensionale è fondamentale nella fase di applicazione del manto impermeabile. Fintantoché non viene applicata la superficie a verde il manto può essere soggetto ad alte temperature sotto insolazione diretta ed è soggetto ad escursioni termiche giorno e notte.</p> <p>Durante questo periodo, per evitare danneggiamenti meccanici, il manto non deve muoversi dalla sua posizione originale di posa e non deve essere soggetto a tensionamenti in corrispondenza dei punti fissi quali bordo della chiusura, imbotti di finestre, elementi fuoriuscenti, ecc.</p> <p>Un manto di elevata stabilità dimensionale riduce al minimo il rischio di danneggiamento dovuto ai movimenti sopra indicati.</p>	<p>UNI EN 1107-1</p> <p>UNI EN 1107-2</p>
Determinazione della resistenza al carico statico	La caratteristica di resistenza al carico statico è importante per verificare che il manto resista, con adeguato margine di sicurezza, ai carichi (permanentemente ed accidentali) previsti superiormente.	UNI EN 12730
Determinazione della piegabilità a basse temperature	Una elevata piegabilità a basse temperature è un elemento caratterizzante della buona qualità del materiale sintetico.	UNI EN 495-5 EN 1109
Determinazione della tenuta all'acqua	La resistenza a questa caratteristica risulta essere fondamentale per un manto impermeabile.	UNI EN 1928
Determinazione della resistenza alla penetrazione delle radici	<p>Il manto può essere soggetto all'azione delle radici, è pertanto necessario verificarne la resistenza, se il sistema impermeabile non è a sua volta protetto da uno specifico elemento di protezione dalle radici.</p> <p>Qualora il manto svolga anche funzione di protezione all'azione delle radici, questa caratteristica è fondamentale.</p>	<p>UNI EN 13948</p> <p>UNI 8202-24</p>
Invecchiamento artificiale tramite esposizione a lungo termine ad elevate temperature	Una ridotta differenza tra i valori di prima e dopo la prova è indice di una propensione al mantenimento delle prestazioni nel tempo. La prova viene effettuata per una durata di 16 settimane.	UNI EN 1296
Resistenza ai microrganismi	La resistenza a questa caratteristica risulta essere fondamentale per una superficie impermeabile.	UNI EN ISO 846

Tab.V.26 – Caratteristiche degli elementi di tenuta all'acqua e contestuali normative di riferimento. (Rielaborazione da: UNI 11235:2007, p.23)

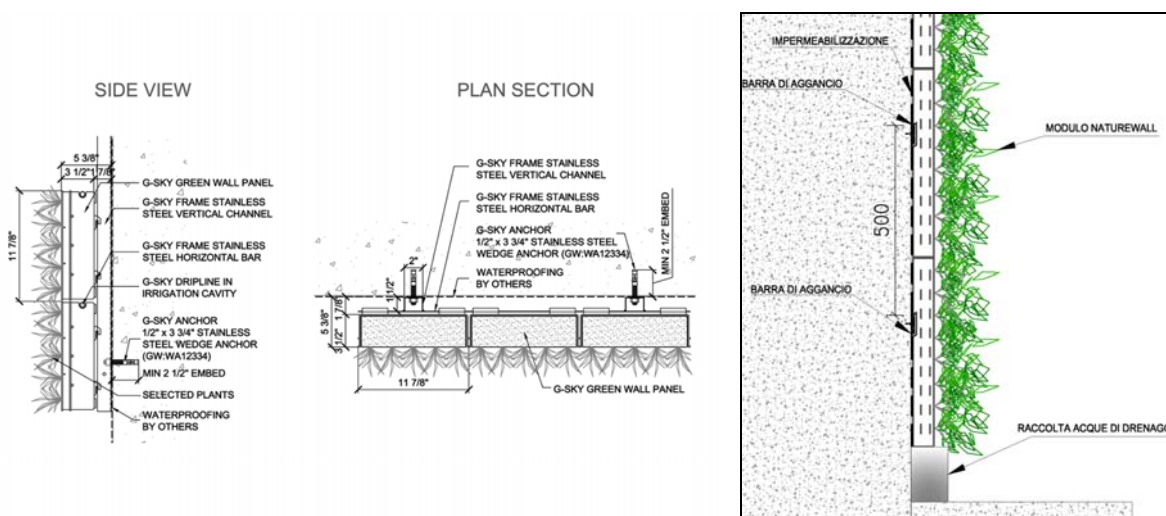


Fig.V.27 – A sinistra. Sistema industrializzato *G-SKY Green Wall Panels* per la realizzazione di chiusure verticali vegetate: sezioni orizzontale e verticale di dettaglio. Come visibile dal disegno, nella superficie retrostante al sottosistema metallico di supporto ai pannelli modulari è necessario l’inserimento di uno strato impermeabilizzante. I moduli scatolari per il contenimento del substrato sono in materiale polimerico resistente all’azione radicale: essi funzionano perciò anche da strato antiradice. Nel disegno a sinistra, nello spazio verticale tra un pannello e quello successivo, si noti il posizionamento dell’ala gocciolante del sistema di fertirrigazione. (Fonte: *G-SKY*)

Fig.V.28 – A destra. Sistema *Naturewall* per la realizzazione di chiusure vegetate: sezione verticale di dettaglio. La tecnologia è simile a quella dell’immagine precedente, ed anche in questo caso è necessario l’elemento di tenuta all’acqua. L’unica differenza consiste nel fatto che non viene richiesta la realizzazione di un’intercapedine retrostante ai correnti orizzontali per il supporto dei moduli vegetati: scelta comunque azzardata, in quanto oltre a potersi sempre verificare dei problemi all’elemento impermeabilizzante, l’intercapedine contribuisce allo smaltimento di eventuale condensa interstiziale. (Fonte: Christian Inderst)

I materiali per la realizzazione dell’impermeabilizzazione di chiusure a verde sono quelli normalmente reperibili sul mercato edilizio, e possono consistere in membrane bituminose, poliolefiniche, di PVC o anche traspiranti qualora la morfologia di chiusura o la tecnologia dell’inverdimento lo permetta. Nella realizzazione del manto impermeabilizzante risultano sempre valide le considerazioni di posa tipiche per tali stratificazioni tecnologiche, come ad esempio la necessità di un sormonto adeguatamente dimensionato nelle congiunzioni, la possibilità della realizzazione in doppio strato in alcuni casi particolari, o la compartimentazione in aree minori se l’impermeabilizzazione sia di grandi dimensioni. Ovviamente tali elementi di tenuta all’acqua potrebbero anche richiedere, sulla superficie di chiusura opposta a quella ospitante l’elemento di tenuta, l’opportuna collocazione di una barriera o di un freno al vapore.

Anche la manutenibilità dell’elemento risulta un possibile fattore critico in quanto, vista la sua collocazione stratigrafica e spaziale, potrebbe risultare difficoltoso, una volta completata la costruzione della chiusura a verde, agire sul manto impermeabilizzante. Tale considerazione è dovuta al fatto che, qualunque sia il tipo di tecnologia utilizzato nella realizzazione del pacchetto a verde, agire sullo strato di tenuta significherebbe sempre e comunque rimuovere parzialmente o totalmente il pacchetto stesso, con ovvii e conseguenti disagi o problematiche attuative.

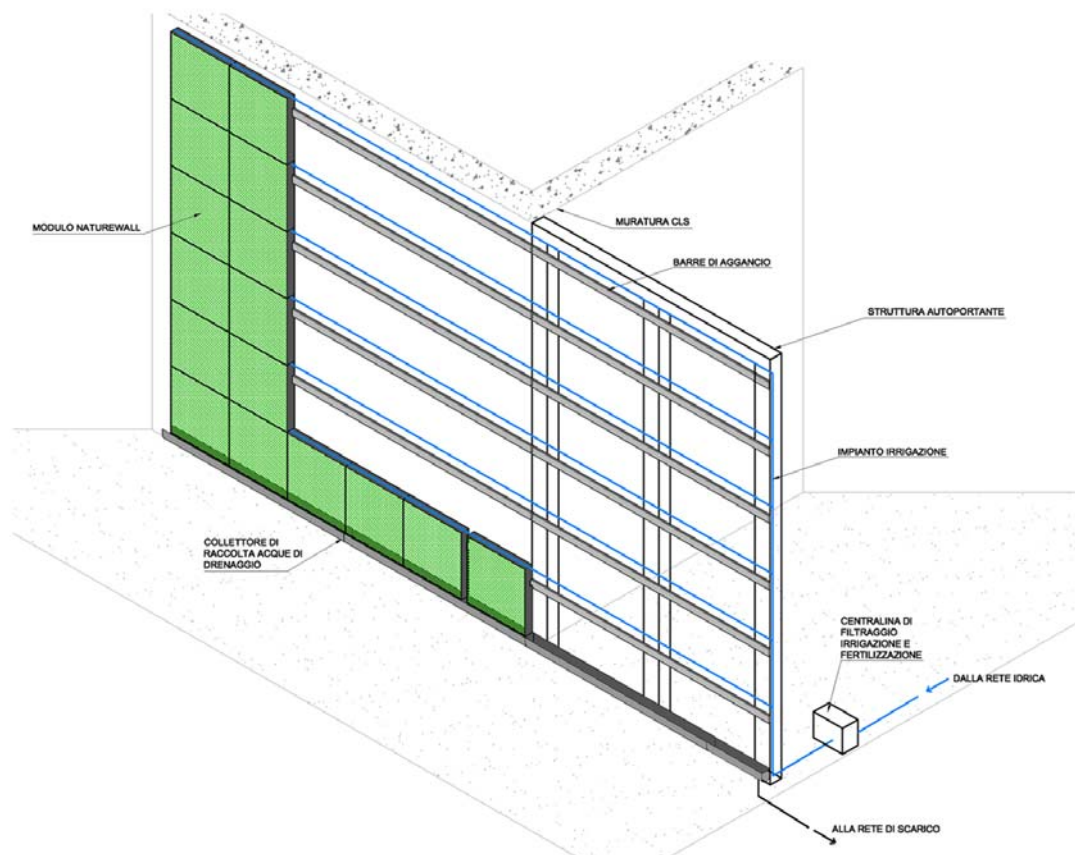


Fig.V.29 – Spaccato assonometrico del sistema *Naturewall* per la realizzazione di chiusure vegetate. Dallo schema è possibile comprendere il funzionamento del sottosistema metallico di supporto ai moduli vegetati: nel caso specifico consiste in correnti orizzontali, ma altre tecnologie impiegano correnti verticali (Cfr.Fig.V.42) o reticoli. Nel disegno sono rappresentate due differenti opzioni di montaggio: tramite aggancio del sistema su chiusure esistenti (parte a sinistra) o mediante struttura autoportante. In colore blu le ali gocciolanti del sistema fertirrigante. (Fonte: Christian Inderst)

V.2.2.5. Il sottosistema a supporto del pacchetto a verde

Il requisito principale che deve essere richiesto all'elemento è quello di supportare l'intero pacchetto tecnologico d'inverdimento, fungendo quindi da interfaccia di mediazione fra esso e le rimanenti strutture della chiusura retrostante (Fig.V.29). Serve quindi a sostenere tutti i vari strati precedentemente descritti e, nella sua configurazione più raccomandabile, dovrebbe formare un'intercapedine di aerazione del pacchetto a verde, in modo sia da riuscire a smaltire della condensa interstiziale che eventualmente venisse a formarsi che a minimizzare la possibilità che le radici delle piante, qualora lo strato antiradice presentasse malfunzionamenti o lacune, giungano alla chiusura (aerazione d'intercapedine che per funzionare correttamente dovrà ovviamente presentare delle bocchette d'immissione ed espulsione alla base della parete e in sommità).

Le sue caratteristiche principali dovranno essere il corretto dimensionamento strutturale, effettuato considerando come carico permanente il valore di tutte le masse volumiche componenti la globalità del sistema in condizione di saturazione idrica, e la lunga durata. A tal proposito si denota

che esso dovrebbe essere realizzato in materiale immarcescibile e resistente (come ad esempio acciaio inossidabile, alluminio, materiali polimerici fibrorinforzati) o, in caso contrario, andranno obbligatoriamente prese tutte le dovute precauzioni affinché tale sottosistema non venga in nessun caso raggiunto da acqua (sia meteorica che irrigua) o condensa interstiziale.



Fig.V.30 – Esempio di sottosistema di supporto alla vegetazione in materiale polimerico. È composto da pannelli modulari di grandi dimensioni, che inglobano in superficie dei contenitori per l'alloggio di substrato e piante. Come visibile, nella parte bassa di ogni contenitore è presente un tubicino per consentire la percolazione dei liquidi d'irrigazione verso i vasi sottostanti. Questo sistema è quindi concettualmente simile a quello inventato da Patrick Blanc, e ne differisce sostanzialmente solo nel materiale. Inoltre, il polimero che lo compone funge, se ben realizzato, sia da elemento di tenuta che antiradice. (Fonte: Giovanni Zannoni)

La struttura potrà essere sia autoportante – cioè presentante proprie fondazioni: caso maggiormente difficoltoso e comunque assai raro per quel che concerne la pratica convenzionale – che meccanicamente o chimicamente vincolata alle parti portanti della chiusura destinata all'inverdimento. I suoi elementi funzionali principali sono quindi due: la parte strutturale vera e propria, e tutti i vari elementi o sub-sistemi destinati alla sua connessione con la chiusura. In alcuni rari casi tale sottosistema potrebbe anche essere assente (quindi l'intero apparato d'inverdimento verrebbe in tal caso interamente supportato dalla chiusura edilizia sia dal punto di vista statico che del collegamento chimico o meccanico che lo vincola), ma tale possibilità risulterà sempre sconsigliabile per i motivi già citati in apertura del presente paragrafo.



Fig.V.31 – A sinistra. Kim Wilke Associates, *Longwood Gardens*, Chester (USA), 2010: fasi di cantiere riguardanti il montaggio di moduli prevegetati. In base agli elaborati di progetto entrambe le pareti visibili dovranno essere inverdite: alla destra dell'immagine è possibile notare il risultato finale dell'opera, mentre a sinistra è visibile il sottosistema metallico di supporto ancora sprovvisto dei pannelli. (Fonte: <http://www.lushe.com.au>)

Fig.V.32 – A destra. Altro esempio di installazione di moduli prevegetati. Si noti come tali pannelli vengano avvitati direttamente alla superficie della chiusura pre-esistente, senza l'interposizione né di uno strato di tenuta idrica (salvo ovviamente le capacità impermeabilizzanti proprie del pannello polimerico) né dell'intercapedine di aerazione. Nella parte alta dell'immagine, in colore marrone chiaro, è visibile il sistema d'irrigazione. (Fonte: <http://www.jetsongreen.com/images/2008/03/24/oulualivestructures.jpg>)



Fig.V.33 – A sinistra. Holst Architecture, *Hotel Modera*, Portland (USA), 2009: da questa foto di cantiere è ben comprensibile come sia realizzata una sottostruttura per la messa in opera dei pannelli vegetati. Nel caso specifico trattasi di un reticolo metallico in montanti e traversi, dove i moduli inverditi verranno semplicemente agganciati. Si noti la presenza a terra dei pannelli prevegetati già pronti per il montaggio, ed un operatore dell'azienda che provvede ad annaffiarli. (Fonte: <http://gsky.com/projects/hotel-modera>)

Fig.V.34 – A destra. Stantec Architecture, *Int'l Airport*, Vancouver (Canada), 2009: fasi di montaggio della chiusura. Sono visibili sia il sottosistema metallico di supporto ai pannelli modulari vegetati, che l'avvenuta posa di gran parte di essi. Si noti anche la notevole altezza dell'inverdimento (quasi 20 metri), ed il carrello elevatore necessario alla posa in opera e alle lavorazioni manutentive. (Fonte: <http://gsky.com/wp-content/uploads/Proj-YVR-3.jpg>)

V.2.2.6. L'apporto idrico al sistema vegetale: il sistema automatizzato d'irrigazione

La funzione dell'impianto d'irrigazione è quella di fornire un adeguato quantitativo idrico alle specie vegetali integrate alla parete, in funzione delle differenziate esigenze specifiche che esse presentino; necessità che, come visto, dipenderanno dalla tipologia del vegetale prescelto, dalla regione climatica d'inserimento, dal microclima dell'area di progetto e dalle modalità d'impianto. Tale impianto consiste quindi in un sub-sistema integrato, composto da alcuni apparati tecnologici (pompe, tubazioni, ecc.) che svolgano la funzione di portare una certa dose di liquido in tutte le zone interessate dall'inverdimento.

Vista la conformazione geometrica e spaziale delle chiusure verticali, unitamente alla loro particolare tecnologia costruttiva, risulterà sempre necessario³⁹ integrare un sistema d'irrigazione automatizzato alla parete vegetata, in modo da rifornire periodicamente le piante della risorsa idrica. Questo perché, considerata la notevole altezza che tali superfici a verde possono raggiungere, congiuntamente all'impiego di substrati dagli spessori scarsi o quasi nulli (presentanti perciò scarsa capacità di accumulo idrico), si rende necessario irrigare la parete una o più volte al giorno⁴⁰. Operazione di annaffiatura che considerate le caratteristiche geometriche e costruttive delle pareti vegetate risulterebbe oggettivamente molto difficoltoso effettuare manualmente. Ne consegue che l'impianto d'irrigazione – apparato che si dimostra totalmente facoltativo per tutte le altre tipologie sistemiche che prevedano l'integrazione fra sottosistemi edilizi e vegetazione⁴¹ – rappresenta invece un *elemento costitutivo del sistema* qualora si operi con chiusure verticali vegetate o muri vegetali.

La tipologia del sistema d'irrigazione, le modalità e le relative frequenze dei cicli di annaffiatura dipenderanno direttamente dalle scelte operate in sede progettuale, ponendosi in stretta reciprocità con altre caratteristiche tecnologiche e strutturali, come le tipologie vegetali impiegate (alcune specie hanno delle necessità idriche molto maggiori di altre⁴²) o la tecnologia costitutiva dei substrati. Proprio quest'ultima categoria, importantissima ai fini delle scelte strategiche e progettuali nella realizzazione di chiusure a verde, risulta una discriminante sostanziale per la scelta della tipologia del sistema irriguo, e dipendentemente dal fatto che si tratti di coltivazione convenzionale o idroponica. In altre parole è possibile affermare che, seppur come visto non si possa in alcun caso prescindere da un sistema automatizzato d'irrigazione, esso si diversificherà in funzione della modalità di coltura selezionata, che a sua volta potrà dipendere dalla tipologia di substrato presente.

V.2.2.6.1. Coltivazione idroponica e fertirrigazione

La coltivazione idroponica – altrimenti detta *coltivazione fuori suolo*, *idrocoltura*, o *soiless culture* nella terminologia anglosassone – consiste in una tecnica agronomica in cui le colture vengono effettuate in assenza del comune terreno agrario, dove il rifornimento di acqua ed elementi nutritivi alle piante

³⁹ Solo in casi molto rari, in cui sia presente una particolare sinergia tra specie vegetali dalla bassissima richiesta idrica e particolari condizioni spaziali-ambientali, sarà possibile non munire la parete vegetata di un impianto d'irrigazione automatizzata: in tal caso si renderà ovviamente necessario rifornire manualmente d'acqua le specie vegetali integrate in chiusura.

⁴⁰ Nei periodi invernali o autunnali e nelle stagioni fredde le specie vegetali hanno una richiesta idrica minore, mentre durante l'estate, quando le attività evapotraspirative della pianta sono più accentuate, risulta necessario rifornire anche più volte al giorno i vegetali presenti in parete.

⁴¹ Cioè coperture a verde estensivo o intensivo, e rivestimenti vegetali.

⁴² Cfr. capitolo IV

avviene attraverso la somministrazione assistita di una soluzione nutrizionale comprensiva di macro- e micro-elementi necessari all'attività biologica vegetale.

Nelle colture convenzionali il terreno svolge una duplice funzione, provvede sia a contenere gli apparati radicali delle piante (munendole quindi di una base solida su cui poter aggrappare e crescere), che a rifornire i tessuti vegetali dei nutrienti e sali minerali (azoto, fosforo, potassio, ecc.) di cui abbisognano. Infatti, se l'acqua è condizione essenziale alla vita della pianta, essa non è comunque sufficiente, in quanto il vegetale necessita anche di radiazione solare (fonte energetica), anidride carbonica (elemento essenziale per compiere la fotosintesi clorofilliana), ossigenazione radicale e, appunto, nutrienti di varia natura: sostanze nutrizionali che nelle coltivazioni convenzionali il vegetale può reperire nei minerali normalmente presenti nel terreno, o conseguentemente alla loro ricorrente correzione tramite l'attività di fertilizzazione⁴³. Ma dove tali elementi nutritivi non siano presenti – come appunto nel caso delle coltivazioni fuori suolo – sarà necessario provvedere artificialmente a rifornire la pianta delle sostanze di cui essa necessita.

Il principio della coltivazione idroponica è quello di sostituire la funzionalità del terreno naturale con altri differenti substrati e vettori di nutrimento, in modo da potervi esercitare un controllo maggiormente rigoroso e preciso. Azione che coincide peraltro con lo scorporo della funzione unica solitamente esercitata dalla terra agricola (supporto statico e riserva nutrizionale) e che conduce quindi a dover gestire due fattori distinti. Ne consegue, perciò, che la mansione di supporto alla pianta è demandata ad altri componenti fisici diversi dal terreno naturale (vasi, elementi preformati, substrati inorganici), mentre quella nutrizionale viene completamente delegata all'attività umana.

COLTIVAZIONE FUORI SUOLO (<i>Soilless culture</i>)	
COLTIVAZIONE IN MEZZO LIQUIDO (<i>Water Culture</i> o <i>Hydroponic</i>)	COLTIVAZIONE SU SUBSTRATO (<i>Substrate Culture</i>)
<ul style="list-style-type: none"> - Mezzo liquido statico (<i>Deep Water Culture</i>); - Mezzo liquido recircolante (<i>Deep Recirculating Water Culture</i>); - Idroponica galleggiante (<i>Floating System</i>); - Aeroponica (<i>Aeroponics</i>); - Film di soluzione nutritiva (<i>Nutrient Film Technique</i>). 	<ul style="list-style-type: none"> - In bancali con sabbia o ghiaia (<i>Gravel Culture</i>); - In canaletta; - In vaso o cassetta, con: <ul style="list-style-type: none"> - irrigazione a goccia; - subirrigazione (flusso e riflusso); - tappetino capillare; - In sacco (<i>Bag Culture</i>).

Tab.V.35 – Classificazione delle tecniche di coltivazione fuori suolo più diffuse: in parentesi è riportata la nomenclatura internazionale. Si evidenzia che soltanto le coltivazioni appartenenti alla colonna di destra si adattano ai sistemi d'inverdimento parietale, una volta che ne sia stata risolta la tecnologia per il contenimento e la collocazione del substrato in parete. (Rielaborazione da: MALORGIO, FERNANDO et al. (a cura di), *La tecnica della coltivazione fuori suolo*, in bibl., p.9)

⁴³ «Fertilizzare: rendere fertile un terreno, soprattutto mediante concimazioni.». «Concimazione: in agraria, l'operazione del concimare, eseguita allo scopo di restituire al terreno le sostanze asportate con le colture, e insieme di migliorarne le proprietà fisiche, fisico-chimiche e biologiche.» (Fonte: <http://www.treccani.it>)

Le coltivazioni fuori suolo si possono classificare in funzione della tipologia materica di supporto alla crescita vegetale: culture *su substrato* sono quelle che offrono un organismo fisico (artificiale, minerale, organico o un mix tra di essi) su cui avviene la coltura; *senza substrato* sono invece quelle che avvengono senza la presenza di un qualsiasi apparato solido su cui la pianta possa aggrapparsi e crescere: in tali particolari sistemi l'apparato radicale è immerso in una soluzione nutritiva tramite alcune diverse modalità (Tab.V.35).

La coltivazione fuori suolo avviene dunque principalmente grazie a due differenti fattori: il substrato e la soluzione nutritiva. Nelle colture senza substrato tali fattori coincidono e la soluzione nutritiva funge anche da base per la crescita del vegetale. Nel caso in cui sia invece presente un substrato solido, tali due sistemi risulteranno scorporati: il substrato fungerà da base d'appoggio per le radici della pianta (ma senza costituirne la fonte di nutrimento come invece accade nelle coltivazioni tradizionali su terreno), mentre la soluzione nutritiva sarà destinata ad apportare all'apparato vegetale le sostanze di cui esso abbisogni per il proprio sviluppo biologico. Tale specifica condizione viene definita *fertirrigazione*, ed è quella che quasi sempre si incontra quando si abbia a che fare con tecnologie evolute d'inverdimento.

Ne deriva che, a livello puramente tassonomico, diviene importante ed obbligatoria una diversificazione pratica: la *coltivazione fuori suolo* è quindi declinabile come una tipologia di coltura, mentre la *fertirrigazione* indica l'azione composita fra il mezzo di nutrimento e le modalità della sua distribuzione verso la pianta. Nelle chiusure verticali vegetate e nei muri vegetali la modalità di coltura sarà perciò *sempre* quella della coltivazione fuori suolo: tipologia di coltura che impiegherà il sistema della fertirrigazione come medium nutritivo a favore delle piante integrate in parete.

La coltura idroponica deriva dalle più evolute azioni implementative della tecnica agronomica e nacque con l'obiettivo di ottimizzare le modalità d'impianto e di sviluppo – e quindi anche la qualità finale dei raccolti – delle coltivazioni ortoflorovivaistiche. Essa consiste in una modalità produttiva totalmente gestita ed assistita dall'essere umano, al fine di minimizzare le lacune e le approssimazioni di processo solitamente intrinseche alla disciplina agronomica, al fine di migliorare la qualità del prodotto. Ovviamente tale prassi di coltura presenta sia dei vantaggi che delle criticità generalmente imputabili all'alta tecnologia del sistema (Tab.V.36), quindi il suo impiego risulterà raccomandabile solo in alcune casistiche e conseguentemente ad un'attenta valutazione di tutti i fattori di contesto e di progetto.

Risulta a questo punto doveroso accennare al fatto che anche l'introduzione della coltivazione fuori suolo all'interno delle tecnologie inerenti le modalità d'inverdimento parietale è imputabile a Patrick Blanc, che per primo ne comprese le potenzialità in campo architettonico e introdusse tale prassi operativa nel sistema tecnologico da egli brevettato. Il botanico francese capì l'importanza di questo sistema di coltura soprattutto se rapportato all'esiguità degli spessori di substrato ad esso necessari, che si ripercuotono direttamente sul peso totale del sistema e si traducono in una relativa facilità di montaggio e collocazione in verticale dei componenti⁴⁴. Tale modalità di coltivazione è da allora diventata comune fra tutti i sistemi di chiusura a verde oggi esistenti, in quanto permette di

⁴⁴ Le modalità tipiche della coltivazione fuori suolo sono del tutto simili a quelle che caratterizzano le falesie della foresta tropicale pluviale, in quanto l'esiguità di substrato e l'umidità che costantemente permea quelle superfici rocciose è assimilabile a quello che accade con la modalità di coltivazione qui descritta (Cfr. IV.4.1). Si ritiene inoltre opportuno far notare che se tale modalità di coltivazione rappresenta una novità per la disciplina dell'architettura, essa è utilizzata da almeno quarant'anni nelle attività dell'ortoflorovivaismo: trattasi quindi, per il settore delle costruzioni, di un'innovazione *adattiva*.

superare molte delle criticità costruttive e agronomiche connesse al fatto di portare del terreno naturale in parete.

VANTAGGI	SVANTAGGI
<ul style="list-style-type: none"> - Standardizzazione della produzione; - Miglioramento del controllo delle condizioni fitosanitarie; - Miglior controllo dell'ambiente radicale; - Riduzione del consumo idrico; - Uso efficiente dei concimi e migliore gestione della nutrizione della pianta; - Maggiore precocità (di germogliazione e sviluppo del vegetale); - Razionalizzazione del lavoro e possibilità di meccanizzazione. 	<ul style="list-style-type: none"> - Costi d'impianto elevati; - Necessità di personale tecnico specializzato; - Smaltimento dei substrati utilizzati o giunti alla fine del proprio ciclo di vita; - Smaltimento della soluzione drenante non completamente esaurita; - Maggior uso di materiali difficili da riciclare; - Necessità di disporre di acqua di buona qualità; - Rischio di asfissia radicale.

Tab.V.36 – Potenzialità e criticità delle tecniche di coltivazione fuori suolo. (Rielaborazione da: MALORGIO, FERNANDO et al. (a cura di), *La tecnica della coltivazione fuori suolo*, in bibl., p.11)

Esistono dunque molteplici declinazioni riguardanti la coltivazione *soiless*, ma solo alcune di esse risultano impiegabili nella vegetatura parietale, ossia quelle che presentano un substrato fisico d'impianto; per di più, all'interno di tali colture che avvengono su supporto fisico, soltanto alcune risulteranno utilizzabili per le chiusure verticali. Diviene allora evidente come, all'interno della tecnica della coltivazione fuori suolo applicata alle chiusure verticali, sia possibile attuare una grossa delimitazione di campo, contemplando esse solo alcuni particolari substrati: supporti come sabbia, ghiaia, tufo granulare, torba, lana di roccia, pomice, argilla espansa, perlite, fibra di cocco, sfagno⁴⁵, feltro sintetico, sono solo alcuni delle possibili opzioni materiche impiegabili con la tipologia di coltivazione descritta. Ognuno di essi, in funzione delle proprie caratteristiche fisiche o della forma che presenti al momento dell'impiego, sarà a sua volta utilizzabile solo mediante alcune delle casistiche di coltivazione *su substrato* descritte nella colonna di destra della Tab.V.35. Per di più, ciò si rende possibile solo quando ne sia stata adeguatamente risolta la modalità per il contenimento in verticale e la collocazione in parete del materiale; dal momento che alcuni tra i citati substrati saranno impiegabili solo con coltivazioni in sacco, altri si adatteranno meglio a quelle in vaso o cassetta e così via.

A livello di schematizzazione è possibile affermare che per quel che ne concerne l'utilizzo in parete, la coltivazione fuori suolo consiste in un apparato vegetale collocato su un substrato verticale dalle caratteristiche di volta in volta differenti in base alla propria matrice di composizione; substrato che verrà opportunamente annaffiato e nutrito, quando necessario, da un sistema automatizzato di fertirrigazione. Tale impianto agirà una o più volte al giorno in funzione delle specie vegetali coinvolte,

⁴⁵ Lo sfagno (*Sphagnum*) è un muschio appartenente alla famiglia delle *Sfagnaceae*. Tale specie vegetale viene spesso impiegata come substrato nelle chiusure a verde in quanto abbina un peso ridotto ad un'altissima capacità di ritenzione idrica (fino a 20 volte il proprio peso). Trattasi di una tipologia di substrato particolarmente interessante in quanto, seppur organico, non marcisce: infatti esso anche se reciso si conserva in vita per lunghissimo tempo, e non appena bagnato ricomincia a vegetare. Lo sfagno è quindi un substrato vegetale fertile sul quale altre tipologie di piante possono vegetare e colonizzare. Cfr. Fig.V.13

delle proprietà del substrato, delle caratteristiche climatiche della regione geografica e del contesto microclimatico di localizzazione.

Una delle condizioni più importanti per la buona riuscita di un inverdimento parietale che impieghi la tecnica della coltivazione fuori suolo è sicuramente quella relativa alla realizzazione e gestione dell'impianto fertirrigante⁴⁶. Si tratta di una componente molto delicata all'interno del sub-sistema edilizio delle chiusure vegetate e, viste le particolari specificità, dovrà essere progettata ed eseguita ad hoc, possibilmente da aziende dalla comprovata esperienza e che possano fornire adeguate garanzie in merito al proprio operato. Questo perché dall'impianto di fertirrigazione dipende la buona, scarsa o catastrofica riuscita di una chiusura a verde.

Si ritiene inoltre opportuno specificare che i cicli di semplice annaffiatura e fertirrigazione potrebbero non sempre coincidere. Soprattutto in funzione delle caratteristiche di substrato⁴⁷ si rivelerà conveniente diversificare la somministrazione della normale acqua da quella della soluzione idrosalina (composta da acqua arricchita di nutrienti), in modo da non provocare una ipernutrizione del sistema vegetale che si rivelerebbe deleteria per le piante: motivo ulteriore per cui la gestione della fertirrigazione debba essere demandata a figure professionali d'esperienza.

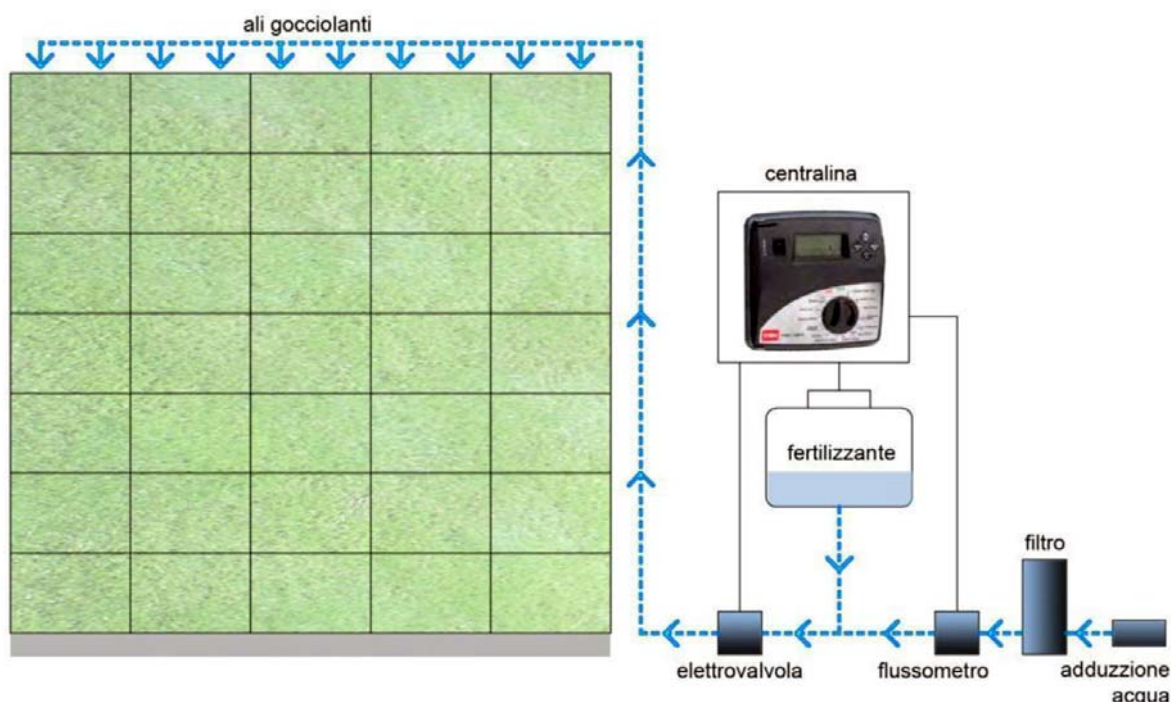


Fig.V.37 – Schema delle componenti e della modalità di funzionamento di un impianto di fertirrigazione. Nei casi di pareti che presentino considerevoli dimensioni, le ali gocciolanti non si troveranno solo in sommità, ma saranno necessarie più linee orizzontali d'irrigazione equidistanti in altezza, in modo da poter servire tutta la superficie della facciata. Cfr. da Fig.III.76 a Fig.III.78. (Fonte: *Tecology*)

⁴⁶ I tecnici specializzati nella realizzazione di sistemi per la fertirrigazione illustrano le caratteristiche degli impianti eseguiti a regola d'arte mediante una schematizzazione riportante il cosiddetto *Triangolo dell'efficienza*. Esso è un triangolo isoscele, che presenta una voce in ogni suo vertice: tali voci sono progettazione, installazione, gestione/manutenzione. Fonte: dott. Guido Bertini della ditta *GB Irrigazione* di Monza, presso il Seminario Tecnico *Verde Verticale e Pareti Vegetate*, tenutosi a Monza in data 26/03/2010.

⁴⁷ I substrati di derivazione non sintetica possono contenere dei nutrienti al proprio interno: si pensi ad esempio ai substrati di matrice rocciosa.

Il sistema di fertirrigazione si compone delle seguenti parti (Fig.V.37):

- centralina elettronica: per il controllo sia della miscelazione dell'acqua col fertilizzante contenuto nell'apposito contenitore collegato, che dei cicli di apertura/chiusura delle elettrovalvole aventi il compito di immettere la soluzione idrosalina in circolo all'interno dell'impianto. Grazie alla centralina, oltre che i nutrienti, è possibile intervenire sulle piante con degli appositi trattamenti fitosanitari (come ammendanti, fungicidi, antiparassitari, ecc);
- filtro: l'acqua utilizzata dal sistema fertirrigante deve essere di buona qualità al fine di non pregiudicare il buon funzionamento delle parti dell'impianto, quindi potrebbe essere necessario filtrarla prima di metterla in circolazione o regolarne la portata tramite un flussometro;
- scatole di contenimento ed ispezione delle elettrovalvole, collegate sia all'uscita dalla centralina che alla porta di mandata verso le tubazioni;
- tubature verticali per il trasporto della soluzione idrosalina alle linee d'irrigazione orizzontali: queste ultime non sono costituite da tubazioni convenzionali ma vengono eseguite con ali gocciolanti⁴⁸ destinate all'annaffiatura dei substrati;
- sonde esterne, in parete, per il controllo delle condizioni climatiche (temperatura, umidità dell'aria, precipitazioni) e dell'eventuale bloccaggio dell'impianto nel caso, ad esempio, di precipitazioni atmosferiche;
- eventuale sistema di recupero e riutilizzo della soluzione idrosalina in eccesso: dovendo mantenere sempre umido il substrato può accadere che non tutto il liquido venga assorbito dalla pianta, ma tenda invece a percolare intatto fino alla base della parete. Visto che la soluzione idrosalina è comunque un liquido pregiato, sarebbe buona norma recuperare quella in eccesso per re-immetterla in circolo, in un secondo momento, all'interno dell'impianto⁴⁹;
- il tutto è raccordato mediante appositi collegamenti, gocciolatoi, valvole di sfiato per l'eliminazione di eventuali bolle d'aria, iniettori per fertilizzanti, valvole di non ritorno, ecc.

Alle succitate problematiche generali, dovute alle peculiarità delle coltivazioni idroponiche (Tab.V.36), se ne aggiungono altre relative al fatto di impiegare una tecnica specialistica in un campo differente da quello agronomico per cui essa è nata, cioè quello dell'architettura. Si dovrà quindi sempre tener conto del fatto che tale tipologia di coltivazione richiede un apposito impianto d'irrigazione centralizzato, quindi costoso e relativamente ingombrante, che necessita peraltro di personale specializzato sia nella manutenzione di tutte le sue parti che, soprattutto, nelle attività di dosatura dei nutrienti e nella progettazione dei cicli di annaffiatura differenti da stagione a stagione⁵⁰.

⁴⁸ "Ali gocciolanti" è una dicitura tecnica usata dagli impiantisti per indicare dei tubi in PVC di piccole dimensioni (ad esempio di 8 mm, 16 mm, 22 mm, ecc.) che percorrono gli spazi da annaffiare. Tali tubazioni in cui la soluzione idrosalina movimentata da una pompa scorre in pressione, essendo dotate di piccoli fori equidistanti, gocciolano durante l'intero periodo di annaffiatura e su tutto il percorso da esse attraversato: da qui la dicitura di ali gocciolanti. Nelle chiusure vegetate risulta necessario l'impiego di ali gocciolanti *auto-compensanti*: esse permettono di ottenere la medesima pressione – e quindi eguale portata – sulla complessiva lunghezza della tratta da annaffiare, garantendo così alla totalità delle piante presenti la sicurezza irrigua e nutrizionale.

⁴⁹ Vengono definiti impianti *a circuito chiuso* quelli in cui sia previsto il recupero dei liquidi (semplice acqua o soluzione idrosalina) alla base della parete, per una loro re-immissione all'interno del sistema. Qualora il liquido non venga recuperato e re-immesso ma sia semplicemente convogliato verso il normale sistema di smaltimento, ci si troverà nel caso di un sistema *a circuito aperto*.

⁵⁰ Nelle stagioni calde, in cui le piante presentano un'attività evapotraspirativa maggiore, risulta necessario reintegrare con maggiore frequenza i liquidi da esse dispersi. In alcuni casi si rendono perciò necessari anche 6-8

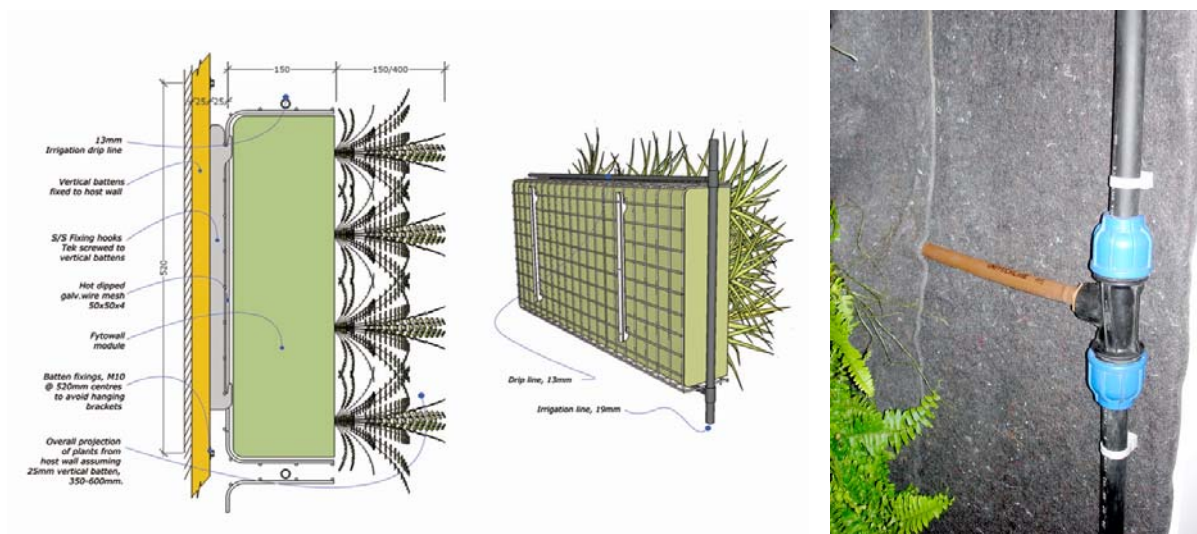


Fig.V.38 – A sinistra. Sistema modulare *Fytowall* per la realizzazione di chiusure vegetate industrializzate: dettaglio del modulo contenente substrato. Si notino i tubi verticali e orizzontali per la fertirrigazione. (Fonte: *Fytowall*)

Fig.V.39 – A destra. *Optima Verde Verticale*, prodotto dall'azienda *Optima Giardini Pensili*: dettaglio della connessione fra tubazioni verticali e orizzontali del sistema fertirrigante. Si noti come l'ala gocciolante orizzontale si inserisca tra i due teli sintetici che formano il substrato inorganico.

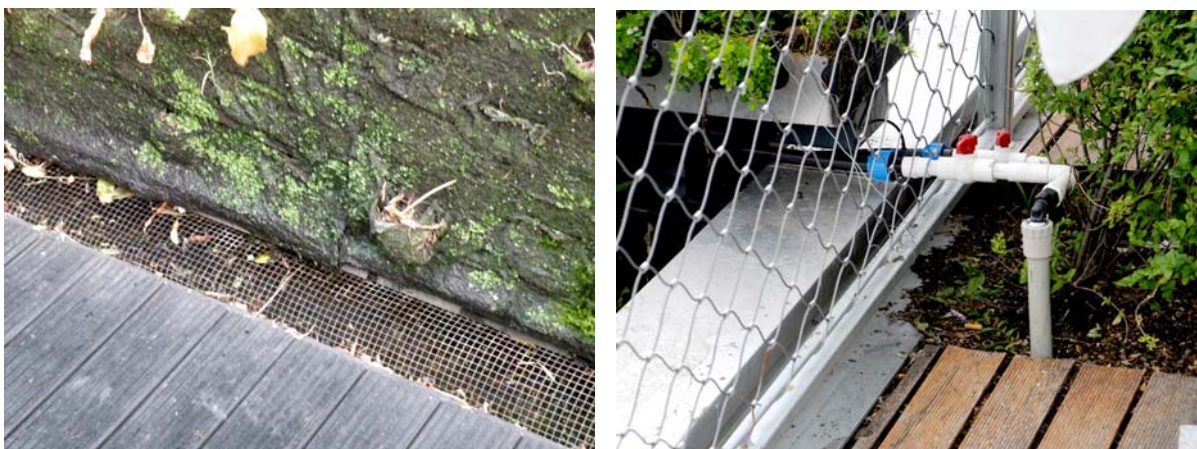


Fig.V.40 – A sinistra. Patrick Blanc, muro vegetale dell'*Athenaeum Hotel*, Londra, 2009. Dettaglio della canalina alla base della parete per il recupero della soluzione idrosalina: è evidente come per garantire un ottimale funzionamento del sistema di recupero si renda necessaria una pulizia costante dell'elemento. Si noti la scarsità di vegetazione in prossimità dell'attacco a terra, probabilmente anche dovuta al fatto che la foto è stata eseguita in dicembre. (Fonte: Valeria M. Rocco)

Fig.V.41 – A destra. Jacques Ferrier, padiglione della Francia presso l'Expo di Shanghai 2010. Vista del sistema d'irrigazione posto all'apice della parete a verde. Le ali gocciolanti qui ritratte servono sia la porzione a verde verticale che quella di copertura. (Fonte: Giovanni Zannoni)

Inoltre, la criticità maggiore è dovuta alla scarsità di substrato che mediamente interessa tali particolari installazioni parietali. Non essendo presenti dei volumi di substrato che possano fungere da

cicli di annaffiatura giornalieri, della durata di qualche minuto ciascuno.

riserva idrica e nutrizionale per le piante, nel caso di un qualsiasi malfunzionamento che bloccasse il sistema anche solo temporaneamente, i vegetali in parete sarebbero esposti ad un rischio elevato, in quanto mancandogli adeguate riserve sarebbero sottoposti ad un alto fattore di stress che – se prolungato – potrebbe anche portare al decesso del sistema vegetale, con ovvie e conseguenti perdite economiche e di funzionalità dell'installazione. Vero però anche il problema diametralmente opposto: una somministrazione eccessiva potrebbe provocare dei problemi alle piante, in quanto una dose troppo alta di nutrienti o concimi rischierebbe di bruciare del tutto o in parte l'apparato vegetale.

V.2.3. Tipologie sistemiche per la realizzazione di superfici verticali a verde: varianti tecniche e declinazioni

Una volta compresi quali sono gli apparati primari e secondari del sistema della chiusura verticale vegetata, risulta d'obbligo evidenziare come esso possa essere eseguito in un gran numero di variabili sistemiche differenti. Variabili che potranno dipendere sia dalla composizione e dai materiali utilizzati per la realizzazione dei vari strati funzionali, che dalle loro relazioni spaziali e morfologiche reciproche. Questo perché al mutare delle varie opzioni materiche varieranno molto, di conseguenza, le caratteristiche sistemiche della parete: riuscire perciò a dominare le varie possibili reciprocità potrà consentire di selezionare delle idonee composizioni sistemiche in funzione delle necessità e delle possibili declinazioni di progetto.

All'attuale stato dell'arte, optare per l'inserimento di una o più pareti a verde nel progetto significa dover innanzitutto scegliere fra due modalità differenti. La prima consiste nella possibilità di realizzare un nuovo impianto ad hoc, quindi perfettamente aderente al caso specifico e, giocoforza, sempre diverso da caso a caso; l'opzione ulteriore – quella maggiormente perseguita ed in perfetta sintonia con la prassi metodologica e operativa del mercato edilizio odierno – consiste nell'affidarsi ad aziende più o meno specializzate e quindi, contrariamente al precedente caso, dover riuscire a compiere una mediazione fra le esigenze di progetto e l'offerta industriale esistente, in modo da poter calare un sistema esistente e rodato all'interno del caso specifico. Due opzioni possibili che portano con sé metodologie attuative completamente differenti.

Nel primo caso si renderà necessaria un'approfondita conoscenza del sistema, sia per quel che ne concerne il funzionamento globale che in merito alle specificità di tutte le parti che lo compongono; in modo da riuscire a gestirne, durante tutte le fasi del processo edilizio, i reali aspetti di progettazione o costruzione, e pervenire alla risoluzione di eventuali criticità che possano sopraggiungere⁵¹. Bisogna comunque ammettere che per quel che concerne una prassi professionale definibile come *media*, la casistica qui declinata è molto rara in quanto riversa sul *solo* progettista tutta una serie di problematiche interdisciplinari da gestire; per contro, è oggettivamente fuor di dubbio che tale prassi operativa metterebbe il progettista nella condizione di poter gestire al meglio la chiusura inverdita destinata al proprio progetto, mediante un duplice vantaggio: finalizzare al meglio la risultante del proprio progetto, e allo stesso tempo avere la possibilità di progettare un sistema contestualizzato ad una specifica e mirata casistica, quindi teoricamente ottimale.

⁵¹ Mai come in questo caso risulterà imprescindibile la consulenza di un botanico o di un agronomo.

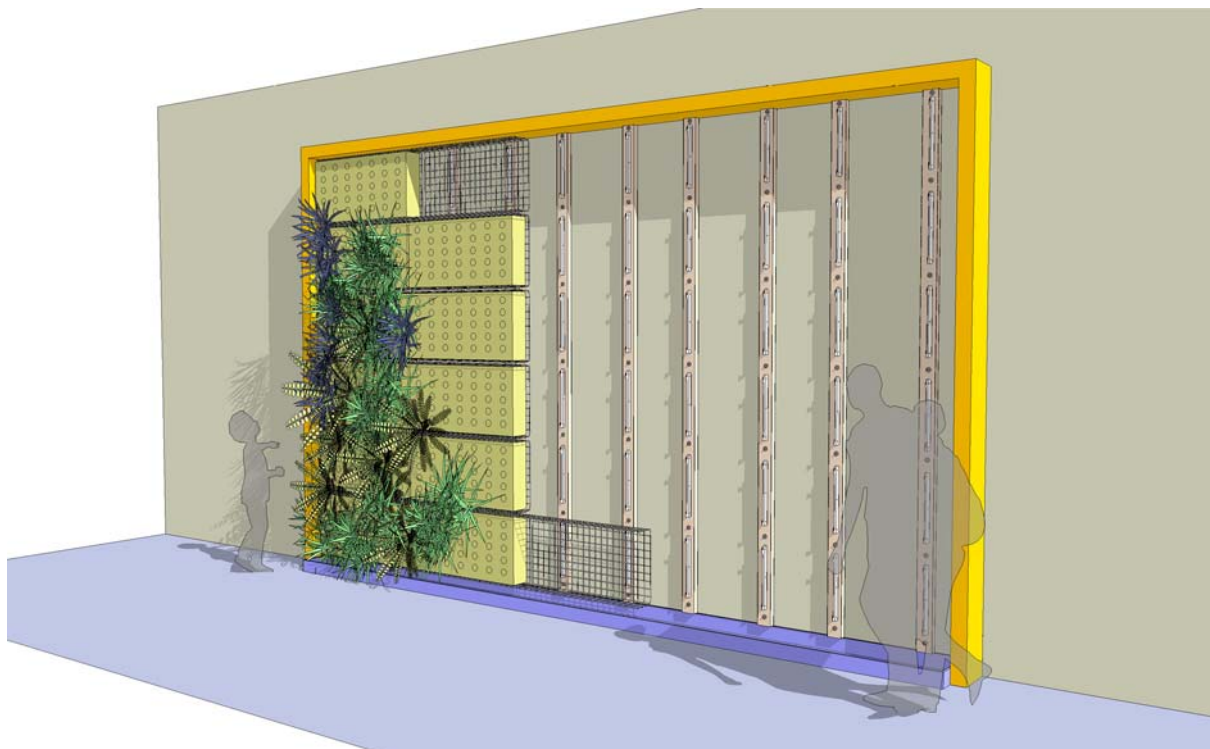


Fig.V.42 – Schema dei componenti e sottosistemi che normalmente compongono una chiusura vegetata. Nel disegno sono ben visibili, nell'ordine: i montanti verticali di supporto agli elementi modulari d'inverdimento; dei gabbioni metallici che servono – nel caso specifico – a contenere i moduli di substrato ed i relativi elementi scatolari (in colore giallo) contenenti il substrato stesso; la componente vegetale; la cornice d'interfaccia tra la parete edilizia e il sistema a verde (in arancione); la canalina per il recupero idrico alla base della parete (azzurro). Tali elementi, seppur possibilmente rappresentabili mediante altre differenti conformazioni, variabili o tecnologie – si pensi a quei sistemi che utilizzano del feltro sintetico come substrato, o quelli che al posto dei gabbioni metallici possono essere ad esempio realizzati con moduli polimerici preformati – sono quelli tipici e solitamente ricorrenti con le tecnologie oggetto di studio. Nel disegno non sono evidenziati gli strati impermeabile e antiradice: tale funzione, qualora necessaria, potrà essere esercitata dai moduli parietali stessi o essere attuata tramite delle stratificazioni dedicate. (Fonte: *Fytowall*)

Quando si opti per affidarsi ai sistemi offerti dall'industria come accade, appunto, ormai di sovente non solo nel caso delle chiusure inverdite ma all'interno dell'intero mercato edilizio, si renderà necessario selezionare un prodotto fra le molteplici opzioni oggi possibili sui mercati sia nazionali che esteri, nella ricerca di reperire quello che riesca meglio ad adattarsi alle caratteristiche funzionali o tecnologiche specifiche. Questo significherà poter contare sulla professionalità offerta dai tecnici dell'azienda (agronomi, ufficio tecnico, installatori, ecc.), e quindi anche beneficiare della loro esperienza ma, allo stesso tempo, sicuramente precluderà una certa libertà dell'architetto: le opzioni tecnologiche e la riuscita formale della chiusura inverdita dipenderanno in gran parte dalle caratteristiche del prodotto che si scelga di utilizzare. Sempre in linea con quello che accade nella normale attività architettonica, soprattutto all'interno dei confini nazionali, accade sovente che si contatti l'industria produttrice solo una volta che il progetto architettonico sia già ad una fase di sviluppo evoluta, chiedendo alle varie aziende di adattare gli elaborati di progetto alle caratteristiche e

modalità di realizzazione del sistema industriale prescelto, con ovvie ripercussioni sulla risultante formale (globale e di dettaglio) dell'edificio.

Risulta a questo punto obbligatorio evidenziare che anche la scelta dell'una o dell'altra fra le opzioni appena declinate procura delle notevoli ripercussioni dal punto di vista dei costi finali: seppur le opzioni fornite dall'industria si attestino tutte su prezzi elevati⁵² e tendenzialmente poco flessibili, essi sono in *tutti* i casi più economici di quando si decida di operare tramite la progettazione da zero di un nuovo sistema d'inverdimento.

V.2.3.1. Sistemi leggeri vs. Sistemi pesanti

Oltre all'apparato vegetale, l'elemento sicuramente più importante all'interno del pacchetto tecnologico di chiusura è il substrato; condizione che, peraltro, rappresenta la discriminante fondamentale nella differenziazione fra sistemi leggeri (Fig.V.46) e pesanti (Fig.V.44 e Fig.V.45) qui operata.

Il substrato è infatti rilevante sia per quel che concerne le caratteristiche di coltivo (consentendo o meno la capacità agronomica) che per le sue ripercussioni a livello di efficienza energetica e microclimatica. Considerando come paritetici tutti gli altri apparati presenti nelle chiusure verticali vegetate, è infatti possibile affermare che la proprietà determinante la maggiore o minore *pesantezza* di un sistema è proprio lo spessore dello strato di coltivo: *pesantezza* effettiva che assicura preziose ripercussioni sulle caratteristiche finali e prestazionali del pacchetto tecnologico. Proprietà come inerzia termica (massa volumica del materiale e quantitativo d'acqua in esso presente) e benessere acustico (principio della massa) dipendono in modo direttamente proporzionale allo spessore di substrato contenuto in chiusura, sia esso organico che inorganico.

In base a tali affermazioni è possibile dedurre che, considerando come sostanzialmente invariabili le altre caratteristiche tecnologiche del pacchetto di chiusura⁵³, la discriminante sostanziale per la determinazione di certe proprietà d'efficienza energetica e ambientale diventa proprio lo strato di coltivo. Le ripercussioni a livello sistemico della componente relativa al substrato possono essere classificate sia come ambientali che a livello d'efficienza energetica; ciò perché la proprietà di inerzia termica si dimostra preziosa in ambito estivo e soprattutto in contesti climatici mesotermici⁵⁴ come quello nazionale, mentre il benessere acustico rappresenta sicuramente la classe esigenziale più importante dopo quella relativa all'efficienza energetica.

È perciò possibile ammettere che il substrato, seppur finora scarsamente considerato per quel che concerne le sue possibilità di contribuzione energetica, rappresenta sicuramente l'elemento più importante – assieme alle proprietà benefiche associabili allo strato vegetale – del sistema parietale oggetto di studio, in forza delle sue ricadute a livello climatico-ambientale e quindi anche sotto l'aspetto della sostenibilità.

⁵² All'attuale stato dell'arte, seppur risulti difficile stilare delle classi medie di prezzo (in quanto entrano in gioco le dimensioni totali della parete, la sua collocazione ambientale e la morfologia edilizia) è possibile affermare che tutti i sistemi industrializzati per la realizzazione di chiusure vegetate si attestano su un prezzo medio compreso fra 350 e 800 €/m².

⁵³ Sia che il substrato sia molto pesante, sia che lo sia solo relativamente o scarsamente, tutti gli altri apparati tecnologici di chiusura non variano di molto: l'unico elemento che potrebbe dimostrare una sensibile variazione sarà la dimensione della sottostruttura di supporto, ma tale sua maggiorazione rientra comunque nell'ordine di pochi centimetri.

⁵⁴ Cfr. capitolo IV

LEGGERI	PESANTI
<ul style="list-style-type: none"> - Peso ridotto del pacchetto tecnologico di chiusura (compreso fra 0 Kg/m² e 80 Kg/m², entrambi considerati a saturazione idrica); - esiguità di substrato (minore di 15 cm); - tendenza alla scarsa o modesta ritenzione idrica; - prestazioni termoacustiche meno elevate (inerzia termica, fonoisolamento e fonoassorbenza); - minore dimensione della sub-struttura di supporto; - facilità d'installazione e/o movimentazione (flessibilità e adattabilità); - dimensioni contenute del pacchetto di chiusura (dipendentemente dallo spessore effettivo di substrato). 	<ul style="list-style-type: none"> - Peso elevato del pacchetto tecnologico di chiusura (maggiore di 80 Kg/m² a saturazione); - notevoli dimensioni di substrato (maggiore o uguale a 15 cm); - buona o discreta ritenzione idrica; - prestazioni termoacustiche molto elevate (elevata inerzia termica dovuta anche alla costante presenza di umidità nei substrati, fonoisolamento e fonoassorbenza); - dimensione accentuata della sub-struttura di supporto, dovuta al maggior peso del pacchetto; - maggior energia necessaria in fase di cantierizzazione; - dimensioni accentuate del pacchetto di chiusura.

Tab.V.43 – Tabella di confronto fra sistemi di chiusura leggeri e pesanti.



Fig.V.44 – A sinistra. Esempio di sistema pesante: Azienda *Poliflor*, prototipo di sistema per l'inverdimento parietale. Gabbioni metallici (100x100x25 cm) inglobano dei *materassini* sintetici contenenti substrato granulare di torba e perlite. Il sistema è inverdito mediante una stuoia organica prevegetata: le radici delle piante, col trascorrere del tempo, penetreranno all'interno del materassino attecchendo al substrato. In color marrone chiaro, alla sinistra dell'immagine, è visibile il sistema d'irrigazione, mentre l'elemento in ghiaia rappresenta la chiusura edilizia da inverdire. Tale prototipo non ha mai conosciuto uno sbocco commerciale.

Fig.V.45 – Al centro. Esempio di sistema pesante: *Vertical*, prodotto da *Daku Italia*. Il sistema è composto da gabbioni metallici zincati a caldo, che inglobano vasche di forma parallelepipedica contenenti substrato granulare per l'impianto di vegetali. La struttura così composta (che pesa circa 250 Kg/m²) potrà essere connessa alle chiusure edilizie che riescano a sostenerla, oppure venire messa in opera mediante propria base su fondazione dedicata. (Fonte: *Daku Italia*)

Fig.V.46 – A destra. Esempio di sistema leggero: *GiardinInVerticale* prodotto da *Verdeprofilo*. Dei pannelli rigidi modulari contengono uno strato di tessuto inorganico dello spessore di 1 cm: tessuto che, a sua volta, ospita l'impianto vegetale. Il tutto è montato su una struttura in alluminio, distaccata qualche centimetro dalla chiusura retrostante. (Fonte: *Verdeprofilo*)

V.2.3.2. Sistemi modulari vs. Sistemi realizzati in opera

La caratteristica della modularità è uno degli elementi fondanti alla base della delimitazione tassonomica operata in apertura di ricerca⁵⁵; quella che permette cioè di creare, all'interno della categoria delle chiusure verticali vegetate, il sottogruppo dei muri vegetali: le chiusure vegetate sono infatti caratterizzate dalla proprietà di essere costituite mediante elementi preformati, modulari e di varia natura materica, mentre i muri vegetali sono sempre realizzati in opera mediante l'assemblaggio di componenti.

La possibilità di creare dei sistemi contrassegnati da una certa industrializzazione e modularità, e quindi ottimizzabili dal punto di vista del processo sia costruttivo che della realizzazione in opera, consente di inserire i sistemi oggetto di studio all'interno della categoria della Tecnologia dell'Architettura, differenziandoli da quelle che sarebbero invece delle convenzionali installazioni vegetali che, per quanto caratterizzate da una tecnologia intrinseca anche elevata, rimarrebbero comunque delle opere sporadiche più vicine al mondo dell'arte che a quello dell'edilizia. All'interno dello sviluppo delle pareti a verde, la modularizzazione di sistema, sia essa concepita a livello sistemico o dei suoi componenti (ad esempio l'apparato vegetale o il substrato), è l'innovazione che sicuramente permetterà, col tempo⁵⁶, di poter paragonare la tecnologia in esame alle altre che interessano da vicino le discipline tecnologiche legate al mondo della produzione architettonica.

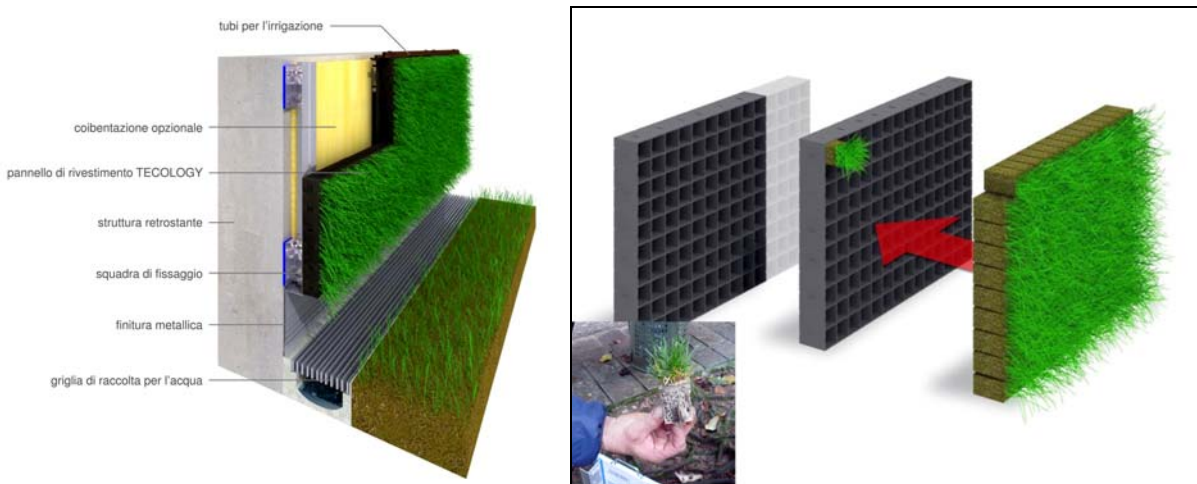


Fig.V.47 – A sinistra: *6.sesto punto*, sistema modulare per la realizzazione di chiusure vegetate, prodotto da *Tecology*. Il sistema è composto da moduli prevegetati in polipropilene riciclato delle dimensioni di 60x40x6 cm (Cfr. Fig.V.48), collocati in opera tramite montanti metallici verticali. Ogni modulo pesa circa 8 Kg a saturazione idrica ed è suddiviso in *alveoli* minori intercomunicanti sia orizzontalmente che verticalmente: alveoli che contengono un substrato di torbe miste per l'impianto di specie graminacee. (Fonte: *Tecology*)

Fig.V.48 – A destra: dettaglio del modulo che compone lo strato vegetale del sistema *6.sesto punto* (Fonte: *Tecology*). Nell'angolo in basso a sinistra dell'immagine è visibile uno dei sottomoduli a verde che occupano ogni singolo alveolo dei vari pannelli di facciata.

⁵⁵ Cfr. II.5

⁵⁶ È infatti possibile affermare che lo sviluppo dei sistemi di chiusura verticale a verde sia solo alle prime fasi delle proprie effettive potenzialità.



Fig.V.49 – A sinistra. Terunobu Fujimori, *Tsubaki Castle*, Tokyo: dettaglio della connessione fra chiusura verticale e superiore. Le fughe inclinate del rivestimento in pietra e il tetto a padiglione dell’edificio sono vegetati mediante un manto erboso piantato dopo la chiusura del cantiere edilizio. (Fonte: LAMBERTINI, ANNA, *Giardini in verticale*, in bibl., p.154)

Fig.V.50 – A destra. Triptyque, *Harmonia 57*, San Paolo (Brasile), 2008. Le chiusure verticali in calcestruzzo armato gettato in opera sono costellate da fori per la messa a dimora di piante di vario genere; messa a dimora avvenuta manualmente solo dopo la fine dei lavori edilizi. (Fonte: <http://anothertitle.com/2008/10/15/harmonia-57-triptyque>)

MODULARI	REALIZZATI IN OPERA
<ul style="list-style-type: none"> - Industrializzazione sistemica: razionalizzazione; - scarsa flessibilità globale del sistema in funzione delle caratteristiche di progetto; - il sistema giunge in cantiere pre-assemblato o tramite componenti pronte al montaggio; - possibilità di prevegetare (pronto-effetto); - semplicità nella realizzazione; - minor varietà di specie impiegabili; - rigidità nella risultante formale; - maggior controllo a monte e minore alla fine del processo di realizzazione (cantiere); - costo tendenzialmente minore. 	<ul style="list-style-type: none"> - Industrializzazione dei componenti ma non della totalità del sistema; - flessibilità tecnologica e formale (maggiore possibilità d’azione durante le fasi di cantiere); - necessità dell’assemblaggio in cantiere; - maggiore possibilità di variazione di alcune parti o componenti in funzione delle esigenze progettuali; - necessità di operatori specializzati durante le fasi di cantiere; - maggiore flessibilità nella selezione dei vegetali e maggiori potenzialità formali; - minor controllo a monte e maggiore alla fine del processo (cantiere); - costo tendenzialmente maggiore.

Tab.V.51 – Tabella di confronto fra sistemi di chiusura modulari e realizzati in opera.

Diviene quindi importante, se non altro a livello concettuale, poter operare l’ulteriore suddivisione semantica fra sistemi modulari (Fig.V.47 e Fig.V.48) o realizzati in opera (Fig.V.49 e Fig.V.50), così da riuscire a differenziare, tramite la chiave di lettura qui proposta, le caratteristiche degli organismi

realmente *evoluti* da quelli che presentino una tecnologia di processo meno avanzata; in modo da applicare una delimitazione di campo decisa, oltre che per comprendere appieno le effettive proprietà dell'uno o dell'altro.

Risulta perciò evidente – almeno per gli assunti che stanno alla base del presente studio – come vengano considerati di maggior peso i parametri che rivelano un'industrializzazione più elevata; ciò accade nonostante il fatto che, spesso, come dimostrato in Tab.V.51, alcune caratteristiche importanti (flessibilità del sistema, risultante formale, ecc.) possano conseguentemente risentirne.

V.2.3.3. Sistemi da esterni vs. Sistemi indoor

Differenziare le chiusure a verde in funzione dell'ambiente d'inserimento diviene un'azione fondamentale, in quanto la grande differenza che intercorre fra gli spazi collocati all'aperto a quelli presenti in ambienti confinati influisce soprattutto sulle possibilità di scelta legate alle specie vegetali impiegabili.

La collocazione in esterno (Fig.V.55) rende più difficoltosa la vita delle piante: l'ambiente più aggressivo (ad esempio conseguentemente alla possibile presenza di forti venti o pioggia battente, a fattori relativi all'inquinamento atmosferico, o a cause legate ai rigori del clima) unitamente alla variabilità stagionale invece irrilevante per le installazioni *indoor*, si traducono in criticità ambientali da contrastare con la corretta scelta delle piante. Inoltre, selezionare una o più specie vegetali non opportune in base all'ambiente previsto per l'installazione può tradursi nella necessità d'intervenire a posteriori sul sistema vegetale mediante azioni correttive come trattamenti fitosanitari o sostituzione di piante, con ovvie ripercussioni sulle spese gestionali. Al contrario, l'inserimento di una parete a verde in ambienti confinati (Fig.V.52 - Fig.V.54) permetterà ai vegetali di poter beneficiare di un contesto meno aggressivo e sostanzialmente stabile durante tutto l'anno: condizione che si rivela sicuramente più favorevole per la pianta e per la pianificazione gestionale dell'apparato vegetativo.

Qualora si intenda effettuare una scelta mirata e pertinente riguardo l'impiego di una specifica tipologia di parete a verde, anche il beneficio relativo alla tecnologia selezionata si tradurrà in una discriminante importante, perché in base alla collocazione d'inserimento (esterno o interno) varieranno anche i vantaggi derivanti: nei casi di applicazione *outdoor* avranno un maggiore peso i benefici legati all'efficienza energetica del manufatto architettonico, mentre all'interno saranno la qualità dell'aria e l'abbattimento acustico a beneficiarne⁵⁷.

⁵⁷ Fermo restando che invece, in entrambi i casi, il beneficio visivo e psicologico (cfr. capitolo VI) potranno essere considerati paritetici.



Fig.V.52 – A sinistra: BioTecture Ltd, *Anthropologie Store*, Londra, 2009. Muro vegetale *indoor*: nella parte alta dell’installazione è presente l’impianto d’illuminazione per fornire artificialmente alle piante la luce di cui necessitano, mentre sulla destra è visibile l’elemento di connessione verticale tra la chiusura pre-esistente e il sistema d’inverdimento. (Fonte: Valeria M. Rocco)

Fig.V.53 – Al centro e a destra: Tecology, installazione temporanea presso il palazzo della Triennale di Milano, 2010. La componente vegetale monospecie è realizzata con piante graminacee. L’attacco a terra (foto a destra) contiene un serbatoio per il recupero della soluzione idrosalina: il sistema di fertirrigazione è, quindi, a circuito chiuso.



Fig.V.54 – A sinistra. Modulo mobile per la realizzazione di muri vegetali *indoor*, prodotto dall’azienda *Verdecrea*. Nella parte bassa, contiene un serbatoio per il recupero della soluzione idrosalina non trattenuta dalle piante, che potrà così essere re-immessa in circolo mediante il sistema di fertirrigazione a circuito chiuso. Il prezzo commerciale di questo sistema si attesta mediamente sui 450-600 €/m².

Fig.V.55 – A destra. Malegori, *Il Muro Verde*. Esempio di sistema da esterni: vista sulla parte retrostante, quindi nel punto d’interfaccia con le stratificazioni di chiusura non direttamente interessanti l’apparato vegetale. La struttura è composta da elementi metallici zincati a caldo, che contengono a loro volta delle apposite mensole per l’appoggio di vasche contenenti substrati: la superficie vegetale risulterà quindi discontinua. Il tutto è servito da un sistema fertirrigante automatizzato. *Il Muro Verde* ha un prezzo medio di 500-600 €/m².

Diversa la questione relativa alla tecnologia costruttiva. Seppur la collocazione ambientale tra i due possibili contesti sia molto differente, il sistema tecnologico (strato vegetale escluso) è sostanzialmente simile. Gli unici parametri diversi consisteranno nell'impianto vegetale ed eventualmente in quello luminoso. Si renderà infatti necessario, qualora l'illuminazione naturale dell'ambiente di destinazione non sia sufficiente alle piante, dotare la parete di un impianto di luce artificiale, eseguito mediante apposite lampade a *spettro solare*⁵⁸: esse andranno montate in prossimità dell'installazione, in modo da irradiare tutta la superficie a verde ed avranno un funzionamento giornaliero definito in funzione delle specie utilizzate.

Ulteriore specificità sistemica è dovuta all'impianto irriguo. I sistemi indoor si adattano meglio ad impianti a circuito chiuso in quanto possono facilmente contenere, anche fuori terra, un bacino idrico per la raccolta finalizzata al ricircolo della semplice acqua o della soluzione idrosalina di fertirrigazione (Fig.V.53). Questo perché le installazioni indoor – a differenza di quel che accade nella maggioranza dei casi con le pareti verdi da esterni – vengono di sovente installate a posteriori in spazi esistenti o come installazioni temporanee: ne consegue che il fatto di dover ricavare delle tracce nel pavimento atte a contenere le canaline di recupero idrico, si rivelerebbe un'operazione eccessivamente onerosa o distruttiva. Motivazione che permette di affermare che le installazioni indoor si avvicinano maggiormente al settore dell'arredamento d'interni, mentre le pareti da esterni rientrano pienamente nel campo dell'architettura.

DA ESTERNI	DA INTERNI
<ul style="list-style-type: none"> - Dipendono primariamente dalle proprietà delle specie impiegate; - spiccata variabilità del sistema in funzione delle caratteristiche climatiche e microclimatiche; - maggiormente esposto agli attacchi ambientali (ad es. inquinamento), vegetali o animali (specie infestanti); - costo iniziale (relativo) minore; - spese gestionali più elevate; - deve resistere agli agenti atmosferici e alle intemperie; - potrebbe essere a circuito (d'irrigazione e/o fertirrigante) aperto; - maggiore contribuzione a livello di efficienza energetica del manufatto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Le caratteristiche ambientali del luogo d'impianto sono sostanzialmente costanti in tutto il mondo; - possibilità di controllo ambientale del contesto d'impianto (ad es. climatizzazione); - minor esposizione agli attacchi ambientali, vegetali o animali, dovuta alla delimitazione fisica del luogo; - costo iniziale (relativo) maggiore; - spese minori per la gestione; - può necessitare di un sistema d'illuminazione artificiale a <i>spettro solare</i> (per fornire alla pianta la percentuale luminosa di cui necessita); - potrebbe non richiedere un sistema d'irrigazione in funzione di alcune particolari specie⁵⁹ (caso comunque raro); - quasi sempre a circuito chiuso (d'irrigazione e/o fertirrigante); - maggiore contribuzione a livello acustico e di qualità dell'aria indoor.

Tab.V.56 – Tabella di confronto fra sistemi di chiusura da esterni (*outdoor*) e *indoor*.

⁵⁸ Le lampade a spettro solare sono delle particolari luci artificiali che producono un flusso luminoso simile a quello solare. Esse sono da tempo utilizzate in agronomia o floricoltura, ad esempio con le coltivazioni in serra.

⁵⁹ Ciò significa che l'apporto idrico – dal quale non si potrà in alcun caso prescindere – dovrà essere fornito mediante altre modalità, ad esempio manualmente.

V.2.3.4. Sistemi industrializzati vs. Sistemi artigianali

Distinzione importante, in quanto consiste nella vera discriminante tra i sistemi che appartengono alle discipline tecnologiche dell'architettura – dominati perciò da leggi intrinseche di settore come industrializzazione, modularità, razionalizzazione dei processi, ecc. – e quelli che, seppur importanti, possono essere considerate come delle sperimentazioni estemporanee. Questo perché l'industrializzazione di sistema fa parte delle tecniche del fare architettura *contemporaneo* e che, sia oggi che in futuro, ne caratterizzeranno prassi e modalità costruttive in modo sempre maggiore; gli altri, per contro, difficilmente troveranno la forza e la diffusione per uscire da confinamenti settorializzati quali arredamento d'interni o design.

Ulteriore questione è relativa al periodo di costruzione: le installazioni artigianali hanno caratterizzato soprattutto le realizzazioni di muri vegetali *della prima ora*, quando non esisteva una tecnica generalizzata o una produzione industriale specifica per queste particolari tipologie. Ciò significa che anni fa, mancando un supporto industriale ai professionisti che volessero sperimentare la verticalizzazione vegetale nel proprio lavoro, non c'era altro metodo che quello di ingegnarsi e produrre qualcosa in modo artigianale, quasi sempre operando mediante una collaborazione interdisciplinare fra progettista e vivaista (Fig.V.57).



Fig.V.57 – Studio Bay, *Moschino Store*, Capri (NA), 2001. Installazione a verde eseguita artigianalmente: a supporto del sistema vegetale si sono utilizzati dei pannelli a base polimerica delle dimensioni di 50x50 cm (solitamente impiegati nelle opere di terra armata), mentre lo strato a verde monospecie (prevegetato in vivaio) è composto da piante del genere *Sempervivum tectorum*, appartenenti alla famiglia delle *Crassulaceae*. L'installazione risulta particolarmente interessante perché le specie impiegate, essendo geneticamente adattate ai climi aridi, non necessitano di un grande quantitativo idrico. La parete non presenta infatti alcun impianto d'irrigazione automatizzato: l'apporto idrico avviene manualmente, impiegando quando necessario un semplice nebulizzatore manuale a spruzzo. (Fonte: Marco Bay)

INDUSTRIALIZZATI	ARTIGIANALI
<ul style="list-style-type: none"> - Rigidità formale e tecnologica; - facilità di reperimento e installazione; - maggiormente adatto per le realizzazioni di grandi dimensioni; - possibilità di contare sulle professionalità offerte dall'industria, durante tutte le fasi del ciclo di vita; - consta di sistemi rodati e in via di continuo affinamento; - minor costo di costruzione relativo; - minor flessibilità nella realizzazione; - possibilità di affidarsi ad un fornitore unico (azienda produttrice) per tutte le parti del sistema, nonché per le fasi gestionali. 	<ul style="list-style-type: none"> - Possibilità di variare di volta in volta le caratteristiche del sistema, sia sotto l'aspetto tecnologico che formale; - relativa difficoltà e potenziale delocalizzazione nel reperimento dei componenti (sia tecnologici che del verde); - tendenzialmente adatto a installazioni di modeste dimensioni (soprattutto <i>indoor</i>); - richiede grande professionalità ed esperienza della figura che realizza il sistema; - la possibilità di continua variazione del sistema nasconde delle criticità intrinseche; - costo relativo maggiore; - totale flessibilità rispetto alle necessità progettuali e architettoniche.

Tab.V.58 – Tabella di confronto fra sistemi di chiusura industrializzati e realizzati artigianalmente.



Fig.V.59 – Albero Monti & Associati, *Palazzo della Provincia di Milano*, 2004. Esempio di muro vegetale eseguito in modo artigianale: l'installazione consta di un'anima in grigliato metallico contenente substrato; le specie vegetali sono erbacee e tappezzanti. Alla base della parete è visibile una vasca d'acqua che funge da serbatoio per la soluzione idrosalina: il sistema nutrizionale consiste quindi in una fertirrigazione a circuito chiuso. (Fonte: Nicolas Monti)

Se i sistemi artigianali (Fig.V.57 e Fig.V.59) sono contraddistinti da una certa unicità, e ogni installazione risulterà – anche se magari solo di poco – differente dall'altra, essi si basano comunque su delle componentistiche derivanti dalla tecnica industriale: si pensi, ad esempio, alle tecnologie che compongono un sistema d'irrigazione; per contro, come da definizione, quelli derivanti dall'industria

sono interessati da una grande tipizzazione che, soprattutto allo stato attuale della tecnica, riescono addirittura a far coincidere la riuscita formale della parete a verde con le specificità tipiche dell'uno o dell'altro produttore: sarà così possibile riconoscere fin da subito, o quasi, le pareti che escono dai laboratori di Patrick Blanc piuttosto che tecnologie coniate altrove.

La grande differenza tra i sistemi realizzati artigianalmente e quelli prodotti dall'industria risiede nella fase di montaggio. Se questi ultimi possono essere considerati dei componenti edilizi realizzati completamente in laboratorio (addirittura, in molti casi, anche per quel che concerne l'apparato vegetale stesso: prevegetatura), gli altri necessitano di una collocazione in opera manuale dell'intero sistema, in cui l'operatore deputato alla costruzione dovrà provvedere al componimento dell'intero sistema mediante la messa in opera, presso il cantiere, di tutte le parti che lo compongono.

V.2.3.5. Sistemi a strati continui vs. Sistemi puntuali

Prima di procedere con la descrizione di questa categoria è necessaria una premessa: la classificazione dei *Sistemi puntuali* è probabilmente una forzatura in quanto, essendo essi più un prodotto del disegno industriale che dell'edilizia (Fig.V.60 e Fig.V.62), vengono qui citati esclusivamente per completezza tassonomica e procedurale. Ciò significa che essi, forse, potrebbero non rientrare esattamente nel gruppo delle chiusure vegetate, soprattutto conseguentemente al fatto che la tecnica e le prassi costruttive che tendenzialmente li caratterizzano esulano da una tecnologia che abbia dei caratteri di unicità sistemica (quindi interessanti la totalità o buona parte di una chiusura) per concretizzarsi invece in fenomeni che solo localmente agiscono su una parete. Per di più, anche se sia indiscutibilmente possibile ammettere che gli esemplari vegetali che essi inglobano siano in alcuni casi integrati all'architettura, essi lo sono esclusivamente come fenomeno puntuale e la chiusura stessa potrebbe sussistere anche senza di loro.

Di conseguenza, l'ampia gamma di benefici derivanti dalla sinergia esercitata dal binomio vegetazione-substrato sono direttamente proporzionali al loro effettivo quantitativo (cioè la superficie vegetale nel caso delle piante e il volume totale per quel che concerne i substrati), perciò minore sia la presenza del verde più piccolo sarà il beneficio da esso esercitato.

I sistemi puntuali hanno quindi maggiormente a che fare con l'estetica dell'architettura piuttosto che con le sue caratteristiche tecnologiche e prestazionali anche se, ovviamente, qualunque sia la classificazione di riferimento, risulterà sempre difficoltoso scindere le valenze prettamente formali da quelle tecnologiche e prestazionali per un qualsiasi sistema o progetto; per contro, è sicuramente possibile ammettere che i sistemi a superficie continua – tecnologia maggiormente convenzionale e largamente più usata – potranno essere considerati e valutati alla stregua di una qualsiasi altra tipologia di facciata architettonica (ma una volta che si sia comunque compreso che, al contrario, non sarà quasi mai concesso di considerare l'impianto vegetale alla stregua di un qualsiasi materiale per l'edilizia⁶⁰).

⁶⁰ Cfr. capitolo VI



Fig.V.60 – A sinistra. HUSOS e Francisco Amaro, *GBHNPCB – Casa-Taller Croquis*, Cali (Colombia), 2008. Esempio di sistema d’inverdimento puntuale: nel caso specifico è stato eseguito *artigianalmente*, mediante la modellazione del calcestruzzo armato con cui è eseguita la parete ospitante, in modo da creare una sorta di “vasi” per l’impianto di vegetali. (Fonte: http://www.husos.info/proyectos/EJHNM/00_6_bulbos%202.jpg)

Fig.V.61 – A destra. Emilio Llobat e Ceracasa, *Lifewall*, 2010. Come dimostrato in figura è possibile realizzare degli inverdimenti puntuali anche mediante l’impiego di sistemi *industrializzati* e modulari semplicemente variando la composizione materica della facciata, cioè operando contemporaneamente sia con moduli a verde che mediante componenti tradizionali. (Fonte: <http://www.ceracasa.com/cmsupload/470px-ceracasa-bionictile-amb.jpg>)



Fig.V.62 – Due sistemi per l’inverdimento parietale puntiforme, nati come sperimentazioni estemporanee della disciplina dell’industrial design. A sinistra un sistema metallico verticale contenente dei fori per l’inserimento di specie succulente, progettato da *Rana Creek* (Fonte: <http://inhabitat.com/interview-paul-kephart-of-rana-creek-part-ii>). A destra una superficie in ceramica inglobante dei vasi, su disegno di Maruja Fuentes. (Fonte: <http://mocoloco.com/archives/011140.php>)



Fig.V.63 – A sinistra. Esempio di sistema a strati continui: *Giardini Verticali Sfagno*, commercializzato dall’azienda *Antologia* (modulo dimostrativo). Il sistema è composto da gabbioni metallici modulari contenenti un substrato in sfagno.

Fig.V.64 – A destra. *Facciata Vegetale* prodotto da *Optigrün*: dettaglio dell’angolo in corrispondenza del coronamento superiore. Il sistema puntiforme è composto da un’anima scatolare in alluminio, contenente dei materiali di origine vulcanica dalle elevate capacità di ritenzione idrica, che fungono da riserva d’acqua per l’apparato vegetale. Tale sistema presenta uno spessore totale di 6 cm e viene messo in opera tramite una sub-struttura d’interfaccia con la parete edilizia. Esso può essere forato in più punti per l’inserimento di vasi in PVC contenenti piante; nella parte retrostante alla sub-struttura si rende necessario l’inserimento di uno strato impermeabilizzante. Risulta anche evidente come aumentando il numero totale di piante inserite in chiusura si possa passare da facciata puntiforme a “quasi continua”. Il costo finale del sistema oscilla fra 500 e 1.200 €/m².

A SUPERFICIE CONTINUA	PUNTUALI
<ul style="list-style-type: none"> - Varietà architettonica limitata alla sola componente verde; - contribuzione funzionale ed efficienza ottimali; - elevato numero di specie impiegabili; - i costi gestionali sono ottimizzati grazie ad una superficie d’intervento maggiore; - possibilità di una più elevata industrializzazione sistemica; - maggiore facilità d’impiego. 	<ul style="list-style-type: none"> - Varietà compositiva ed architettonica generata anche dalla relazione fra superficie a verde e non; - maggiore integrabilità su chiusure esistenti; - scarsa efficienza e/o contribuzione funzionale; - numero limitato di specie impiegabili; - difficoltà nella gestione idrica e nutrizionale, soprattutto se automatizzata (Fig.V.61); - minori costi gestionali assoluti ma più elevati costi relativi; - sistema difficilmente industrializzabile durante l’intero processo; - impiego più difficile.

Tab.V.65 – Tabella di confronto fra sistemi di chiusura a superficie continua e sistemi puntuali.

V.2.4. Il sistema tecnologico parete a verde: elementi d'interfaccia tra sottosistemi differenti

Il sistema della chiusura verticale vegetata è assimilabile, come visto, ad un apparato tecnologico d'integrazione a quello della chiusura architettonica, che collaborano nella formazione di un sottosistema edilizio derivante dalla sommatoria di tali due sottosistemi tecnologici. L'elemento funzionale più importante nell'interfacciare positivamente i due succitati sottosistemi è una semplice grondaia avente la funzione di veicolare i liquidi ad adeguata distanza dai punti sensibili della struttura, ed eventualmente reimpiegarla⁶¹: essa andrà sostanzialmente ripetuta in tutti i nodi nevralgici della struttura, con la funzione di evacuare la massa umida che costantemente pervade la parete. Tale elemento, in funzione della propria collocazione spaziale e sistemica, potrà dunque essere superiore, laterale o inferiore a porte, finestre, aggetti o altri elementi che intersechino la parete a verde.

Quando una facciata a verde incontra un qualsiasi corpo che ne impedisca la continuità si renderà necessario provvedere mediante un elemento architettonico opportunamente studiato e conformato che funga da *limite*, o da apparato tecnico a protezione delle retrostanti stratificazioni che altrimenti rimarrebbero esposte agli agenti meteorologici. Visto che le facciate qui descritte sono costantemente pervase da acqua o altre soluzioni liquide, la criticità più grande sarà sempre costituita dalle masse umide che possano percolare verso il basso e raggiungere elementi sensibili della struttura (stratificazioni retrostanti, serramenti, ecc.), danneggiandoli. I casi in cui debba essere studiata la connessione tra l'apparato a verde ed altri elementi architettonici caratteristici sono i seguenti (Fig.V.66):

- attacco a terra;
- attacco al cielo;
- attacco al serramento o aggetti edilizi;
- congiunzione angolare tra facciate a verde.

Ognuno di questi richiederà adeguati e differenti livelli di attenzione nella progettazione esecutiva e nella realizzazione del dettaglio; perciò ogni categoria verrà ora passata in rassegna, mettendone in evidenza criticità specifiche e spunti progettuali.

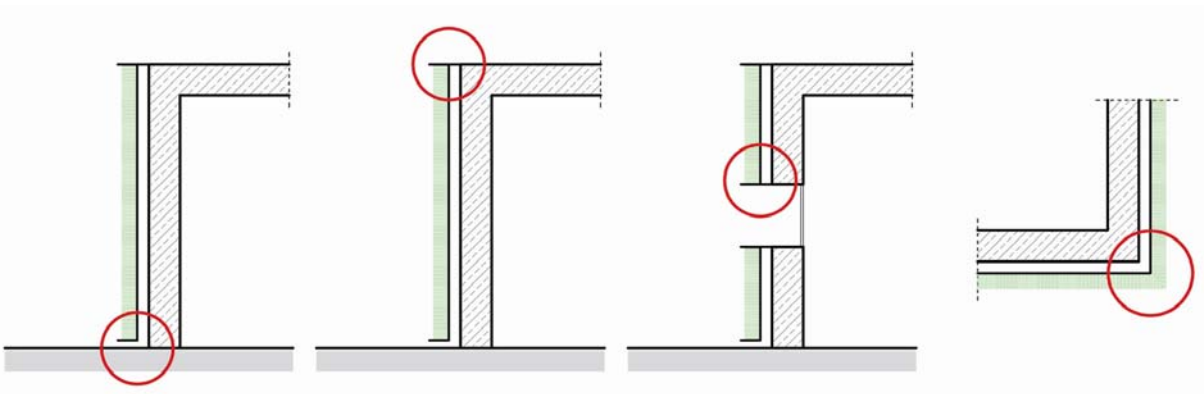


Fig.V.66 – Schema dei nodi caratteristici relativamente alla connessione tra apparato a verde ed elementi architettonici dell'edificio. Da sinistra verso destra sono schematizzati in sezione: attacco a terra, attacco al cielo, attacco con il serramento. L'ultima immagine a destra rappresenta (in pianta) la connessione angolare tra due facciate a verde.

⁶¹ Nel caso di sistemi d'irrigazione o fertirriganti a circuito chiuso.

V.2.4.1. Attacco a terra

La funzione principale dell'*attacco a terra* è quella di connettere le superfici verticali a verde con quelle orizzontali alla base dell'edificio (Fig.V.67); superfici che spesso sono caratterizzate da materiali differenti, quindi discontinue dal punto di vista materico e tecnologico.



Fig.V.67 – Saia, Barbarese e Topouzanov Architects, padiglione del Canada presso l'Expo di Shanghai 2010. L'attacco a terra è stato risolto mediante una duplice strategia (foto di sinistra): in alcuni punti tocca terra, mentre in altri si eleva dal suolo per consentire il passaggio delle persone. Dal punto di vista tecnologico (a destra), esso consiste in una canalina destinata a contenere il liquido in eccesso rilasciato dalla facciata. La chiusura vegetata monospecie qui rappresentata consta di un sistema modulare, continuo e contenente una consistente quantità di substrato, quindi *pesante*. (Fonte: Giovanni Zannoni)

Funzione specifica interessante le pareti a verde è invece quella di funzionare da bacino di raccolta dei liquidi non utilizzati dai vegetali, prima di convogliarli verso le normali reti di smaltimento reflui o negli specifici sistemi di riutilizzo della soluzione idrosalina. Esso dovrà quindi consistere in una canaletta interrata (o in uno zoccolo basamentale fuori terra) adeguatamente progettato per accogliere e convogliare tutto il liquido in eccesso (Fig.V.68 e Fig.V.69); andrà quindi dimensionato in funzione di: dimensione della parete, tipo di vegetazione impiegata, caratteristiche del substrato (ritenzione idrica dei materiali che lo compongono). Importante sarà effettuare il corretto dimensionamento del sistema di smaltimento (operando secondo la normativa vigente), in modo che il liquido in eccesso non trabordi sulla superficie orizzontale, limitandone o impedendone la praticabilità (Cfr.Fig.V.5 e Fig.V.6). Qualora invece non interessasse recuperare i liquidi non impiegati dalla parete o l'attacco a terra avvenisse con altre superfici a verde, si potrebbe evitare la realizzazione di un sistema di raccolta e smaltimento: in tal caso alla base della chiusura potrà essere previsto il terreno o un normale sistema di drenaggio in ghiaia o altro (Fig.V.71).

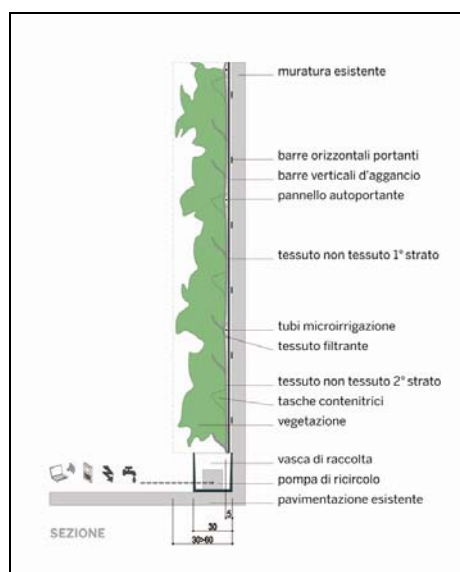
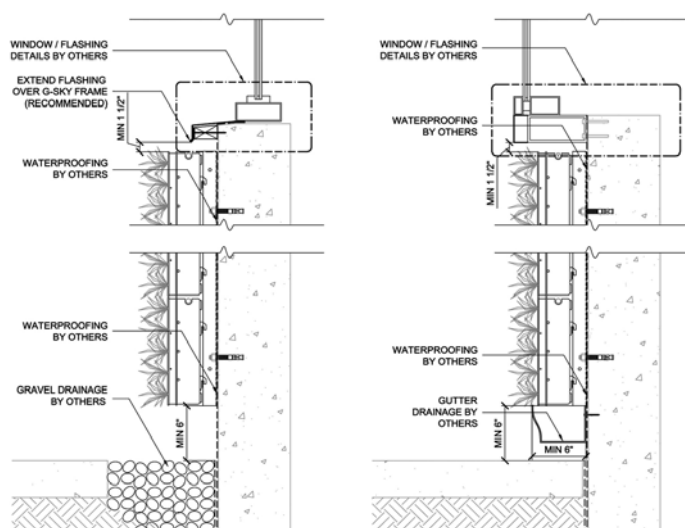


Fig.V.68 – A sinistra. Dettaglio dell’attacco a terra fra parete vegetata e chiusura edilizia. Nel disegno sono rappresentate due opzioni differenti: a sinistra il liquido eventualmente rilasciato dal sistema a verde viene convogliato verso il normale sistema di smaltimento idrico o fognario (sistema a circuito aperto); nel dettaglio a destra è invece presente una canalina per il recupero della soluzione fertirrigante: a quel punto il liquido potrà venire re-immesso nel ciclo d’irrigazione (sistema a circuito chiuso) o essere convogliato verso lo smaltimento. (Fonte: G-SKY)

Fig.V.69 – A destra. Sistema *Tec Verde* per la realizzazione di installazioni vegetate da interni. Alla base della parete è schematizzata la vasca di raccolta per il ricircolo dei liquidi. (Fonte: catalogo *Tec Verde*)



Fig.V.70 – A sinistra. Atelier Jean Nouvel, *Musée du Quai Branly*, Parigi (Francia), 2006. Esempio di come possa avvenire la diretta interazione tra essere umano e facciata inverdita: tale possibilità dovrà essere attentamente ponderata in sede progettuale. Si noti come, nella parte bassa dell’immagine, una parte della soluzione idrosalina invada la strada. (Fonte: <http://www.echostudiochicago.com/learn/images/patrick-blanc-c.jpg>)

Fig.V.71 – A destra. VenhoevenCS, *Sportplaza Mercator*, Amsterdam (Paesi Bassi), 2006: vista del retro. L’attacco a terra è semplicemente realizzato dall’incontro tra le superfici verticale e orizzontale: non è infatti previsto alcun sistema per il trattamento dei liquidi in eccesso, che si allontaneranno dall’edificio trasbordando in strada. Si veda la contestuale Scheda Progetto al paragrafo V.3. (Fonte: Giovanni Avosani)

Quando una parete a verde giunga fino a terra dovrà essere inoltre considerata una problematica ulteriore, relativa alla possibilità d'interazione fra l'essere umano e l'apparato vegetale (Fig.V.70). Relazione che potrebbe in alcuni casi rendersi svantaggiosa, in modo peraltro bilaterale. Infatti, potrebbe accadere che la superficie a verde sia oggetto di atti di vandalismo più o meno gravi (ad esempio estirpazione di esemplari vegetali esercitate dai passanti) o, per contro, la possibilità che una scelta errata delle specie si riveli nociva verso le persone: ad esempio quando si utilizzino specie urticanti, allergogene, o che possano ingombrare e sporcare la superficie del pavimento⁶².

V.2.4.2. Attacco al cielo

La questione dell'*attacco al cielo* è quella meno problematica. La funzione di tale elemento è duplice, in quanto oltre ad avere lo scopo di coronare la parete nella sua parte più alta, esso avrà anche il compito di proteggere gli strati retrostanti all'apparato vegetale dalle idrometeore di precipitazione. Inoltre, qualora la chiusura vegetata contenga all'interno del proprio pacchetto tecnologico anche una camera di ventilazione (opzione sempre consigliabile), l'apparato di attacco al cielo avrà la funzione aggiuntiva di inglobare la griglia sommitale per l'espulsione dell'aerazione.

Tale elemento tecnico può risolversi nella collocazione di un corpo adeguatamente conformato (come ad esempio una scossalina metallica) o nel risvolto della parete, in modo che quest'ultima vada a colmare la distanza intercorrente tra gli apparati della parete vegetata e la rimanente quota-parte della chiusura edilizia (Fig.V.72 e Fig.V.73). Diverso il caso in cui sia presente uno sporto di copertura o un oggetto edilizio che possa colmare la citata distanza tra apparato vegetale ed elementi strutturali: in tal caso la scossalina non si renderà necessaria, perché l'elemento aggettante potrà essere sfruttato come sistema di coronamento della porzione a verde (Fig.V.74).

Si precisa che un'altra opzione eventualmente possibile potrebbe essere quella di non realizzare alcun elemento sommitale di tamponamento tra l'apparato di vegetazione e quello rimanente di chiusura (Fig.V.75): condizione tipica nel caso in cui si voglia rendere la parete a verde fruibile su entrambi i lati, e cioè visibile sia dall'interno che dall'esterno dell'edificio. Tale volontà, che renderà obbligatorio lo sdoppiamento dell'apparato a verde sui due lati, obbliga alla condizione progettuale in cui la dimensione dell'intercapedine venga aumentata di molto e posta ad opportuna distanza dalla chiusura verticale, così che la facciata verde perda la propria configurazione di *chiusura* per divenire un paramento bidimensionale autoportante o semplicemente controventato al restante volume del manufatto: strategia che peraltro produrrà un aumento dei costi proporzionale allo sdoppiamento della superficie vegetata.

Essa si rivela inoltre un'opzione possibile ma sicuramente rischiosa, visto che la superficie di chiusura – in tale caso specifico parzialmente o totalmente vetrata – rimarrebbe completamente esposta agli eventi meteorologici: gli andrà quindi obbligatoriamente riservata particolare attenzione progettuale. Infatti, la strategia operativa in questione non creerebbe particolari problematiche gestionali solo qualora gli apparati che rimangono esposti alle idrometeore (superfici parietali di chiusura, porte, finestre, ecc.) non presentino criticità dovute all'azione meteorologica.

⁶² Considerazioni in merito alla corretta selezione dei vegetali da impiegare sono già state effettuate in precedenza (Cfr. III.7 e IV.6.3): si rimanda a quelle sedi per l'approfondimento.



Fig.V.72 – A sinistra: esempio di montaggio del modulo prevegetato *Greenwall*. Si noti come sia l'elemento superiore che quelli verticali sono raccordati alla chiusura edilizia mediante una scossalina metallica; nel caso specifico, come ultima operazione di cantiere, nella parte inferiore della parete verrà collocata una grondaia per la raccolta dei liquidi in eccesso. I moduli prevegetati sono collocati in parete tramite l'ausilio di un sottosistema metallico di supporto; il tutto è completato dal sistema automatizzato di fertirrigazione. (Fonte: *Peverelli*)

Fig.V.73 – A destra: Buchner & Bründler, padiglione svizzero presso l'Expo di Shanghai 2010. L'involucro prospettante sulla corte interna è stato completamente inverdito mediante due specifiche e differenti tecnologie, l'una per facciate e l'altra per coperture. L'attacco al cielo è risolto mediante il risvolto della chiusura inverdita verticale, fino a farla congiungere con la copertura. La tecnologia d'inverdimento impiegata nelle chiusure verticali è prodotta dalla ditta australiana *Elmich* e denominata *VGM*. Cfr. Fig.V.24 e Fig.V.25. (Fonte: Giovanni Zannoni)

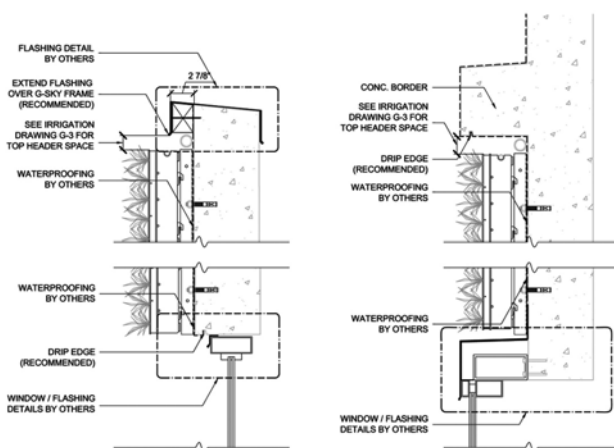


Fig.V.74 – A sinistra. Dettaglio della connessione sommitale fra parete vegetata e chiusura edilizia. Sono rappresentate due opzioni: a sinistra il raccordo avviene tramite una scossalina preformata; a destra, la porzione vegetata è incastonata nella chiusura grazie ad un risvolto strutturale della stessa. Riguardo a quest'ultimo caso, si ritiene che l'attacco col serramento non sia eseguito in maniera adeguata: mancando una grondaia alla base della parete vegetata, porzione del liquido in eccesso potrebbe trabordare sulla finestra. Cfr. V.2.4.3. (Fonte: *G-SKY*)

Fig.V.75 – A destra. ARUP, *Citygroup Data Centre*, Francoforte (Germania). L'edificio non presenta alcun elemento sommitale di connessione fra l'apparato a verde e la rimanente porzione di chiusura edilizia. (Fonte: [http:// www.datacenterknowledge.com](http://www.datacenterknowledge.com))

V.2.4.3. Connessione con chiusure trasparenti e serramenti

La funzione principale è quella di distaccare l'apparato a verde dalle eventuali forometrie presenti in facciata, quindi creare un elemento fisico di divisione tra due elementi di origine differente; a ciò si aggiunge la mansione protettiva dell'intercapedine⁶³ formatasi tra il sistema a verde e la chiusura.

Tale nodo sensibile si compone sostanzialmente di tre elementi, riassumibili in: grondaia sovrastante il serramento, imbotti verticali, davanzale della finestra (nel caso di porte, l'elemento inferiore non esisterà – Fig.V.76 e Fig.V.70). Se imbotti, soglia e davanzale svolgono la loro funzione classica di elementi di delimitazione, l'apparato più importante di questo particolare sottosistema connettivo è sicuramente la grondaia di colmo (Fig.V.79 e Fig.V.74). Essa sarà deputata ad evacuare il liquido eventualmente in eccesso (salvaguardando così l'integrità del serramento sottostante), a fungere da elemento architettonico di raccordo tra apparati diversi e a coronare il serramento nella sua parte sommitale, ospitando anche eventualmente la griglia di aerazione dell'intercapedine.

Caso particolare è quello in cui debbano venire connesse due superfici materiche difformi ma complanari all'interno della stessa facciata. Tali elementi dalle caratteristiche differenti (formati cioè da vegetazione naturale e un qualsiasi altro materiale edilizio) andranno separati, anche in questo caso, da un idoneo elemento architettonico adeguatamente conformato. È possibile affermare che anche nel caso specifico la metodologia operativa sia sempre la medesima, ossia l'impiego di un apparato architettonico di raccordo, adeguatamente conformato e in materiale resistente all'acqua, che abbia la funzione di divisione tra i due. Si avranno perciò dei semplici raccordi verticali nel caso, più semplice, di complanarità verticale (Fig.V.81); mentre qualora il contatto tra le due superfici di diversa natura avvenga orizzontalmente, sarà opportuno che tale elemento funga anche da grondaia per i motivi già visti in precedenza (Fig.V.78).

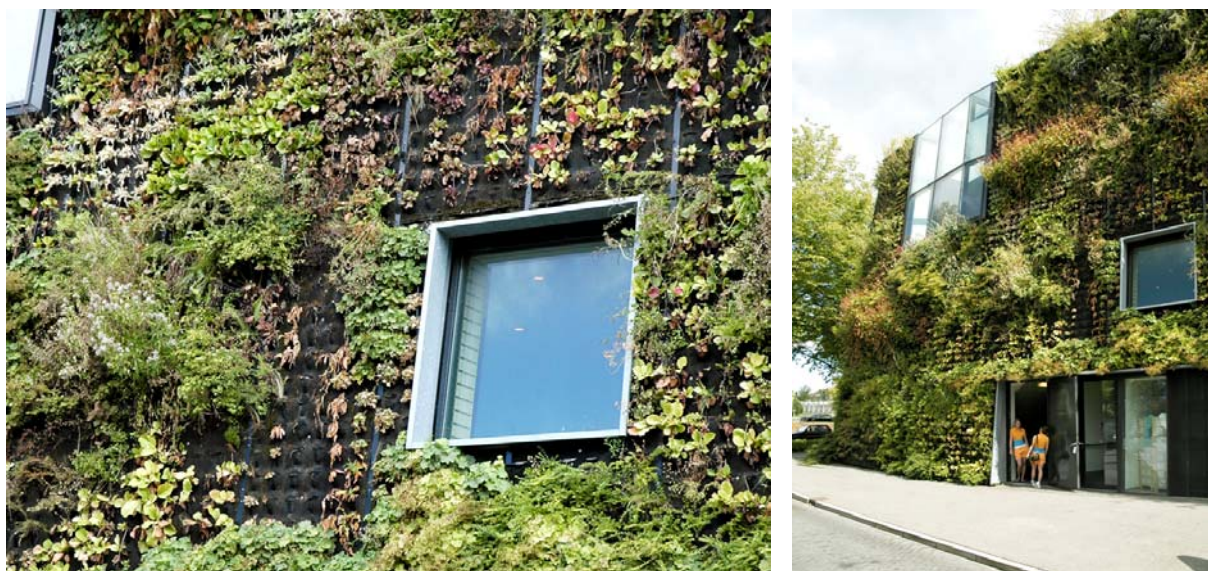


Fig.V.76 – VenhoevenCS, *Sportplaza Mercator*, Amsterdam (Paesi Bassi), 2006: dettaglio di una finestra (foto di sinistra) e vista della facciata laterale (a destra). Dalle immagini è visibile come siano state risolte le cornici delle varie forometrie presenti in facciata. Si veda la contestuale Scheda Progetto al paragrafo V.3. (Fonte: Giovanni Avosani)

⁶³ Realizzazione di un'intercapedine d'aerazione che – come visto – risulta in tutti i casi consigliabile, sia per le sue funzioni di *buffer* bioclimatico, che per quel che concerne la protezione delle stratigrafie retrostanti dalla possibile umidità interstiziale e dall'azione disgregante delle radici.



Fig.V.77 – A sinistra. VenhoevenCS, *Sportplaza Mercator*, Amsterdam (Paesi Bassi), 2006: particolare di una porta. Una semplice scossalina in acciaio zincato a caldo funge da elemento separatore tra vegetazione e serramento. Interessante da notare anche la rigogliosità vegetale: la foto è stata scattata in data 30/08/2009, quindi le piante si trovavano in piena attività vegetativa. Si veda la contestuale Scheda Progetto al paragrafo V.3. (Fonte: Giovanni Avosani)

Fig.V.78 – A destra. Carloratti Associati, *Trussardi Café*, Milano, 2008. La chiusura a verde non tocca terra, perciò la sua parte inferiore è stata risolta mediante un elemento che funge da grondaia. Il muro vegetale è stato realizzato dalla ditta italiana *Verdecrea*. Si veda la contestuale Scheda Progetto al paragrafo V.3.



Fig.V.79 – Patrick Blanc: muro vegetale presso l'*Athenaeum Hotel*, Londra (Inghilterra), 2009. Dettagli della connessione fra muro vegetale e serramenti. Nella foto di destra si noti, a destra della chiusura trasparente, la tubatura verticale di fertirrigazione. (Fonte: Valeria M. Rocco)

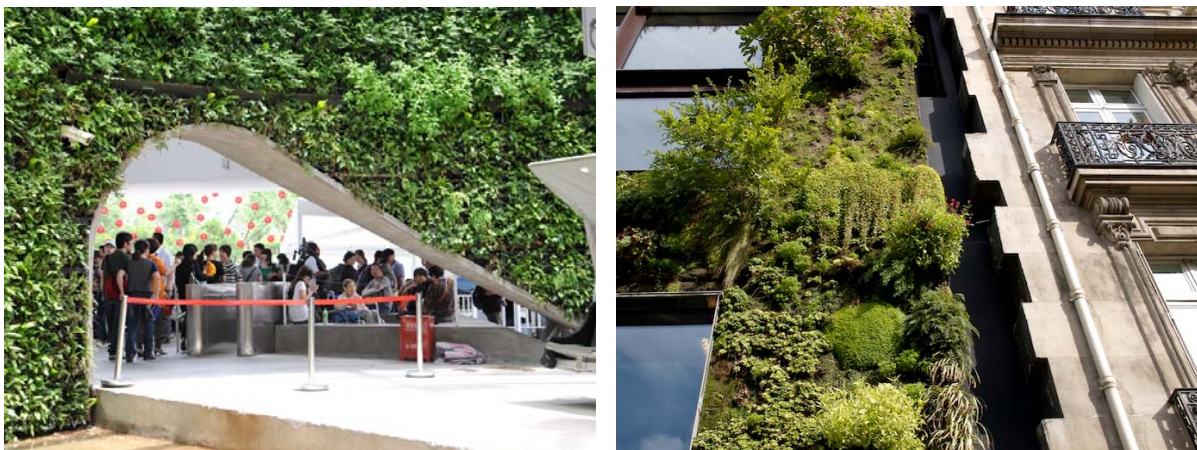


Fig.V.80 – A sinistra. Buchner & Bründler: Padiglione svizzero presso l'Expo di Shanghai 2010. Dettaglio di un foro per il passaggio di persone. Una semplice superficie risvoltante di calcestruzzo armato funge da elemento d'appoggio per il sistema vegetale. In base agli assunti finora illustrati è evidente che tale superficie risvoltante dovrà servire anche da sistema per il deflusso idrico, conducendo i liquidi in eccesso verso la vasca d'acqua posta ai due lati del portale. La tecnologia della parete a verde monospecie è composta da elementi modulari preformati a base polimerica, contenenti il substrato d'impianto. (Fonte: Giovanni Zannoni)

Fig.V.81 – A destra. Atelier Jean Nouvel, Patrick Blanc: *Musée du Quai Branly*, Parigi (Francia), 2006. Dettaglio della facciata. Il raccordo verticale fra superfici complanari di natura materica differente è stato risolto mediante l'interposizione di una lamiera metallica fuori-filo: si presume che tale elemento funga anche da giunto di dilatazione tra i due manufatti. (Fonte: <http://www.panoramio.com>)

V.2.4.4. La realizzazione dell'angolo

La funzione dell'elemento è quella di unione tra due superfici inverdite, nel caso in cui le facciate a verde siano più d'una. Tale punto di unione è critico in quanto, ai fini bioclimatici e di efficienza energetica, è indispensabile che l'angolo venga reso il più possibile come un elemento impermeabile alle infiltrazioni o fuoriuscite d'aria, al fine di preservare il funzionamento della camera di ventilazione. Strato impermeabile all'aria che, qualora la tecnologia d'inverdimento lo permetta, potrà essere anche realizzato in continuità con lo strato a verde.

Dal punto di vista prettamente progettuale esso potrà essere risolto nel modo ritenuto più opportuno (ad esempio tramite un angolare metallico verticale adeguatamente conformato, o mediante il sormonto di una delle due facciate sull'altra) ma quello che conta sarà mirare alla tenuta idrica e aerea del sistema. Ne consegue che, sia che si opti per la risoluzione di tale dettaglio tramite la giustapposizione angolare in un unico punto, sia che si scelga di realizzarlo mediante il prolungamento di una delle due facciate, esso consisterà sempre in un espediente finalizzato alla risoluzione della discontinuità geometrica tra due chiusure, in modo da diminuire il più possibile i moti d'aria (in uscita o in entrata) e per proteggere le stratificazioni interne della parete.

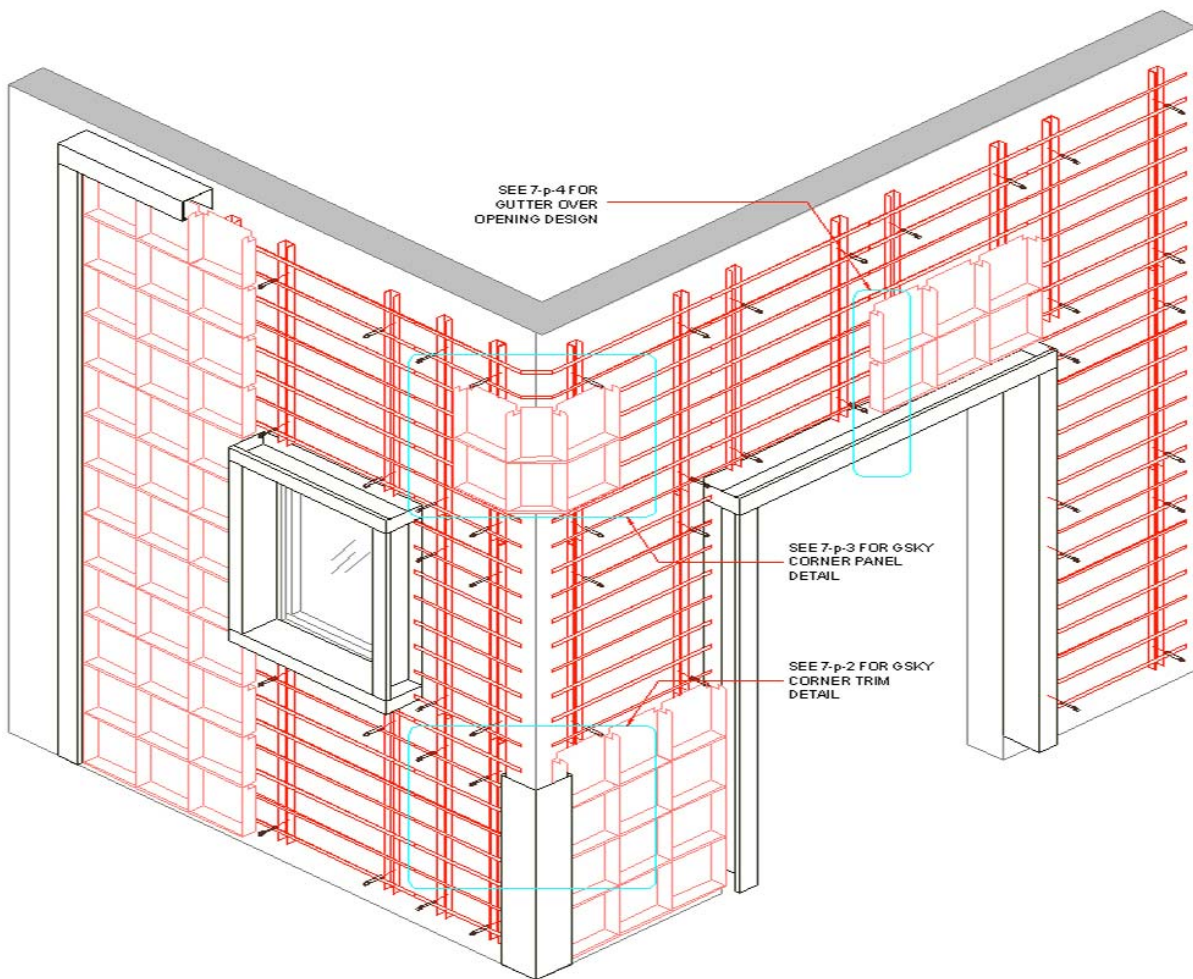


Fig.V.82 – Spaccato assometrico che evidenzia i punti caratteristici di connessione fra apparato a verde ed elementi architettonici di chiusura. È possibile comprendere come l’azienda statunitense *G-SKY* interpreti i vari nodi, mediante l’inserimento di pezzi speciali angolari, sommitali, laterali, o a coronamento di porte e finestre. Non è qui rappresentata la componente vegetale, perciò è ben visibile il sottosistema di supporto ai pannelli modulari. (Fonte: <http://gsky.com/CAD/JPG/GSky%20Green%20Wall%20Spec%20Drawing-7-p-1.png>)

V.3. Casi di studio

Viene di seguito riportata una selezione di progetti particolarmente interessanti che presentino una chiusura a verde, al fine di illustrare mediante esempi le possibilità applicative delle tecnologie descritte. Le seguenti *Schede Progetto* vogliono rappresentare uno strumento conoscitivo di ausilio a coloro che, per diversi motivi scientifici od operativi, si interessino all’argomento del Verde Verticale. Esse sono strutturate mediante un *layout* comune, al fine di poter pervenire in modo immediato ed agevole ad un confronto tra i vari casi sia nazionali che internazionali descritti.

Tale schedatura assume interesse specialmente se vagliata alla luce delle molteplici peculiarità e possibilità rappresentate dall’argomento dei rivestimenti a verde, con l’obiettivo non secondario di giungere ad una valutazione dello stato dell’arte tecnico raggiunto dalle tipologie in questione. Schedatura che potrà, perciò, essere utile a comprendere quali siano le strategie progettuali che

architetti di fama sia internazionale che “locale” tendano ad operare quando si misurino con la dotazione di una chiusura vegetata ai propri progetti.



Fig.V.83 – Expo di Shanghai 2010: *Padiglione Tematico*. La tecnologia dei pannelli vegetati permette delle composizioni che non sarebbe possibile realizzare con altri sistemi di facciata a verde. Interessante da notare anche la varietà delle specie impiegate (immagine di destra): esse, procedendo dal basso verso l’alto, si diradano non solo grazie alla composizione architettonica ma anche in funzione delle specifiche caratteristiche vegetali. (Fonte: Giovanni Zannoni)



Fig.V.84 – Jose Maria Chofre, parete vegetata presso la biblioteca di San Vicente del Raspeig (Spagna), 2010. Dei pannelli non prevegetati e contenenti substrato granulare sono messi in opera tramite un reticolo metallico connesso alla parete cieca di un edificio: trattasi quindi di un’opera di *retrofitting* architettonico e urbano (cfr. VII.2.1). In sommità della parete, presso il centro della stessa, è visibile l’ascensore sospeso finalizzato sia all’impianto dei vegetali che alla loro manutenzione. L’opera, delle dimensioni approssimative di 10x30 m, risulta degna di nota perché dimostra come un’installazione vegetale possa ingentilire la facciata cieca di un manufatto. Interessante anche dal punto di vista della collocazione ambientale: il clima nel Sud della Spagna è caldo e arido, quindi la selezione delle piante dovrà essere effettuata con estrema attenzione. (Fonte: <http://en.urbarama.com>)

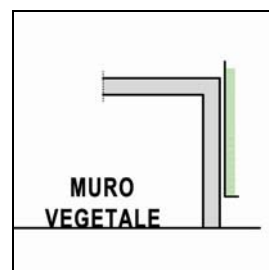
Organizzazione delle Schede Progetto

La schedatura è stata elaborata mediante un *layout* unificato. Tali schede, diverse nella sostanza ma non nella forma, sono composte ognuna da quattro pagine suddivise nelle seguenti parti:

- il nome del progetto ivi schedato, in alto a sinistra della prima delle quattro pagine, diventa il *titolo* della scheda;
- l'*icona tipologica*, posta in alto a destra della prima pagina di ogni Scheda Progetto, indica la tipologia di parete verde che tale sistema rende realizzabile (nei casi riportati all'interno del presente capitolo si tratterà esclusivamente di chiusure verticali vegetate o muri vegetali);
- il *codice della scheda* riporta una sigla indicante la tipologia di sistema, e reca un numero progressivo finalizzato alla catalogazione. Esso contiene, nello specifico, le seguenti informazioni: *ST* è l'abbreviazione di Scheda Tecnologica; *cvv* (o *mv*) interessano il particolare tipo di elemento schedato, quindi chiusure verticali vegetate (o muri vegetali); il codice è completato dal numero della scheda;
- vi sono poi i *dati anagrafici* di progetto: progettista, destinazione d'uso, classificazione dell'intervento⁶⁴, committente, localizzazione geografica e anno di realizzazione;
- a seguito la *descrizione testuale* delle caratteristiche dell'edificio. Testo che sarà suddiviso in due sezioni: la prima tendente ad illustrare il progetto, gli assunti o le necessità alla base della sua realizzazione e le principali strategie progettuali adottate; in seconda battuta si descriveranno le particolarità tecnologiche e costruttive della parete a verde;
- ogni scheda viene completata mediante *elaborati di progetto* e *fotografie* sia generali che di dettaglio, in modo da fornire un adeguato apparato iconografico, alle varie scale di rappresentazione, che possa esplicitare adeguatamente ogni caso riportato.

⁶⁴ Classificazione redatta secondo quanto indicato dal D.P.R. n.380 del 6 giugno 2001, intitolato *Testo unico delle disposizioni legislative e regolamenti in materia di edilizia*. Tale Decreto Presidenziale riportata esattamente, peraltro, la classificazione precedentemente indicata nella Legge n.457 del 5 agosto 1978, *Norme per l'edilizia residenziale*, Art.31. Fonte: <http://www.parlamento.it>

Trussardi Café



STmv06

progetto: Carloratti Associati
destinazione d'uso: bar-ristorante
classificazione intervento: nuova costruzione
localizzazione: Milano, Italia (45°27'51"N, 9°11'25"E)
anno di completamento: 2008
committente: Gruppo Trussardi

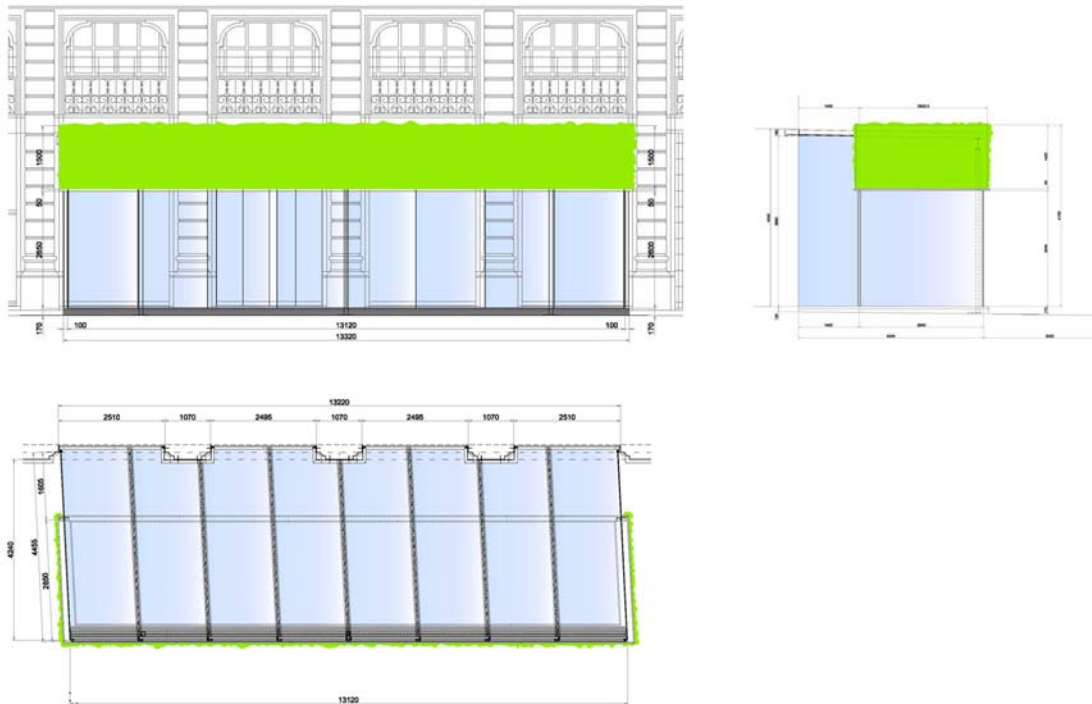
Il progetto

L'ampliamento del *Trussardi Café*, consistito nella realizzazione di un *dehors* chiuso "alla francese", è seguito ad uno studio di rifunzionalizzazione della sede centrale della casa di moda situata in Piazza della Scala a Milano. Il nuovo manufatto si configura come *una teca* vetrata di 60 m² di superficie per un volume complessivo di 240 m³, e presenta un muro vegetale sospeso alla propria sommità: numerose specie vegetali trovano collocazione su un supporto verticale *ad anello* e distaccato da terra; esso ingloba parte delle tre facciate del nuovo manufatto, creando – nella volontà del pool progettuale – «l'effetto di una nuvola vegetale che fluttua nello spazio».

Il nuovo volume di forma parallelepipedica è molto semplice e presenta, nel proprio rapporto con le imponenti ed austere pre-esistenze, un'impronta formale minimalista. Esso consiste in un manufatto totalmente vetrato – copertura compresa – collegato alla restante superficie del café, dove l'unico elemento di discontinuità consiste, appunto, nella chiusura a verde. La connessione verticale tra il nuovo manufatto e la cortina edilizia pre-esistente è costituita da elementi completamente vetrati, per permettere la leggibilità della facciata originaria ed enfatizzare l'effetto fluttuante dell'anello verde. Oltre alle valenze puramente formali e di suggestione, i 100 m² di verde portati nella piazza tramite l'installazione della parete vegetale (quindi senza occupare spazio calpestabile), potranno procurare – sempre nelle intenzioni dello studio piemontese – una contribuzione al miglioramento della qualità dell'aria.

Carloratti Associati ha calcolato che per ogni macchina eliminata grazie alla pedonalizzazione della piazza sono stati guadagnati 5 m² di superficie a verde. Il *giardino sospeso* si inserisce in un luogo completamente minerale, all'interno del quale rappresenta un momento di

decontestualizzazione, così da enfatizzare la novità dell'intervento. Inoltre esso, quasi per instaurare un'analogia filologica con le pre-esistenze, riesce a confrontarsi coi motivi floreali della pensilina in stile *liberty* del prospiciente Teatro Filodrammatici, proponendone una rivisitazione in chiave contemporanea; inoltre, è forte anche la relazione col Teatro alla Scala distante pochi metri e visibile dalla piazza.



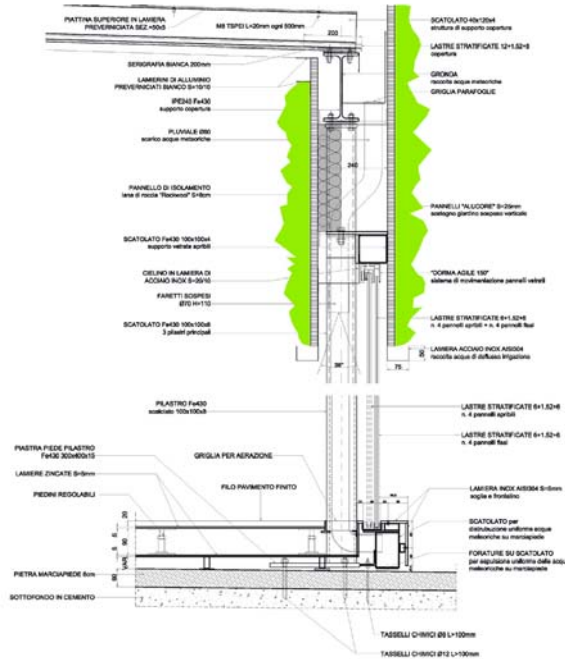
Prospetti del nuovo volume edilizio e pianta della copertura.

La tecnologia

La chiusura a verde è eseguita in base al brevetto del *Mur Vegetal* di Patrick Blanc, ed è stata realizzata dall'azienda veneta *Verdecrea* che da tempo collabora col ricercatore francese. Si tratta di un'installazione vegetale particolarmente interessante e per certi versi innovativa. Ciò in conseguenza a due motivazioni: innanzitutto perché essa consiste in un muro vegetale bifronte, in quanto la superficie a verde visibile dall'esterno risulta esattamente raddoppiata e specchiata all'interno; inoltre è assolutamente coraggiosa e degna di nota la scelta tecnologica di creare un muro vegetale totalmente distaccato dal piano di campagna, per di più a coronamento di un *curtain wall* vetrato: questione che ha comportato la risoluzione progettuale di un nodo critico non trascurabile, consistente nella modalità di evacuazione della soluzione idrosalina dalla parete, in modo da poter recuperare i liquidi e re-immetterli nel circuito chiuso del sistema di fertirrigazione.

La soluzione drenante messa a punto da Carloratti Associati è formata da una grondaia a vista, anch'essa ovviamente bifronte, sottostante a tutta la superficie a verde del muro vegetale; una volta che la soluzione fertirrigante è stata raccolta da tale grondaia viene convogliata nei pluviali verticali

inglobati all'interno dei pilastri che sostengono la copertura, per essere poi indirizzata alla volta del sistema di recupero a circuito chiuso presente nel vano sottostante al nuovo *dehors*.



A sinistra: sezione di dettaglio delle tecnologie di chiusura.
A destra: vista della facciata laterale prospettante sulla via principale. (E.B.)



La facciata prospettante sulla piazza subito dopo la fine dei lavori.

La tecnologia d'inverdimento parietale è quella già vista in apertura di capitolo, e consiste in un substrato di poliammide sintetica posizionato su una sottostruttura di supporto adeguatamente conformata e montata a secco. Le specie vegetali impiegate sono circa 120 provenienti da molte zone della Terra, selezionate e collocate in funzione del loro posizionamento finale interno o esterno. Interessante anche la copertura lievemente inclinata dell'ampliamento, eseguita in vetro blindato.



A sinistra: dettaglio della soluzione angolare esterna. Al centro: vista dall'interno dello stesso dettaglio dell'immagine precedente. A destra: vista interna del sistema di drenaggio. Si notino le due grondaie orizzontali – esterna e interna – e il pilastro contenente il pluviale verticale. (E.B.)



A sinistra: dettaglio dall'angolo interno verso la facciata principale. Al centro: vista della sala ristorante. A destra: la facciata laterale retrostante. (E.B.)

Riferimenti

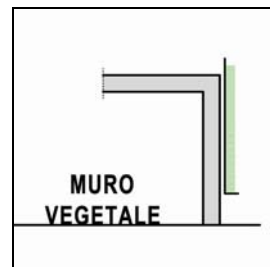
<http://www.carloratti.com>

Fonti iconografiche

Carloratti Associati

(Alcune fotografie, puntualmente segnalate all'interno della scheda con la sigla "E.B.", sono state eseguite dall'autore della ricerca).

Sportplaza Mercator



STmv07

progetto: VenhoevenCS, Copijn

destinazione d'uso: centro sportivo

classificazione intervento: nuova costruzione

localizzazione: Amsterdam, Paesi Bassi (55°22'00"N, 4°52'00"E)

anno di completamento: 2006

committente: Sportfondsenbad, Nederland N.V.

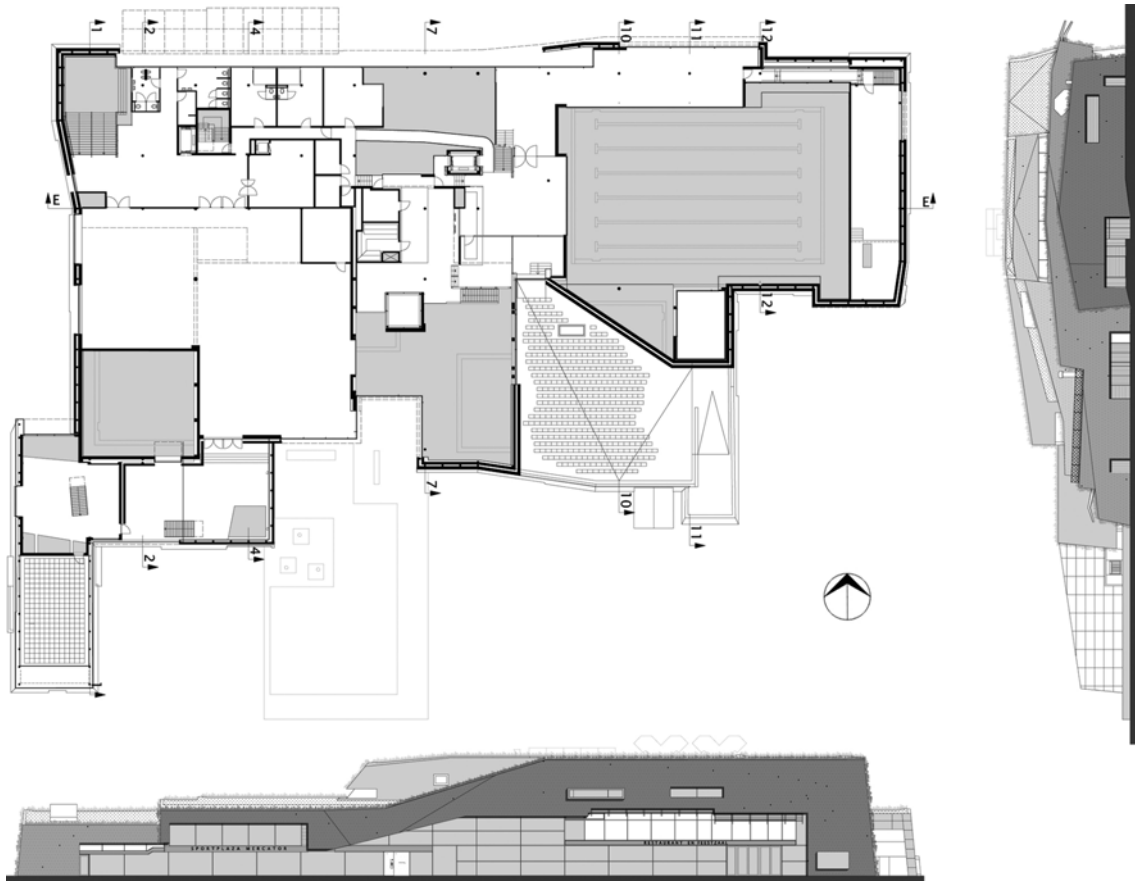
Il progetto

Il centro sportivo *Sportplaza Mercator* è situato all'interno del parco pubblico *Rembrandtpark*, in località de Baarsjes alla periferia di Amsterdam, zona tipicamente multiculturale ed abitata da ben 129 etnie differenti. Il progetto nasce in seguito a un bando di concorso che, oltre alla semplice domanda di un manufatto per la pratica di attività sportive e vista la specificità ambientale e sociale del contesto prescelto, poneva alcune richieste particolari, come quella di realizzare un manufatto che presentasse un inserimento paesaggistico idoneo all'ambiente naturale del parco; la creazione di un luogo d'integrazione culturale, dove le molteplici etnie del circondario potessero non sentirsi escluse; il riutilizzo, all'interno del programma funzionale di progetto, di una piscina esistente in loco.

La proposta progettuale che permise allo studio olandese VenhoevenCS di aggiudicarsi la vittoria nel concorso fu quella di creare di un edificio mimetico, semi-ipogeo e completamente inverdito, che potesse dissolversi visivamente nel contesto ambientale del parco; quindi una sorta di collina verde che, nella proposta elaborata da VenhoevenCS si è basata su una matrice formale di tipo decostruttivista. L'edificio è infatti molto movimentato sotto l'aspetto dei giochi fra volumi e proporzionalità reciproche, senza però mai raggiungere altezze cospicue. La pianta è articolata e si sviluppa attorno alla piscina esterna pre-esistente. Oltre agli spazi prettamente sportivi – composti da una piscina olimpionica, una vasca per i corsi di nuoto ed una piscina terapeutica, con i tutti rispettivi annessi funzionali e tecnici – sono presenti un centro ricreativo, una sala aerobica, zona fitness e centro benessere, una caffetteria ed una terrazza panoramica in copertura.

L'involucro edilizio – composto dalla sommatoria tra chiusure verticali e superiori – è quasi completamente inverdito, e la cospicua porzione a verde del manto architettonico si interrompe solo

puntualmente, quando le varie facciate incontrano le forometrie edilizie opache o trasparenti. Altra valenza formale assolutamente degna di menzione è relativa alla copertura a verde: essendo l'edificio basso e molto articolato sia in pianta che in alzato, anche la copertura diventa sostanzialmente una facciata architettonica, in quanto è possibile stabilire in più punti un contatto visivo con essa.



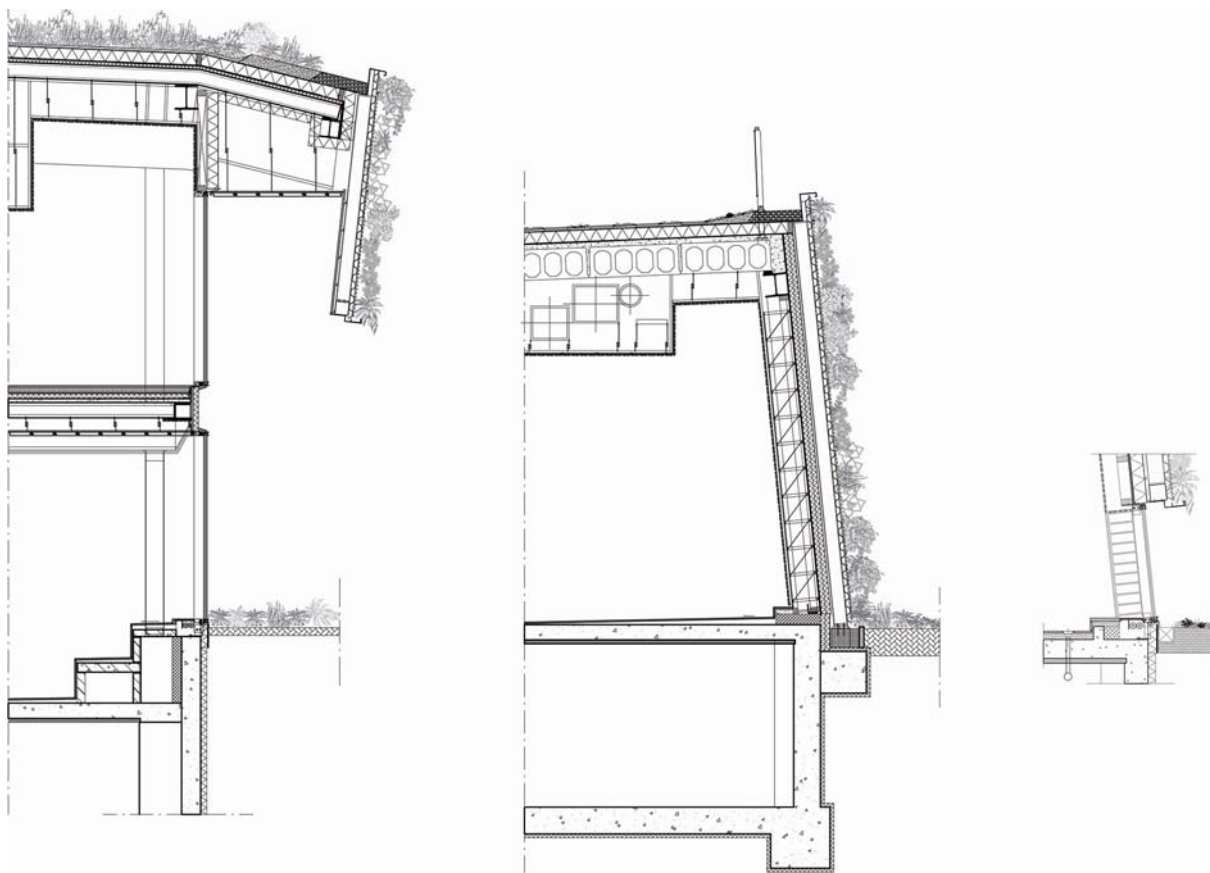
Sopra: pianta del piano terra; in grigio le vasche d'acqua interne all'edificio. Sotto e a destra: il prospetto principale fronte-strada e la facciata esposta a Est.

La tecnologia

Lo sviluppo tecnologico-costruttivo risulta particolarmente interessante. Ciò conseguentemente a due motivazioni principali: la prima data dalla già citata presenza di facciate e coperture a verde che si integrano senza soluzione di continuità, tanto che l'edificio è sostanzialmente un'ibridazione tra un manufatto inverdito ed uno ipogeo; la seconda motivazione nasce dal fatto che per vegetare le chiusure verticali è stato messo appunto un apposito sistema dall'azienda *Copijn* di Utrecht, poi brevettato col nome di *Wonderwall*.

Esso presenta un substrato in tasche di feltro sintetico per l'alloggio dei vegetali, posizionate secondo una rigida scansione geometrica di facciata: per vegetare la totalità degli involucri verticali sono state impiegate circa 50.000 piante di più di 50 specie. Sotto l'aspetto prettamente tecnologico *Wonderwall* consiste in un sistema a verde collocato sopra la chiusura edilizia strutturale (realizzata

con elementi portanti di acciaio), e distaccato da essa tramite una camera di ventilazione. Il suo pacchetto tecnologico è così composto (dall'interno verso l'esterno, e partendo dalla superficie esterna della chiusura vera e propria): un sottosistema di supporto in profilati metallici verticali HEB 180, destinati a supportare una lamiera grecata da 50 mm finalizzata alla formazione di una superficie complanare dove poter stendere gli strati successivi. Tale lamiera grecata contiene a sua volta un pannello polimerico di 10 mm, una membrana antiradice e lo strato di feltro dove sono poi ricavate le tasche per i vegetali. Il tutto è rifinito all'esterno tramite una pellicola per la protezione dai raggi UV. L'apparato vegetale è irrigato mediante fertirrigazione. La copertura a verde estensivo è invece realizzata con tecniche tradizionali.



Dettagli costruttivi. Nella sezione di sinistra è visibile la connessione tra la copertura a verde estensivo, il muro vegetale e il *curtain wall* vetrato. Il disegno al centro rappresenta la soluzione del *Wonderwall* nel caso di chiusure totalmente opache: si noti in copertura il parapetto della terrazza panoramica. A destra una variante del dettaglio precedente: connessione tra il muro vegetale ed i serramenti posti al livello del terreno.

L'elemento d'interfaccia sicuramente più interessante è rappresentato dalla connessione fra chiusure verticali e trasparenti. Esso consta sostanzialmente di una grondaia che incornicia le varie forometrie edilizie per salvaguardarle dai liquidi non trattiene dalle piante, ed è realizzato tramite un elemento metallico opportunamente preformato; tale apparato, seppur semplice nella conformazione e nel funzionamento, diventa interessante soprattutto se rapportato alle notevoli luci che è in alcuni casi

costretto a superare. Il fatto che molte chiusure non siano completamente verticali aumenta i punti sensibili della struttura, richiedendo particolare attenzione nella realizzazione dello strato di tenuta.



A sinistra: la facciata esposta a Nord. A destra: scorcio laterale verso il prospetto Ovest.



A sinistra. Dettaglio della facciata Ovest: si noti la varietà tipologica dei serramenti. A destra. Dettaglio di una finestra sommitale, poi risvoltante anche in copertura.

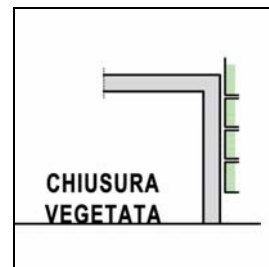
Riferimenti

- <http://www.venhoevencs.nl>
- <http://www.copijn.nl>

Fonti iconografiche

Gli elaborati di progetto sono stati forniti dallo studio VenhoevenCS. Le fotografie sono state concesse da Giovanni Avosani.

CR Land Guanganmen Showroom



STcvv08

progetto: Vector Architects

destinazione d'uso: padiglione espositivo

classificazione intervento: nuova costruzione

localizzazione: Pechino, Cina (39°54'20"N, 116°23'29"E)

anno di completamento: 2008

committente: CR Land

Il progetto

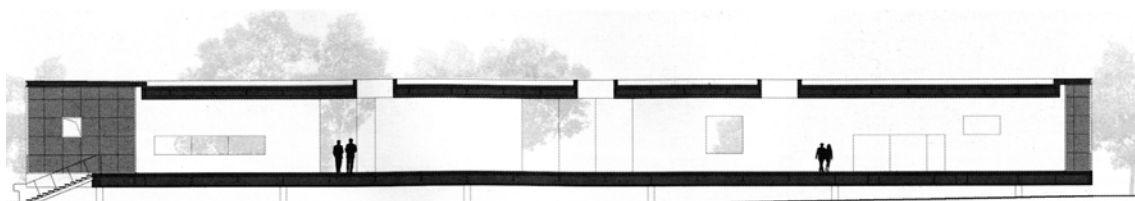
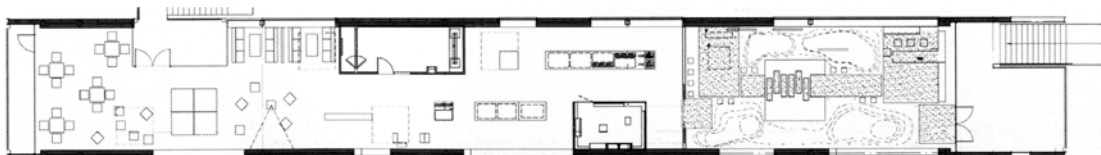
Il *CR Land Guanganmen Green Technology Showroom* è un padiglione temporaneo, nato per rappresentare il luogo di vendita commerciale di un grande insediamento residenziale che sta nascendo nella periferia della capitale cinese. Esso ha una vita prevista di tre anni (corrispondente al tempo necessario per il completamento dell'edificazione dei primi blocchi di appartamenti), alla fine dei quali verrà disassemblato per lasciare il posto a un parco pubblico destinato alla cittadinanza: la reversibilità edilizia diviene perciò uno degli obiettivi principali di progetto. La funzione del manufatto è quella di spazio espositivo, e contiene inoltre luoghi d'incontro, di riunione e per la vendita commerciale dei futuri appartamenti.

L'edificio si presenta come un volume di forma parallelepipedica allungata, ad un unico livello, delle dimensioni di 7,60x85 m in pianta, per 5,75 m in altezza; la superficie complessiva è di 440 metri quadrati. Il padiglione è rialzato 85 cm da terra tramite *pilotis* metallici, e quasi tutti i suoi involucri sono vegetati. La scelta di sopraelevare il manufatto è dettata da considerazioni sia semantiche che tecnologiche: infatti, nelle intenzioni dei progettisti, l'elevazione rispetto al terreno serve a comunicare la transitorietà dell'opera, e il conseguente fatto di non dovere effettuare consistenti lavori di sbancamento del terreno finalizzati ad inserirvi l'edificio, o la bassa entità delle opere di fondazione, permette di risparmiare tempo e denaro, minimizzando l'impatto ambientale. I due lati corti del fabbricato sono vetrati e contengono degli spazi filtro consistenti in logge semiaperte tra essi e l'esterno. Tutte le chiusure a verde, copertura compresa, presentano un sistema di forature quadrangolari che interrompono la continuità vegetale dell'involucro.



Planimetria dell'intervento.

La volontà che ha animato la scelta d'inverdire quasi totalmente l'involucro architettonico è stata quella di restituire all'ambiente la superficie di terreno negatagli mediante l'edificazione: nel caso specifico, l'area di vegetazione data dalla sommatoria delle chiusure verticali vegetate e delle coperture a verde è addirittura maggiore di quella inizialmente sottratta alla comunità, in quanto ne triplica l'estensione. Il *CR Land Guanganmen Green Technology Showroom* si presenta quindi come un *landmark* architettonico dalla forte valenza iconica ed evocativa.



Sopra: pianta. Sotto: sezione longitudinale.

La tecnologia

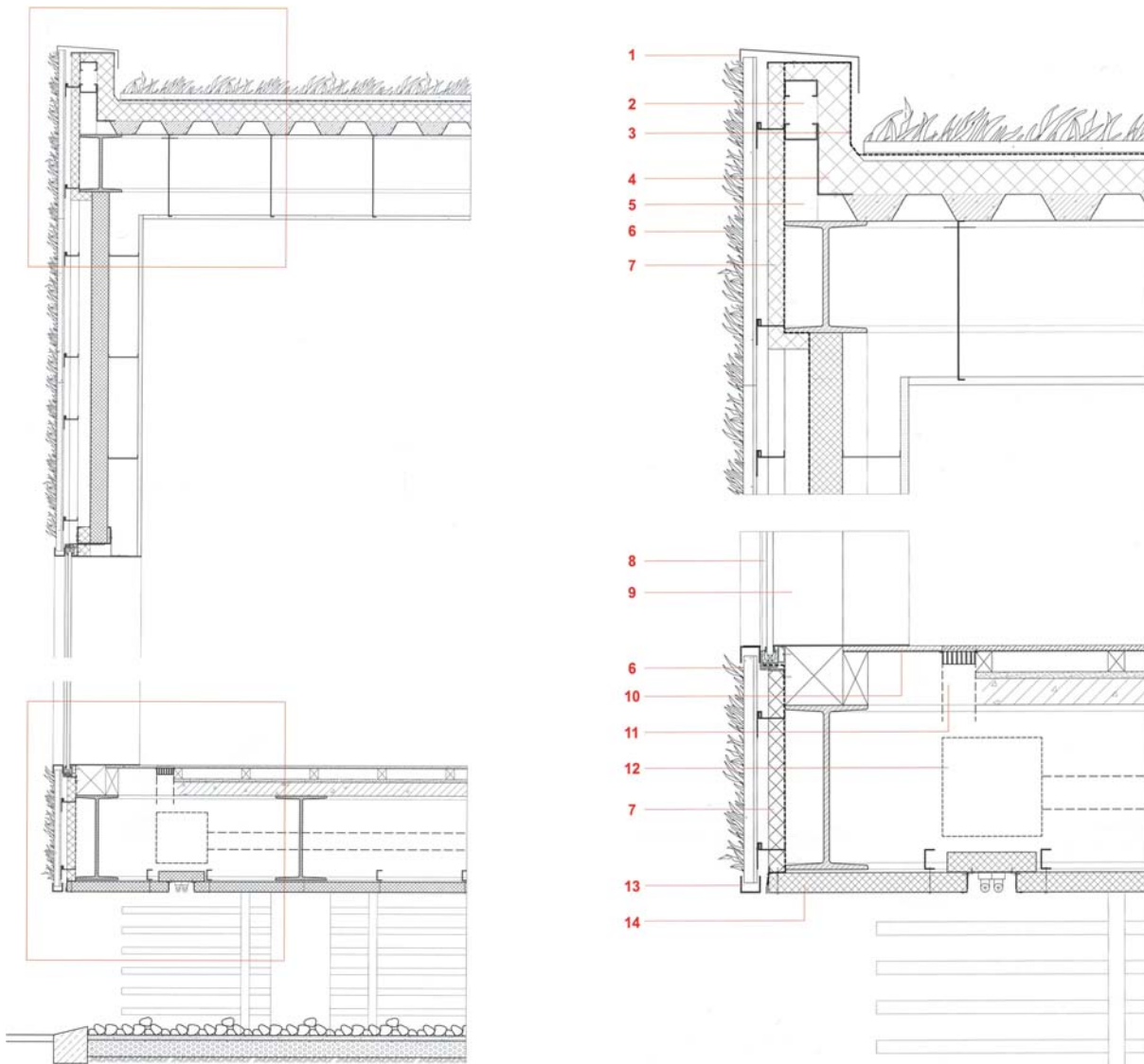
Sotto l'aspetto tecnologico-costruttivo tutte le scelte progettuali operate sono state dettate dalla funzione temporanea del manufatto. La struttura dell'edificio (sia portante che portata) è metallica: materiale scelto in funzione dell'alta riciclabilità o riutilizzabilità permessa, nonché per la facilità e la velocità in fase cantieristica. I materiali che compongono gli involucri sono tre, vetro, acciaio e

vegetazione naturale, e tutte le contestuali tecnologie sono state selezionate in funzione del montaggio a secco: vista la temporaneità del fabbricato, la possibilità di disassemblare e riutilizzare componenti ed apparati alla fine del ciclo di vita dell'opera diviene uno degli obiettivi principali di progetto; infatti, nelle intenzioni sia della committenza che del pool di progettazione, tutti i materiali dovranno essere smontati e reimpiegati altrove alla fine della vita utile del manufatto.



Sopra: viste della facciata esposta a Est, in prossimità dell'ingresso al padiglione.
Sotto a sinistra: modello tridimensionale. Sotto a destra: dettaglio del sistema d'inverdimento.

Il padiglione è orientato Est-Ovest e l'intero involucro edilizio – ad esclusione dei due lati corti vetrati – è inverdito. La copertura a verde è realizzata mediante una tecnologia estensiva, mentre le chiusure verticali presentano un sistema modulare prevegetato a prato. Dei pannelli in polipropilene delle dimensioni di 1x1 m fungono da base di supporto a un substrato composto da torba e fibra di cocco: quest'ultima consente l'alloggio a delle piante di *Festuca rubra*, una specie microterma selezionata sia per la manutenzione relativamente bassa che per la sua capacità di adattamento alle fenomenologie vegetali da stress idrico e da ombra. Infatti, vista l'indifferenza alle condizioni di esposizione solare della specie selezionata, tali piante dovranno resistere ai vincoli climatici molto diversi presenti nelle facciate Nord e Sud. L'intero apparato vegetale è servito da un impianto di fertirrigazione, integrato alle chiusure verticali e superiori. Nelle intenzioni di progettisti e committenza, l'inverdimento dovrà essere anch'esso riutilizzato alla fine del triennio di vita del fabbricato.



Dettagli costruttivi. A sinistra: sezione dell'edificio; a destra: nodi di attacco a terra (sotto) e attacco al cielo. Legenda: 1. scossalina metallica; 2. asse in acciaio 100x100 mm; 3. guaina; 4. isolante 100 mm; 5. ponte in metallo 80 mm; 6. sistema modulare d'inverdimento; 7. isolante 50 mm; 8. chiusura trasparente; 9. pannello in alluminio; 10. pavimento in bambù; 11. conduttura dell'aria; 12. plenum; 13. canale di gronda; 14. isolante 60 mm.

Riferimenti

- <http://www.archdaily.com/9633/cr-land-guanganmen-green-technology-showroom-vector-architecture>
- CUTRONI, FABIO, "Vector Architects – CR Land Guanganmen Green Technology Showroom", *Materia*, n.63, settembre 2009, pp.88-95

Fonti iconografiche

Disegni architettonici e dettagli costruttivi sono stati desunti dalla rivista *Materia* (n.63, settembre 2009, pp.88-95), mentre le fotografie sono state ricavate dal sito web <http://www.archdaily.com>

Anthropologie Huntsville



STcvv09

progetto: EOA – Elmslie Osler Architect

destinazione d'uso: negozio

classificazione intervento: nuova costruzione

localizzazione: Huntsville, AL, USA (34°42'49"N, 86°35'10"W)

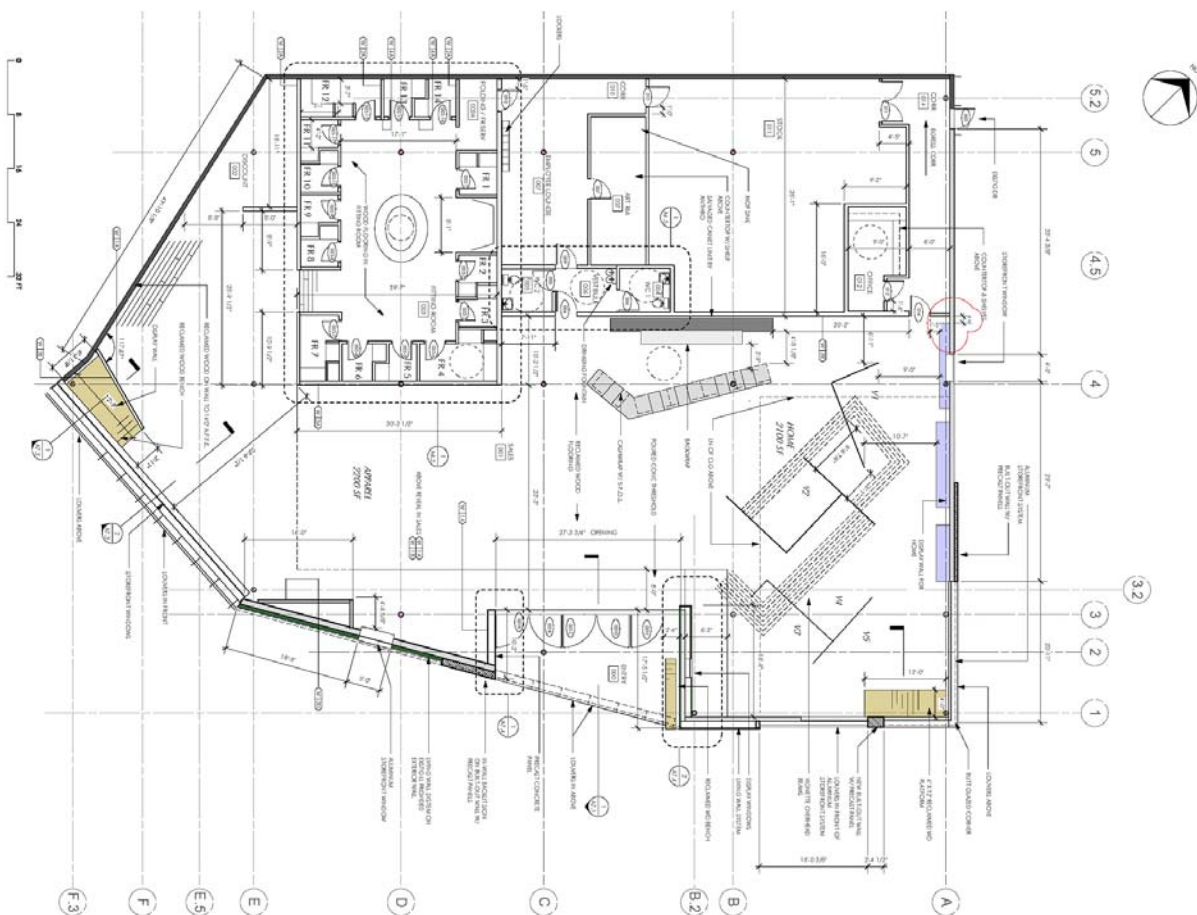
anno di completamento: 2008

committente: Anthropologie

Il progetto

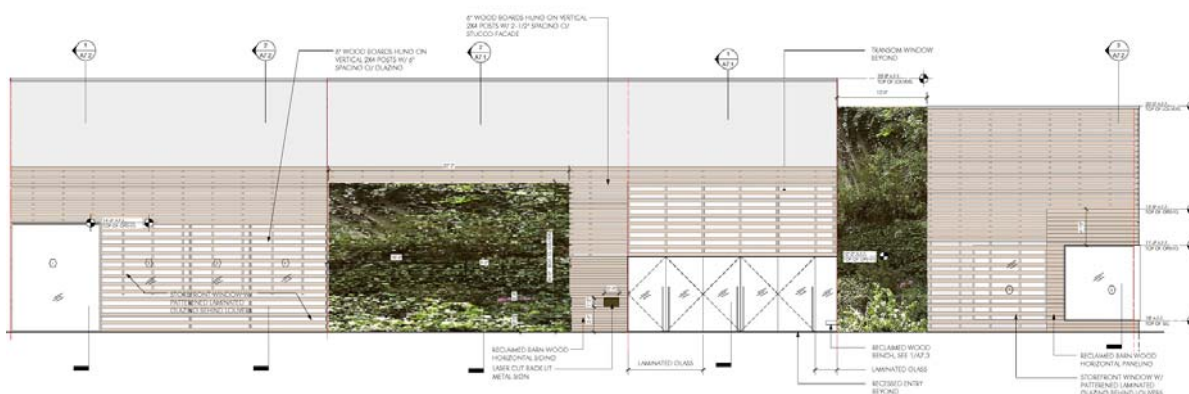
Il nuovo edificio di *Anthropologie* – catena commerciale diffusa a livello planetario – è situato nella periferia di Huntsville, in Alabama. Lo spazio dedicato a tale manufatto è collocato nella porzione angolare di un fabbricato maggiore pre-esistente, quindi due dei suoi prospetti risultano ciechi e confinanti con altri edifici; ne consegue quindi che solo due facciate rimangono libere: esse sono quelle esposte a Sud e Nord-Est. Trovandosi ad operare sulla porzione di un edificio esistente, le attività dello studio di architettura newyorkese *EOA* sono consistite nella progettazione delle facciate e nell'allestimento degli interni. Il negozio presenta una superficie di circa 1.100 m² disposti su un unico livello, e contiene tutti i vani commerciali e direzionali necessari alla funzionalità di una simile attività.

Le facciate del manufatto che prospettano sulle vie pedonali esterne al negozio presentano delle chiusure vegetate tutt'altezza, che si contrappongono formalmente ad altre superfici rifinite in doghe orizzontali di legno chiaro: tali facciate inverdite sono presenti sul prospetto Sud e nella bussola d'entrata esposta a Sud-Ovest, e non ricoprono mai un'intera facciata ma solo delle porzioni più o meno estese di essa. I materiali del progetto degli esterni sono quindi cinque: vegetazione naturale, legno, vetro, alluminio per i serramenti e alcune presenze sporadiche di intonaco. Lo schermo ligneo è presente sia come finitura delle chiusure opache che come schermatura solare nella parte alta della facciata trasparente che incornicia la bussola d'entrata.



Pianta dell'edificio: l'entrata principale si trova nella parte bassa dell'immagine.

Come dichiarato dal progettista nel sito web del proprio studio, la chiusura vegetata che «fiorisce in primavera e rimane sempreverde durante l'inverno» è stata scelta in funzione della propria capacità di «rappresentare un elemento di texturizzazione naturale nel tipico anonimato delle periferie urbane», oltre che per tentare di creare «una contemporanea modalità d'interazione tra uomo e natura». Inoltre, non sono solo le caratteristiche formali e ambientali di tale tecnologia che hanno fatto optare lo studio EOA per la loro scelta, ma anche le possibilità legate all'efficienza energetica degli involucri vegetati.

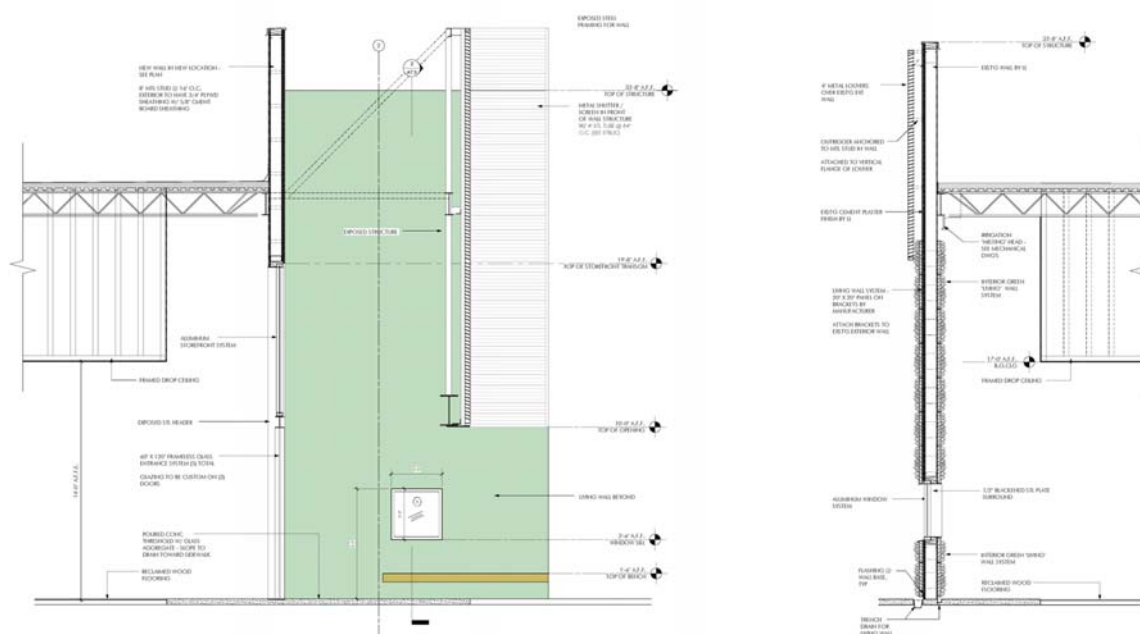


Porzione del prospetto principale in corrispondenza dell'entrata. La facciata è esposta a Sud.

La tecnologia

Il sistema per la verticalizzazione vegetale è composto da una chiusura verticale vegetata delle dimensioni complessive di 186 m², prodotta dall'azienda americana *Green Living Technologies*: tale sistema è composto da elementi scatolari metallici suddivisi in sottomoduli delle dimensioni di 5x5x7.6 cm, contenenti substrati organici, e presenta un mix vegetale realizzato tramite diverse specie vegetali del genere *Sedum*. I moduli scatolari sono posti in opera mediante una sottostruttura metallica composta da montanti verticali e correnti orizzontali; il tutto è servito da un impianto automatizzato di fertirrigazione. Anche le superfici verticali interne sono state in alcuni punti eseguite a verde.

Una delle particolarità del progetto è sicuramente rappresentata dal fatto che lo studio EOA si sia trovato ad operare su un edificio pre-esistente, quindi la tecnologia di chiusura ha dovuto confrontarsi con le problematiche tipiche del *retrofitting*: questione che ha comportato sicuramente delle limitazioni formali e tecnologiche alla realizzazione della chiusura. Gli elementi tecnologici d'interfaccia tra la parete vegetata e la muratura in calcestruzzo armato prefabbricato pre-esistente sono di tipo convenzionale, e consistono in un sistema di recupero idrico alla base della parete, in un'intercapedine areata nel punto di contatto tra il calcestruzzo e le stratificazioni del pacchetto a verde, ed in scossaline metalliche o elementi di evacuazione idrica in corrispondenza delle forometrie.



Elaborati progettuali di dettaglio. A sinistra una sezione sulla bussola d'entrata: in verde il prospetto della porzione a verde. A destra una sezione sulla chiusura vegetata in corrispondenza del serramento: si noti la superficie vegetata sia esternamente che all'interno del negozio.

La scelta di una tecnologia che presenti la collaborazione sinergica tra un certo spessore di substrato organico, e delle specie vegetali a crescita lenta con una richiesta idrica particolarmente bassa – come sono appunto i sedum – si presenta ottimale dal punto di vista dell'efficienza energetica e gestionale. Lo spessore composto da substrato e vegetazione si dimostra particolarmente interessante durante le stagioni estive grazie all'inerzia termica dei materiali e alle attività fisiologiche delle piante, mentre la limitata crescita annuale dei vegetali qui impiegati e la limitata richiesta idrica si

rivelano molto efficienti sotto l'aspetto gestionale – in quanto non sono necessarie continue potature durante il corso dell'anno – e del risparmio di risorse, nutrizionali, idriche ed economiche.



A sinistra: vista dell'entrata al negozio. A destra: scorcio della facciata principale dal viale pedonale antistante al negozio.



A sinistra: la soluzione angolare in direzione Sud-Est. A destra: vista della facciata principale nella sua porzione più ad Ovest.

Riferimenti

<http://www.eoarch.com>

Fonti iconografiche

EOA – Elmslie Osler Architect

Green Weaving Club House

STcvv10



progetto: Hyunjoon Yoo Architects

destinazione d'uso: golf club

classificazione intervento: nuova costruzione

localizzazione: Jangsung-gun, Corea del Sud (35°24'36"N, 127°23'9"E)

anno di completamento: 2009

committente: Eugeen Group

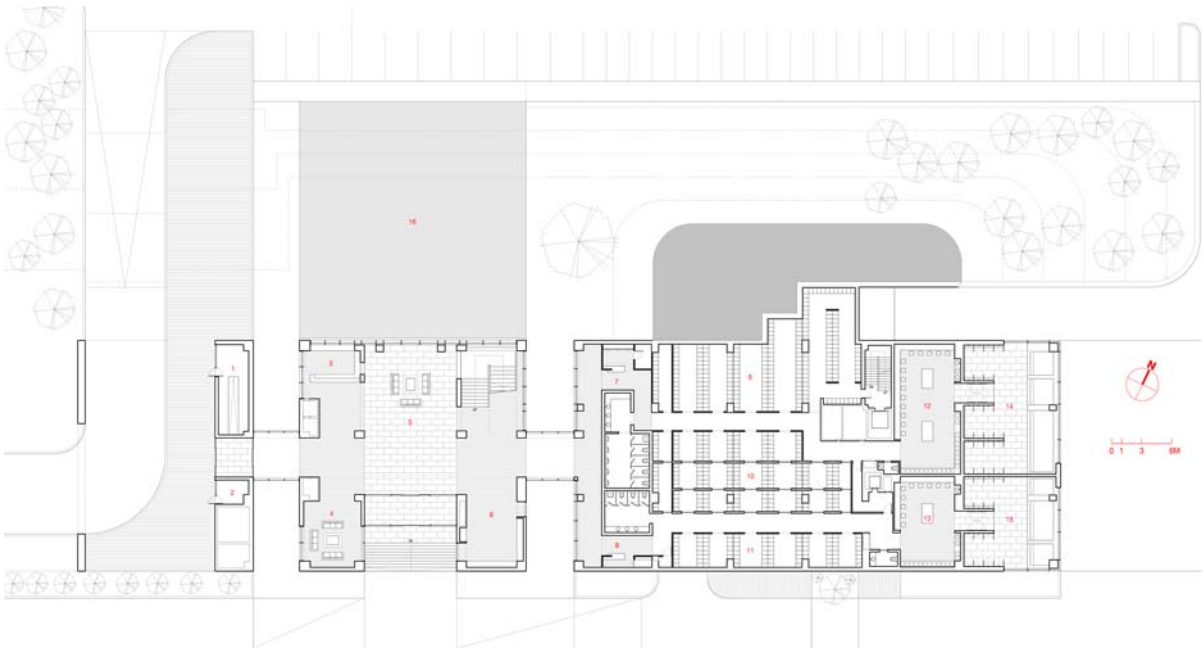
Il progetto

Partendo dalla considerazione che «il golf è uno sport nel quale solitamente le persone giungono in auto o a piedi dalle città percorrendo strade d'asfalto e percorsi pedonali con fine di ricongiungersi con la natura, mentre un *club-house* è uno spazio dove poter socializzare, mangiare, o fare il bagno in totale contatto con l'ambiente naturale», Hyunjoon Yoo evidenzia come nel proprio modo di concepire l'opera architettonica, «il *club-house* debba essere uno spazio dove l'essere umano possa distaccarsi dall'alienante stile di vita contemporaneo per ricongiungersi – seppur solo momentaneamente – con gli spazi utopici dell'era pre-industriale». Tali sono gli assunti teorici alla base del progetto per il *Green Weaving Club House*, uno spazio multifunzionale a servizio del gioco del golf, dello svago e del relax.

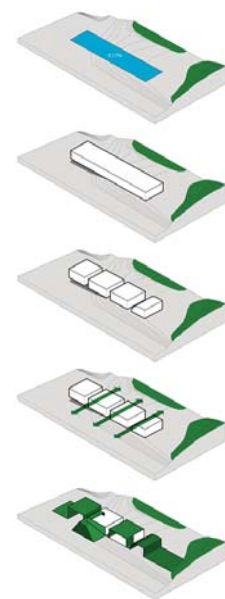
All'architetto coreano è stato quindi richiesto il progetto di un manufatto che potesse accogliere tutti i servizi necessari al golf club, unitamente ad altre funzioni accessorie come spazio conferenze, bar-ristorante, aree relax, zona benessere ed una SPA contenente anche una piscina esterna. Il sito di progetto si presentava come stretto e lungo, posizionato esattamente al centro dell'area destinata ai campi da golf: questione difficoltosa in quanto, visto il grande numero di spazi richiesti dalla committenza, si sarebbe corso il rischio di giungere alla realizzazione un edificio eccessivamente esteso, che avrebbe potuto compromettere la continuità spaziale del campo da golf, creandovi una sorta di barriera proprio nel mezzo.

La strategia progettuale perseguita dallo studio di Hyunjoon Yoo fu quella di realizzare un manufatto il più compatto possibile, creandovi dei tagli verdi che vi penetrassero o lo attraversassero in più punti: la forma monolitica e lineare originaria è stata quindi successivamente negata tramite un

lavoro di sottrazione volumetrica, al fine di scarnificare il volume del manufatto e donargli una morfologia maggiormente organica. L'edificio, di due piani fuori terra per una superficie di 5.670 m², è organizzato linearmente; al piano terreno, partendo dall'ingresso localizzato ad Ovest in uno dei due lati corti, si procede incontrando i vari spazi: area relax, spogliatoio e guardaroba, fino a giungere alla zona delle SPA posizionata sul lato opposto. Il livello superiore contiene gli uffici amministrativi, delle sale riunioni, l'area vip, e un piccolo ristorante distribuito intorno ad una corte esterna.



Pianta del piano terra: la facciata principale è quella a Nord, mentre l'ingresso è ad Ovest.



A sinistra: scorcio delle due facciate esposte a Ovest e Sud, viste dai campi da golf. A destra: *concept* di progetto. Vi sono rappresentati tutti i passaggi concettuali che hanno interessato la scarnificazione del volume edilizio.

La tecnologia

Il progettista ha voluto ricercare un dialogo con la natura non solo dal punto di vista compositivo-morfologico, ma anche sotto l'aspetto visuale e d'immagine. Infatti, grazie alle ampie vetrate le persone possono mantenere dall'interno del manufatto un costante contatto col contesto naturale circostante; mentre, per enfatizzare la matrice *verde* anche dal punto di vista costruttivo-tecnologico, alcune delle chiusure verticali esterne sono state vegetate. I materiali utilizzati nella finitura delle facciate sono quattro: gran parte delle chiusure verticali esterne sono rifinite tramite dei listoni rettangolari in pietra chiara, mentre la rimanente percentuale di superfici opache è inverdata; i *curtain walls* trasparenti e le finestre che presenziano sul manufatto impiegano serramenti metallici. Materiali che dovranno confrontarsi sia col verde dei campi da golf che con l'acqua di vasche e piscine esterne.



A sinistra. Dettaglio della facciata sul lato Sud: dall'immagine si distingue nitidamente la scansione modulare delle chiusure vegetate.

A destra. Foto della facciata Nord in corrispondenza delle finestrate: si noti come il prato orizzontale sembri prolungarsi anche verticalmente.

L'inverdimento delle chiusure verticali è ottenuto mediante una duplice strategia tecnologica: delle chiusure vegetate realizzate con tecniche industrializzate si rapportano a presenze puntuali di edera rampicante. L'inverdimento parietale è perciò realizzato tramite un connubio di tecniche, ottenuto dalla sinergia tecnologica tra rivestimento vegetale e chiusure verticali vegetate. Queste ultime sono realizzate mediante pannelli modulari composti da gabbie metalliche, montati su un sottosistema di supporto ancorato alle chiusure strutturali del fabbricato. Tali gabbie, delle dimensioni di 50x50 cm, contengono al proprio interno dei materassini in geotessuto, inglobanti a loro volta del substrato granulare: materiale inerte che serve all'impianto di specie erbacee perenni e sempreverdi, del genere *Pachysandra terminalis*. Il tutto è irrigato e nutrito mediante un impianto di fertirrigazione automatizzata a circuito aperto, composto da ali gocciolanti in PVC che attraversano orizzontalmente i pannelli parietali d'inverdimento.



A sinistra. Dettaglio delle chiusure vegetate in corrispondenza di una semicorte venutasi a creare conseguentemente alla frammentazione del volume edilizio. A destra. Vista della facciata principale esposta a Nord.



A sinistra. Dettaglio della facciata Nord in corrispondenza della vasca d'acqua esterna. A destra. Vista dall'entrata principale dell'edificio del sottopasso carrabile sul lato Ovest.

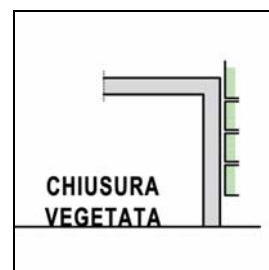
Riferimenti

- <http://www.hyunjoonyoo.com>
- <http://www.archdaily.com/88641/green-weaving-club-house-hyunjoon-yoo-architects>

Fonti iconografiche

Arch. Hyunjoon Yoo

Ann Demeulemeester Shop



STcVV11

progetto: Mass Studies

destinazione d'uso: atelier, negozio, ristorante

classificazione intervento: nuova costruzione

localizzazione: Seul, Corea del Sud (37°33'00"N, 126°58'00"E)

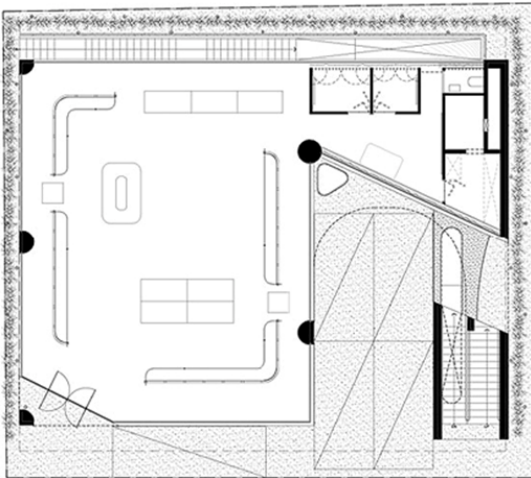
anno di completamento: 2007

committente: Handsome Corporation

Il progetto

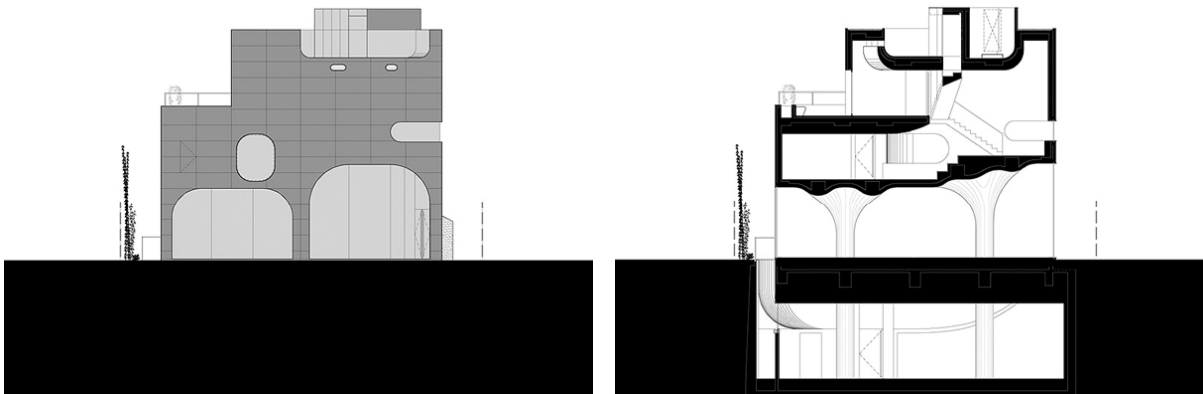
Ann Demeulemeester è una stilista belga di fama internazionale, famosa soprattutto nel continente asiatico: l'edificio schedato rappresenta il nuovo atelier sud-coreano dell'artista. Il lotto su cui sorge il fabbricato è un isolato urbano delle dimensioni approssimative di 378 m², situato nella periferia di Seul. Il manufatto occupa una superficie di 221 m² ed è composto da due corpi: un volume principale di forma parallelepipedica (comprendente un piano interrato più tre livelli fuori terra) ed un corpo minore di due piani, a forma di "L" col lato corto inarcuato, che ospita gli accessi, i servizi, i camerini, i depositi e i percorsi principali destinati ai vari ambienti. Il volume maggiore contiene le funzioni principali: nel livello interrato è presente un *Multi-Shop*, al pianterreno la boutique della stilista e nei rimanenti due livelli a piani sfalsati vi è un ristorante; quest'ultimo si trova a diretto contatto con la superficie esterna del tetto a verde praticabile.

Vista la matrice fortemente urbana del contesto, la volontà del gruppo di progettazione fu quella di operare per contrasto, introducendo nella costruzione edilizia più elementi naturali possibili; ossia tentando di creare una continua commistione spaziale fra esterno ed interno, e un'ibridazione materica fra naturale ed artificiale. Per tale motivo gran parte delle chiusure edilizie sono state inverdite mediante vegetazione naturale, utilizzando in maniera combinata più tecnologie differenti. Oltre alla già citata copertura a verde, le pareti verticali che prospettano sulla via carrabile antistante all'*Ann Demeulemeester Shop* sono state trattate mediante un sistema di chiusura verticale vegetata; tale vegetazione parietale continua anche sulla superficie orizzontale di pertinenza esterna del lotto, in modo da creare una sorta di unione formale fra edificio e ambiente pre-esistente.



A sinistra: pianta del pianterreno in corrispondenza dell'atelier. A destra: vista aerea.

Il programma spaziale operato da Mass Studies ha voluto suddividere le funzioni principali, così da garantire il necessario isolamento alle diverse attività. Mediante l'ingresso posto al piano terra, sul lato ovest del fabbricato, si accede all'atelier della stilista, mentre tramite il blocco edilizio posizionato nella zona Est del lotto si può accedere sia al ristorante che al *Multi-Shop* interrato. Nelle rampe che conducono al *Multi-Shop* è possibile riscontrare altre superfici verticali a verde, questa volta in ambiente interno: con la volontà di enfatizzare la discesa sotterranea, lo studio coreano ha deciso di trattare le superfici verticali interne mediante una vegetazione muscinale vivente, così da ricordare gli interni di una grotta a coloro che percorressero tali spazi.

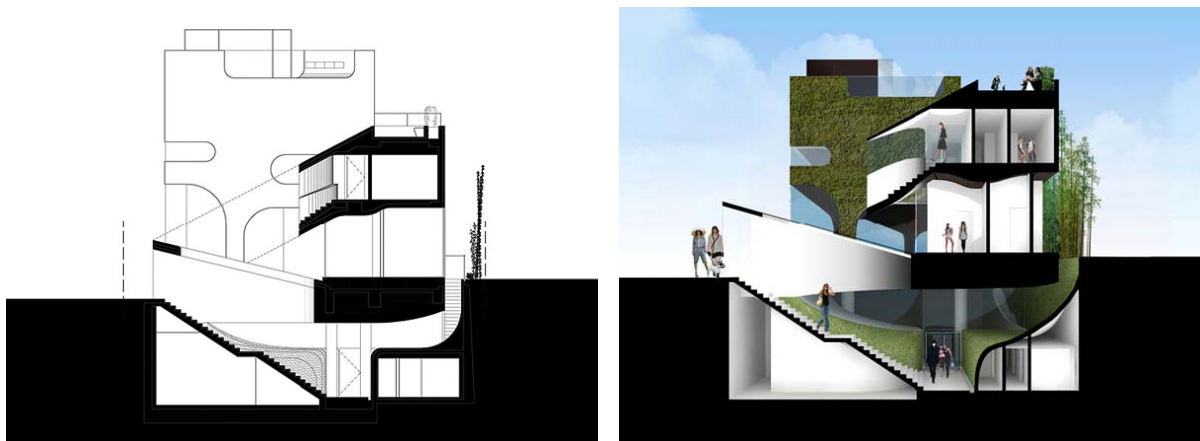


A sinistra: prospetto Ovest. A destra: sezione trasversale sul lato Ovest.

La tecnologia

Le chiusure verticali a verde sono realizzate mediante l'impiego di pannelli modulari prevegetati delle dimensioni di 40x40 cm. Tali pannelli sono in acciaio e contengono un substrato in torba e fibra di cocco che misura uno spessore di soli 8 mm. Ogni modulo vegetato è supportato da un sottosistema in profilati di alluminio, a loro volta connessi alle chiusure portanti in calcestruzzo armato; si viene così

a creare un'intercapedine dello spessore di 7 cm, destinata sia a contenere lo strato termo-coibente che la camera di ventilazione retrostante agli apparati d'inverdimento. Una rete metallica superficiale assicura il substrato contro il ribaltamento. L'intero sistema così composto misura uno spessore totale di circa 10 cm, porzione vegetale aerea esclusa.



A sinistra: sezione trasversale sul lato Est. A destra: sezione prospettica sul lato Est



A sinistra: vista dalla strada del corpo edilizio che conduce ai livelli del *Multi-Shop* e del ristorante. A destra: dettaglio del *curtain wall* vetrato in prossimità dell'atelier.

La vegetazione monospecie delle chiusure verticali è composta da piante di *Pachysandra terminalis*, una specie sempreverde dalla struttura erbacea tappezzante. Un impianto automatizzato di fertirrigazione, composto da ali gocciolanti in PVC del diametro di 13 mm, fornisce più volte al giorno la necessaria soluzione idrosalina alle piante. Interessante la modalità di creare una verticalizzazione vegetale solo apparente sui prospetti non inverditi che non affacciano sulla strada principale: mediante un'alta cintura di piante di bambù – specie particolarmente vigorosa – che attornia i prospetti Nord, Est ed Ovest, anche le facciate in lastre metalliche appaiono come invase dalla vegetazione.



A sinistra: vista della facciata principale dalla strada antistante l'edificio.

A destra: dettaglio del sistema modulare prevegetato per l'inverdimento parietale. (Detail)



A sinistra. Vista dall'interno del primo piano della connessione tra facciata vegetata e chiusure trasparenti. A destra. Scala che conduce all'interrato: si noti la parete inverdita tramite muschio.

Riferimenti

- <http://www.massstudies.com>
- KALTENBACH, FRANK, "Living Walls, Vertical Gardens – From the Flower Pot to the planted System Façade", *Detail*, n.12, 2008, p.1460

Fonti iconografiche

Mass Studies (la fotografia segnalata con la sigla "Detail" è stata desunta da: KALTENBACH, FRANK, "Living Walls, Vertical Gardens – From the Flower Pot to the planted System Façade", *Detail*, n.12, 2008, p.1460)

V.4. Energia incorporata e consumo delle risorse

Il sistema – o i vari sistemi possibili – per pervenire alla realizzazione di una chiusura verticale vegetata è identificabile anche come la composizione multistrato di una serie più o meno complessa di componenti di derivazione industriale. Una stratificazione tecnologica strutturata, caratterizzata da un'alta tecnologia sistemica intrinseca: tecnologia intrinseca peraltro esprimibile anche attraverso l'elevata energia incorporata⁶⁵ nei vari materiali, componenti o apparati che, una volta assemblati, vanno a formare i sistemi oggetto di studio e ne garantiscono i funzionamenti.

La parete a verde, nelle sue declinazioni più contemporanee ed evolute (trattate proprio nel presente capitolo), è caratterizzata dalla sommatoria di molteplici elementi di derivazioni e provenienze diverse, e si esaurisce – per quel che ne concerne gli aspetti di realizzazione – nell'assemblaggio industriale o in cantiere delle sue parti⁶⁶. Ne consegue che tale complessità tecnologica caratteristica implicherà, in primis, la necessità di una maggiore e più attenta attività progettuale finalizzata al controllo dettagliato di tutte le parti del sistema: fattore, questo, che rappresenta già un primo motivo d'innalzamento dell'energia incorporata nella parete, seppur il processo costruttivo vero e proprio debba ancora iniziare. Un processo progettuale più complesso si traduce quindi, in maniera direttamente proporzionale, nella prima causa dell'innalzamento dell'energia incorporata in detti sistemi, e si risolverà – visto il maggiore quantitativo di sottosistemi ed elementi messi in campo da queste specifiche tecnologie – in un aumento dell'energia grigia complessiva del manufatto per tutta la durata del suo processo produttivo e gestionale, quindi per l'intera globalità del proprio ciclo di vita utile.

Altro aspetto importante per l'*embodied energy* è la composizione materica di una chiusura vegetata. Non soltanto il sistema stesso, ma anche tutte le parti che lo compongono sono contraddistinte da un'elevata tecnologia, fattore che si traduce sempre in una maggiore energia incorporata. Tutte le varie stratificazioni funzionali che compongono i sistemi in oggetto – se paragonati ai semplici rivestimenti a verde descritti in precedenza o ad altre tecnologie per la realizzazione di facciate edilizie – presentano un'elevata energia grigia.

Materiali come alluminio o acciaio inossidabile che servono a realizzare le strutture di supporto, i gabbioni metallici che nei sistemi *pesanti* servono al contenimento dei substrati, gli elementi bituminosi o polimerici impiegati nelle stratificazioni impermeabilizzanti o antiradice, i substrati stessi (e in alcuni casi anche le attività connesse al loro processo produttivo), i moduli rigidi o i vari apparati morbidi per il contenimento dei molteplici substrati potenzialmente impiegabili (moduli o contenitori che spesso

⁶⁵ Con la locuzione *energia incorporata* (o *energia grigia*; *embodied energy* nella dicitura anglosassone) si definisce la misura dell'energia utilizzata nel ciclo di produzione dei materiali fino al loro utilizzo finale, ossia il differenziale energetico proporzionale caratterizzante la produzione e/o gestione di un materiale piuttosto che un altro. Per quanto riguarda gli edifici essa può essere distinta in *energia incorporata iniziale* – quella utilizzata in sede di produzione – ed *energia incorporata per manutenzione e ricambio dei materiali*, cioè quella interessante il ciclo di vita gestionale di un manufatto.

L'*energia incorporata iniziale* è misurata come la quantità di energia non rinnovabile per unità di materiale (o anche componente, o sistema), e può essere espressa in MJ/Kg o kWh/Kg. A titolo di esempio, con l'obiettivo di rendere l'idea della proporzionalità caratterizzante tale concetto, si fa notare come per produrre 1 Kg di mattoni pieni siano necessari 0.79 kWh; per la stessa quantità di legno strutturale sono necessari 3.89 kWh; mentre per 1 Kg di alluminio serviranno 59.72 kWh. Vien da sé che la produzione dell'alluminio implica un quantitativo energetico 75 volte superiore a quello dei mattoni, e 15 volte maggiore di quello del legno (Fonte: Università di Architettura di Valencia, Spagna). Ovviamente, l'altra variabile da considerarsi attentamente nell'approccio critico al concetto dell'energia grigia sarà il peso specifico dei materiali – si pensi, ad esempio, a quanto è maggiore il peso di una componente strutturale in mattoni pieni, se paragonata ad una di legno –, unitamente a quello delle prestazioni che essi mettono in campo.

⁶⁶ Cfr. V.2.3.2 e V.2.3.4

sono costituiti tramite materiali particolarmente energivori, come ad esempio PVC, alluminio, acciaio inox, HDPE, ecc.), presentano tutti un elevato tasso di energia incorporata. Perfino lo strato vegetale, anche solo in funzione della scelta di una specie vegetale piuttosto che di un'altra, può rivelarsi un fattore d'alta incidenza per quel che concerne il dispendio energetico e delle risorse; per non parlare delle necessità idriche di alcune piante, o dell'energia spesa durante la fase gestionale di particolari apparati a verde non autoctoni. A tutto ciò si aggiunge un'ulteriore quota energetica imputabile alla presenza dell'impianto d'irrigazione: esso, essendo costantemente gestito elettronicamente, nonché molto strutturato sotto l'aspetto tecnologico, si rende responsabile di una quota energetica non trascurabile.

Alto tasso energetico incorporato in tutte le parti di un sistema che, se rapportato a quello di tecnologie diverse per l'inverdimento parietale (rivestimenti a verde), non è sempre supportato da un maggiore coefficiente di benefici derivanti: ne consegue che, qualora si decida di operare delle scelte progettuali in favore della sostenibilità, si rivelerà importante rapportare con attenzione i benefici derivanti dall'impiego delle tecnologie del verde⁶⁷ (benefici energetici, ambientali ed estetici) alla loro energia incorporata o richiesta durante l'intero ciclo di vita.

Per benefici *energetici* si intendono quelli relativi al miglioramento dell'efficienza energetica del manufatto architettonico che li ospita. Essi si riferiscono ad un aumento delle prestazioni dell'involucro soprattutto in fase estiva (inerzia termica e protezione solare⁶⁸) ed alla possibile contribuzione acustica (soprattutto fonoassorbenza) che l'impiego delle tecnologie qui descritte potrà apportare. *Ambientali*, sono invece quei benefici che possono arrecare un miglioramento delle condizioni globali di spazi aperti o confinati, come ritenzione e depurazione idrica, miglioramento del microclima, aumento della biodiversità, compensazione ambientale, miglioramento della qualità dell'aria. I benefici *estetici*, seppur difficili da quantificare, sono quelli relativi a fenomeni come il benessere visivo, la possibilità di qualificazione o riqualificazione architettonica e spaziale legata all'utilizzo della vegetazione e il benessere psicofisico per l'essere umano, conseguente alla visione di elementi verdi o naturali: ciascuno di questi vantaggi sarà trattato ed esplicito con precisione ed esaustività all'interno del sesto capitolo.

Una possibilità per diminuire la quantità di energia spesa per la realizzazione della chiusura vegetata (durante l'intero ciclo di vita che la interessa), è legata al recupero e riutilizzo dei materiali o componenti ivi contenuti: visto che la tecnica contemporanea ne permette una modalità costruttiva a secco, sarà importante che il sistema realizzato – o comunque prescelto fra le opzioni rese possibili dall'industria – venga progettato, in toto o in parte, in modo da poter essere smontato ed eventualmente riutilizzato alla fine del proprio ciclo di vita. La conformazione tipica (o comunque ottimale) delle chiusure verticali vegetate implicherebbe una logica di assemblaggio a secco, in modo da poter essere facilmente disassemblata: progettando il sistema in maniera adeguata, le uniche parti che sarebbero realmente impossibili da recuperare alla fine del ciclo di vita sarebbero lo strato vegetale (che comunque altro non è che della semplice biomassa) e il substrato che, oggettivamente, risulterebbe alquanto difficile – anche se non impossibile – da reimpiegare, soprattutto nel caso fosse composto da feltro o altre materie inorganiche.

Una volta decostruito il sistema e recuperate parti o componenti che lo permettano, si aprirà un ventaglio di possibilità composto da due differenti opzioni: un re-impiego dei componenti come *materia*

⁶⁷ Benefici che saranno descritti in maniera approfondita nel prossimo capitolo.

⁶⁸ Si veda anche il paragrafo III.4

prima-seconda, mediante smontaggio e ricollocazione altrove delle parti recuperate; oppure il riciclo dei materiali, implicante sia un utilizzo “a monte” di materie prime riciclabili che, comunque, una certa quota energetica da spendere per la sua variazione di stato. Strategie, queste, che permetterebbero di ottimizzare almeno in parte il bilancio LCA⁶⁹ dell'intero sistema di facciata, in modo da rendere possibile l'introduzione della chiusura vegetata all'interno di un campo d'azione maggiormente sostenibile.

Ulteriore questione è quella relativa alle risorse richieste dalle tecnologie oggetto di studio, che si trovano a metà strada fra agronomia e materie tecnologiche della disciplina architettonica. Infatti, non sarà solo l'energia richiesta dalla parete a verde ad essere elevata, ma non sono trascurabili nemmeno le risorse necessarie alla sua operatività nel tempo. Tali tecnologie – diversamente da quel che accade con tutte le altre tipologie di facciate architettoniche esistenti – conseguentemente alla presenza dell'apparato vegetale sulla propria superficie, si ritrovano ad essere degli elementi *dinamici*, mutevoli nel tempo e durante le stagioni, e che pertanto, come tali dovranno sempre essere trattati.

Le risorse (energetiche e non solo) impiegate dalle molteplici variazioni evolutive delle pareti a verde di ultima generazione, riguardano esclusivamente energia elettrica, risorsa idrica, elementi e sostanze nutritive destinate all'apparato vegetale.

L'energia elettrica fornita al sottosistema edilizio serve a mantenere in efficienza e movimentare tutte le parti dell'impianto d'irrigazione automatizzate, in modo che questo possa assicurare un'adeguata funzionalità nel tempo. Seppur gli organismi elettronici o meccanici che compongono l'impianto siano oggetto di una continua evoluzione che ne migliora costantemente l'efficienza, la spesa energetica relativa al loro funzionamento giornaliero non è affatto trascurabile, e varierà in funzione del numero di componenti impiegati, delle caratteristiche dimensionali della parete e, quindi, della maggiore o minore portata dello stesso impianto.

L'acqua – indispensabile allo sviluppo biologico di tutti gli esseri viventi ma sempre più raro e di difficile reperibilità – è sicuramente l'elemento più importante nei sistemi di chiusura vegetata. Essa è necessaria in gran quantità per la fertirrigazione, soprattutto nel caso in cui si impieghino substrati di esiguo spessore (quindi con minore capacità di ritenzione idrica) e sistemi parietali a circuito aperto. Seppur a livello generale sia sicuramente possibile ammettere che la coltivazione agricola idroponica permette un notevole risparmio idrico⁷⁰ rispetto a quella convenzionale, tale dato non è propriamente vero nel caso delle chiusure a verde, a causa sia del sistema vegetale impiegato (sempre sovradimensionato dal punto di vista numerico e della struttura fisica delle specie impiegate, e/o solitamente non *in fase* rispetto al clima⁷¹), sia conseguentemente al fatto che un mix vegetale elevatissimo – tipico anche delle chiusure verticali vegetate ma inerente soprattutto i muri vegetali – porti con sé grandi difficoltà nella taratura dei cicli idrici: accade perciò di sovente che, per assicurare

⁶⁹ Il bilancio LCA (*Life Cycle Assessment*) è una metodologia di analisi che valuta l'insieme di interazioni che un prodotto o un servizio ha con l'ambiente esterno, considerando il suo *intero* ciclo di vita: esso include quindi i punti di pre-produzione (comprensivo perciò di estrazione e realizzazione dei materiali), produzione, distribuzione, uso (riuso e manutenzione), riciclaggio e dismissione finale del prodotto alla fine del proprio ciclo di vita utile. Il LCA – come definito nella norma internazionale ISO 14040 – considera gli impatti ambientali del caso esaminato nei confronti della salute umana, della qualità dell'ecosistema e dell'impoverimento delle risorse, valutandone gliflussi di carattere economico e sociale. Gli obiettivi del LCA sono quelli di definire un quadro completo e strutturato delle interazioni con l'ambiente di un prodotto o di un servizio, contribuendo a comprendere le conseguenze ambientali direttamente o indirettamente da esso causate.

⁷⁰ La coltivazione idroponica permette un risparmio idrico fino a 10 volte superiore rispetto alle coltivazioni tradizionali su terreno naturale. (Fonte: <http://www.genitronsviluppo.com> – articolo pubblicato in data 20/05/2008)

⁷¹ Cfr. capitolo IV

un dignitoso stato biologico alla specie meno efficiente presente, un'intera parete vegetata venga investita da una quota d'acqua che si rivela eccessiva per la maggior parte delle altre piante, e quindi per esse impossibile da trattenere. Ulteriore aggravante risiede nel fatto che molto spesso i sistemi irrigui, causa problematiche d'investimento economico e di semplicità nella realizzazione, non siano a circuito chiuso⁷²: ciò si traduce in perdite di acqua potabile (filtrata e di elevata qualità) o, nel peggiore dei casi, anche nel rilascio in fognatura di soluzione idrosalina⁷³.

Tutte le specie vegetali necessitano della risorsa idrica durante l'intero arco dell'anno, ma essa è variabile conformemente alle stagionalità. Infatti, come accade per tutti gli esseri viventi, anche le piante per vivere devono cercare uno stato di equilibrio col clima del luogo nel quale si trovano; ne consegue che le attività metaboliche vegetali varieranno in funzione delle sollecitazioni ambientali riscontrabili. Perciò quando le temperature ambientali siano maggiori anche le funzioni metaboliche vegetali risulteranno più accentuate a causa di una maggiore evapotraspirazione⁷⁴ dei tessuti, richiedendo di conseguenza anche un più elevato apporto idrico per supportarle; ciò è peraltro dovuto, oltre che alla maggiore attività evapotraspirativa, anche al fatto che tutte le attività finalizzate alla riproduzione vegetale si concentrano nei periodi più caldi dell'anno, cioè quando l'organismo vegetale possa contare su un apporto energetico naturale più elevato. Per contro, quando le temperature esterne saranno inferiori la pianta presenterà una sorta di letargo vegetativo, col risultato che le funzioni biologiche saranno minori, così come anche l'energia da esse investita nelle varie attività fisiologiche: perciò, nelle stagioni fredde, anche la richiesta idrica – e nutrizionale – sarà più bassa.

A titolo di esempio si riportano i dati medi di richiesta idrica misurati per alcuni sistemi commerciali, al fine di poter contare su un parametro di valutazione reale. Il sistema per l'inverdimento parietale prodotto dall'azienda *Verdecrea* – sistema del tutto simile a quello realizzato da Partick Blanc – consuma mediamente 5 litri d'acqua giornalieri per ogni m² di parete a verde, diversamente distribuiti in base alle stagioni: esso infatti, a fronte di un consumo invernale che si attesta sui 3 litri/m²/giorno, presenta un consumo estivo di 6 litri/m²/giorno⁷⁵. Il sistema di facciata denominato *6.sesto punto* e prodotto dalla ditta *Tecology* necessita di 10 litri/m²/giorno durante la fase estiva, mentre di 3-4 litri/m²/giorno durante l'inverno; per una media annua che si attesta sui 6,5-7 litri/m²/giorno⁷⁶. Risulta perciò evidente come il consumo idrico di una parete vegetata non sia affatto trascurabile.

Anche tutte le varie sostanze che andranno fornite costantemente o periodicamente alle piante per garantirne un'ottimale funzionalità rientrano nel campo delle risorse necessarie al funzionamento dei sub-sistemi edilizi oggetto di ricerca. Trattasi nello specifico di elementi nutritivi, concimi, trattamenti fitosanitari e sostanze ammendanti⁷⁷, che servono all'apparato vegetale per mantenere la

⁷² Cosa che invece sempre accade con le coltivazioni idroponiche in agricoltura.

⁷³ Si fa presente che la soluzione idrosalina contiene nutrienti utili alla vita delle piante ma non a quella dell'essere umano; perciò tale liquido in eccesso potrebbe anche rivelarsi inquinante qualora raggiungesse le riserve di falda sotterranee.

⁷⁴ Si rimanda al capitolo successivo per la descrizione della fenomenologia dell'evapotraspirazione vegetale.

⁷⁵ Dati di consumo idrico espressi dal dott. Daniele Romare della ditta *Verdecrea* durante il seminario tecnico intitolato *Il Verde Verticale: progettazione e sistemi*, tenutosi presso il Palazzo della Formazione di Bologna in data 27/03/2009.

⁷⁶ Dati espressi dall'arch. Marco Rossi della ditta *Tecology* durante il seminario tecnico intitolato *Verde verticale e pareti vegetate: sistemi a confronto*, tenutosi a Monza in data 26/03/2010.

⁷⁷ I trattamenti fitosanitari sono destinati all'apparato vegetale, ed usualmente impiegati per combattere le principali avversità delle piante; gli ammendanti riguardano terreni e substrati, e sono utilizzati per migliorarne le caratteristiche fisiche.

propria funzione biologica ad ottimali livelli, o per consentirgli di superare eventuali traumi dovuti alla collocazione estrema – o comunque non naturale – delle piante in parete.

Tali sostanze presentano una doppia criticità intrinseca. Innanzitutto quella di essere appunto sempre necessarie in percentuale maggiore rispetto agli impianti di vegetazione tradizionali, a causa della collocazione difficoltosa per l'apparato vegetale; in seconda battuta perché, essendo tali sostanze molto spesso di origine chimica o comunque industriale, presentano elevate quote di energia incorporata⁷⁸ e si rendono perciò colpevoli di impatti ambientali notevoli, come emissioni inquinanti dovute alla produzione e al trasporto fino al luogo d'utilizzo (anidride carbonica, particolati in sospensione, ecc.), o inquinamenti fisico-chimici dell'acqua eventualmente rilasciata dal sistema.

V.5. Gestione e manutenzione

Nel caso delle chiusure verticali vegetate, i sottosistemi a cui dedicare attenzione e operatività gestionale sono tre: l'apparato vegetale (comprensivo sia dello strato a verde che degli elementi di substrato), i sistemi di supporto e le varie stratificazioni funzionali che compongono la parete, il sistema d'irrigazione e drenaggio. Ne consegue che se nel caso dei rivestimenti vegetali le problematiche legate alla manutenzione e gestione dell'apparato di chiusura si risolvevano in un'attività dalla duplice valenza⁷⁹, nel caso specifico si tratta invece di un'attività tripartita (Tab.V.89 e Tab.V.90): operazioni che andranno considerate tutte di paritetica importanza, anche se la manutenibilità del sistema vegetale risulta quella maggiormente onerosa.

Le attività gestionali legate *al solo* sistema vegetale⁸⁰ d'integrazione a facciate edilizie sono di tipologie differenti per frequenza e impegno richiesti, o conseguentemente al fatto che alcune di queste azioni risultino obbligate – manutenzione *ordinaria* – mentre altre possano anche eventualmente non accadere, quindi *straordinarie*. Le principali opere solitamente necessarie consistono in: normale irrigazione; preparazione e concimazione dei substrati; controllo e/o potature per la limitazione dimensionale delle propaggini vegetali; eventuali cure di cui le piante necessitano. Le prime tre fanno parte della manutenzione ordinaria e dovranno venire effettuate con costanza e periodicità differenziate durante l'arco dell'anno (Tab.V.88), mentre le restanti potranno rendersi necessarie o meno a seconda delle casistiche.

Le lavorazioni relative allo strato vegetale sono sicuramente quelle più onerose, sia dal punto di vista dell'impegno medio annuo che, di conseguenza, anche da quello economico. Attività che consta sostanzialmente di due macro-categorie, inerenti rispettivamente il nutrimento delle piante (irrigazione e concimazioni, che nel caso dei sistemi di fertirrigazione saranno – come visto – entrambe demandate all'apposito sistema centralizzato) e la gestione della componente *fisica* delle piante, ossia tutte quelle cure o azioni necessarie al mantenimento di una copertura vegetale ottimale.

⁷⁸ Anche solo a livello intuitivo è ben comprensibile come un fertilizzante derivante da sintesi chimica e prodotto magari in una nazione estera, presenti un quantitativo di energia incorporata ben superiore ad uno naturale prodotto dagli animali che vivono e pascolano nello stesso luogo d'impianto; allo stesso modo è palese come tali citati fertilizzanti naturali non possano essere impiegati nella coltivazione idroponica parietale.

⁷⁹ Cfr. III.7

⁸⁰ Ci si riferisce quindi, per ora, al solo apparato a verde composto da vegetazione e substrati: le attività manutentive e gestionali legate ai vari sottosistemi funzionali e di supporto, o quelle inerenti al sistema d'irrigazione e drenaggio verranno trattate in seguito.

La manutenzione legata alla componente aerea di vegetazione consiste primariamente nel controllo dello strato vegetale e – solo per le specie che lo richiedano – nell'eventuale potatura finalizzata al mantenimento della parte vegetale entro valori predeterminati (ossia spessore dello strato a verde e lunghezza delle propaggini vegetali). L'entità e frequenza di questa classe di attività gestionale è variabile in funzione delle specie impiegate⁸¹ ma, a livello generale, è mediamente stimabile in 2-3 sessioni annue.

Le chiusure vegetate inoltre, a causa dell'altissimo numero di esemplari che solitamente ospitano (il sistema brevettato da Patrick Blanc può arrivare anche a contenere 25-30 piante per metro quadrato di superficie, alcuni altri arrivano anche fino a 50-90 esemplari per metro quadrato⁸²) presentano una moria percentualmente non trascurabile, quindi anche le operazioni di *pulizia del secco* e rimpiazzo/sostituzione degli esemplari deceduti si rivela un'attività annoverabile fra le operazioni di ordinaria manutenzione.

La frequenza di manutenzione ordinaria, come accade per tutte le tecnologie che prevedano l'integrazione o l'ospitalità di apparati vegetali su superfici architettoniche, si rivelerà necessariamente più accentuata nel primo o nei primi due anni d'impianto. Frequenza maggiore dovuta sostanzialmente al controllo dello sviluppo biologico dell'apparato vegetale: negli stadi iniziali di accrescimento una pianta è molto più vulnerabile e, per molteplici ragioni dovute alla giovinezza, potrebbe anche palesare delle sofferenze o morire.



Fig.V.85 – A sinistra. Herzog & de Meuron, Patrick Blanc: *Caixa Forum*, Madrid (Spagna), 2007. Nella parte bassa della parete a verde è possibile vedere il ponteggio elevatore non permanente: esso permette sia le operazioni d'impianto manuale dei vegetali che le attività manutentive. Tale struttura viene montata e smontata all'occorrenza, quindi più volte all'anno. (Fonte: Valeria M. Rocco)

Fig.V.86 – A destra. Potatura di una parete a verde: per raggiungere le parti più alte della chiusura è necessario l'impiego di un braccio meccanico mobile. Cfr. Fig.V.34. (Fonte: *Tecology*)

⁸¹ A titolo di esempio si riportano le necessità medie di sfalcio per due tipologie differenti di specie graminacee che il sistema industrializzato *6.sesto punto* prodotto da *Tecology* utilizza nelle proprie pareti. Le *zoysie* necessitano mediamente di un solo taglio annuale; le *testuche* richiedono 4-6 sessioni annue di potatura. (Fonte: *Tecology*)

⁸² Valore dichiarato dalla scheda tecnica del sistema brevettato *Naturewall*. (Fonte: catalogo *Naturewall*)

Le frequenze di taglio succitate andranno considerate come valori medi indicativi da valutare, perciò, di volta in volta in base al caso specifico, dipendentemente dal tipo di pianta impiegata e dal numero di specie coinvolte⁸³. Altra questione che incide sul numero delle sessioni annuali di sfalcio riguarda le caratteristiche delle specie selezionate, in quanto la possibilità o meno che esse producano infiorescenze o fruttificazioni diventerà un ulteriore parametro da ponderare. Molte specie producono fiori o frutti come strategia riproduttiva in alcune e differenti stagioni dell'anno, con la conseguenza che, terminato tale periodo specifico diversamente prolungato in funzione della specie, i suddetti apparati riproduttivi cadranno a terra: fatto che si ripercuote direttamente sulle attività di gestione del sistema vegetale, richiedendone uno sforzo maggiore.

L'attività di potatura, benché semplice dal punto di vista operativo in quanto eseguibile coi convenzionali sistemi manuali o meccanici di sfalcio, si rivela particolarmente critica dal punto di vista pratico ed economico. Infatti la criticità maggiore risiede nella dimensione non trascurabile delle installazioni d'inverdimento parietale, soprattutto in altezza. Per poter raggiungere le porzioni più alte della chiusura si rende perciò spesso necessario l'impiego di particolari elementi elevatori, come carrelli meccanizzati o gru comandate a distanza (Fig.V.85 e Fig.V.86; cfr. Fig.V.12), in modo da mettere gli operatori deputati nelle condizioni di poter agire mediante le succitate modalità ed a quote elevate dal livello di campagna: funzione non tanto difficoltosa dal punto di vista operativo o di realizzazione – la tecnica odierna permette di espletare agevolmente tale operazione – ma soprattutto costosa, soprattutto nei casi in cui essa debba essere compiuta più volte in un anno. È perciò possibile formalizzare, di conseguenza, la seguente relazione fra altezza complessiva della parete inverdita ed entità dei costi gestionali ed essa relativi:

> altezza totale del sistema > costi gestionali

Le azioni legate a debellare la presenza di parassiti – animali o vegetali⁸⁴ – rientrano tra le opere manutentive straordinarie. Per liberare il rivestimento vegetale dalla presenza parassitaria sarà opportuno agire con le tecniche classiche solitamente impiegate in agronomia. Da notare però che tali opere dovranno essere demandate a figure professionali esperte, o comunque effettuate sotto la loro supervisione.

L'irrigazione, come visto, è un'operazione relativamente semplice e, nel caso venga gestita in modo automatizzato, tende a risolversi esclusivamente nel controllo e nell'eventuale riparazione o sostituzione degli elementi o delle parti danneggiate. Essa verrà perciò gestita quotidianamente dal sistema d'irrigazione automatizzato, con differente entità e frequenza sia giornaliera che periodica in funzione delle stagionalità.

La dosatura delle sostanze nutritive e la definizione dei vari cicli di fertirrigazione dovrà essere demandata a figure professionali specifiche, in quanto si rivela non facile; inoltre degli errori previsionali potrebbero ripercuotersi sui sistemi vegetali in modo anche accentuato o grave, fino a provocarne la morte. Attività di previsione che, peraltro, diventerà maggiormente difficoltosa proporzionalmente al numero di specie impiegate all'interno della stessa chiusura, nonché quando si scelgano mix vegetali molto variegati o contenuti specie fruttifere. Se l'irrigazione è un'attività

⁸³Quando si impieghino impianti pronto effetto tale numero di potature riconducibile ai primi 2-3 anni non dovrà essere conteggiato.

⁸⁴ Per parassiti vegetali si intendono eventuali specie infestanti – autoctone o alloctone – che riuscissero ad approdare al rivestimento prendendo il sopravvento sulle specie originarie.

giornaliera, la fertilizzazione è sicuramente sporadica, ma oggi giorno gli impianti automatizzati riescono a gestire più cicli differenziati senza problemi.



Fig.V.87 – L'azienda americana *ELT Easy Green*, produttrice dell'omonimo sistema industrializzato per l'inverdimento parietale, vista l'oggettiva difficoltà intrinseca e la frequenza necessaria per espletare le ordinarie operazioni manutentive, consiglia di realizzare dei camminamenti praticabili in prossimità delle pareti vegetate: soluzione certamente funzionale, ma probabilmente non proprio raccomandabile dal punto di vista della riuscita formale dell'intervento. (Fonte: <http://www.eltlivingwalls.com>)

Anche l'avvicendamento stagionale diventerà un parametro imprescindibile nella progettazione dei cicli di irrigazione o fertirriganti: in funzione della maggiore o minore temperatura, le piante producono differenziati quantitativi di attività fisiologiche, richiedendo proporzionalmente maggiori o minori dosi d'acqua e nutrienti. Ne consegue che si renderanno necessari differenti programmi nutritivi durante l'anno⁸⁵: questione che aggrava ulteriormente la difficoltà di taratura dei vari cicli.

TIPO DI SOTTOSISTEMA	FREQUENZA MEDIA ANNUA
Apparato vegetale (piante e substrato)	2-3-4 volte l'anno
Sottosistemi tecnologici e componenti	1 volta all'anno
Impianto irriguo (o di fertirrigazione)	1-2 volte l'anno

Tab.V.88 – Tabella riassuntiva delle frequenze medie annuali per le operazioni di monitoraggio e manutenzione ordinaria. Tali valori andranno comunque considerati indicativi soprattutto per quel che concerne l'apparato a verde: la sua manutenzione è caratterizzata da una profonda variabilità in funzione delle specie impiegate.

Problematica gestionale diversa è quella del complesso apparato tecnologico di supporto. Esso comunque, se ben realizzato, non dovrebbe recare particolari criticità durante il suo intero ciclo di vita. Il discorso è leggermente diverso per sottosistemi più complessi, in cui verrà necessariamente richiesto un impegno manutentivo maggiore. È comunque possibile affermare che qualsiasi sistema debba garantire innanzitutto la facilità delle opere d'ispezione, nei confronti di tutte le parti o sottosistemi che lo compongono, e specificamente:

⁸⁵ Solitamente tre: estate, primavera, autunno.

- controllo della stabilità formale delle strutture;
- controllo dell'integrità globale e della tenuta delle stratificazioni interne, e relazioni reciproche;
- ispezione dell'integrità degli elementi di connessione o d'interfaccia fra chiusura edilizia e sistema di supporto alle piante (ad esempio viti, tasselli, staffe metalliche, ecc.) o, eventualmente di quelli che gli consentano di autoportarsi;
- verifica della stabilità chimica e fisica dei materiali, sia in assoluto (in quanto una loro degradazione potrebbe portare anche a danni molto gravi per la struttura) che nei confronti della pianta o della chiusura che ospita entrambe;
- tutte le possibili azioni di conservazione, correzione o recupero delle anomalie eventualmente riscontrate in seguito al monitoraggio.

Questione ancora diversa per quel che concerne la chiusura⁸⁶ verticale destinata ad ospitare l'apparato vegetale e tutte le stratificazioni necessarie all'inverdimento. Se il sistema vegetale e quello finalizzato al suo supporto siano ben realizzati, essa non dovrebbe risentire in alcun modo della presenza di tali sistemi che la integrano. Perciò, una volta che la chiusura vegetata offra la possibilità di pieno monitoraggio delle retrostanti stratificazioni e non vi incida negativamente in alcun senso, né dal punto di vista fisico che chimico, tutte le attività manutentive da riservare ad essa dipenderanno esclusivamente dalle caratteristiche tecnologiche e di degrado della stessa, esulando quindi dagli specifici argomenti di questa ricerca.

Vista l'alta tecnologia intrinseca del sistema, nonché gli elevati costi globali che lo caratterizzano, si renderà importante non lasciare al caso le attività gestionali e – soprattutto – la loro frequenza temporale; sarà perciò importante avere ben chiaro fin dall'inizio un piano gestionale pianificato e concreto, in modo da poter affrontare e correggere con tempestività eventuali criticità che potessero emergere conseguentemente all'attività in opera dell'installazione vegetale (Tab.V.89 e Tab.V.90). Come accade coi rivestimenti a verde visti nel terzo capitolo, anche nel caso delle chiusure verticali vegetate l'attività gestionale della parete si rivela un'attività fondamentale alla buona riuscita del sistema durante l'intero ciclo di vita; ma con la differenza che, essendo la chiusura vegetata un sistema molto più complesso, agire su queste particolari tipologie in modo appropriato e reattivo si rivelerà ancora più importante, perché consentirà di livellare eventuali lacune o problematiche prima che la criticità possa aggravarsi o espandersi.

⁸⁶ Col termine *chiusura* si intende in questo specifico contesto la sommatoria di tutti i vari apparati e componenti (strutture, isolamento termoacustico, serramenti, ecc.) non necessari o non funzionali allo strato vegetale.

	MANUTENZIONE ORDINARIA	MANUTENZIONE STRAORDINARIA	VARIABILI D'INDICENZA SULLA FREQUENZA DELLE OPERAZIONI
SISTEMA VEGETALE	irrigazione e/o fertirrigazione		<ul style="list-style-type: none"> - specie vegetale utilizzata - stagionalità (nei periodi caldi la necessità idrica della pianta aumenta) - contesto climatico (regione climatica, esposizione solare e microclima)
	<ul style="list-style-type: none"> - potatura - controllo dello strato vegetale - controllo del substrato 		<p>SPECIE IMPIEGATA:</p> <ul style="list-style-type: none"> - velocità di crescita - caratteristiche specifiche del vegetale - struttura vegetale (arbustiva, erbacea, tappezzante, ecc.) - indice di copertura fogliare - rapporto legno/vegetazione - eventuale produzione di fiori o frutti - sostituzione di piante morte - tipologia di substrato <p>CARATTERISTICHE EDILIZIE:</p> <ul style="list-style-type: none"> - presenza o meno di serramenti - configurazione formale delle facciate - presenza o meno di canali di gronda, sistemi a circuito chiuso, ecc. - eventuali cedimenti (puntuali o generalizzati) dello strato di coltivo - necessità specifiche
		concimazione e ammendanti	<ul style="list-style-type: none"> - tipo d'impianto - caratteristiche dei substrati - specie vegetale (alcune specie sono più delicate o richiedono maggiori cure)
		trattamenti fitosanitari	<ul style="list-style-type: none"> - parassiti animali - parassiti vegetali (specie infestanti autoctone o alloctone)

Tab.V.89 – Schema riassuntivo delle operazioni gestionali richieste dall'installazione di una chiusura verticale vegetata, e variabili ad esse associate. Prima parte della tabella, relativa al sistema vegetale.

	MANUTENZIONE ORDINARIA	MANUTENZIONE STRAORDINARIA	VARIABILI D'INDICENZA SULLA FREQUENZA DELLE OPERAZIONI
SISTEMA DI SUPPORTO	monitoraggio: - stabilità formale - stato delle stratificazioni e delle relazioni interstiziali - connessioni ed interfacce - stabilità chimica e fisica dei materiali		- caratteristiche dei materiali del sottosistema - esposizione meteorica (sole, vento, pioggia, neve, umidità, inquinamento atmosferico, ecc.)
		conservazione, correzione o recupero delle anomalie riscontrate	entità specifica (differente da caso a caso) delle patologie
IMPIANTO DI FERTIRRIGAZIONE	monitoraggio: - del sistema e di tutti i suoi componenti - nei casi di fertirrigazione si renderà necessaria la ricarica periodica del banco dosatore		- tipologia di sistema - dimensioni e conformazione geometrica della parete - dimensioni dell'impianto - condizioni particolari
		conservazione, correzione o recupero delle anomalie riscontrate	entità specifica (differente da caso a caso) delle patologie

Tab.V.90 – Schema riassuntivo delle operazioni gestionali richieste dall'installazione di una chiusura verticale vegetata, e variabili ad esse associate. Seconda e terza parte della tabella, relative rispettivamente al sistema di supporto e all'impianto di fertirrigazione.

V.5.1. Criticità inerenti la gestione dell'apparato vegetale e dei sottosistemi ad esso destinati

Seppur come visto finora all'interno del presente capitolo il sistema delle chiusure vegetate si presenti come particolarmente complesso sotto l'aspetto tecnologico, il punto debole dell'intero apparato di

chiusura è sicuramente rappresentato dalla porzione a verde⁸⁷. Questo perché la collocazione parietale delle piante le costringe a dover sopravvivere in una condizione innaturale⁸⁸: condizione non congenita che si traduce in una maggiore delicatezza dell'apparato vegetale che, di conseguenza, lo porta ad essere più attaccabile dal punto di vista sia degli infestanti o parassiti vegetali e animali, sia vulnerabile ad eventuali sollecitazioni ambientali non opportunamente considerate durante il processo progettuale.

Le criticità interessanti l'apparato a verde, una volta che questo sia già stato posizionato nella sua collocazione definitiva e si trovi quindi in fase vegetativa *di esercizio*, si riferiscono sostanzialmente a tre categorie; queste, qualora scarsamente o erroneamente considerate a monte, potrebbero condurre a problematiche più o meno serie nei confronti del sistema vegetale, finanche addirittura alla morte – in toto o in parte – dell'apparato a verde.

La prima problematica, spesso ricorrente, è legata ad una scelta errata delle specie vegetali in funzione di clima o microclima del contesto di progetto (Fig.V.91 e Fig.V.92). Come definito nel capitolo precedente, tale scelta si rivela particolarmente difficoltosa a causa delle molteplici variabili da considerare quando si debba selezionare un sistema vegetale per un dato luogo, in modo che esso possa rispondere in maniera adeguata alle sollecitazioni ambientali ivi presenti, al fine di garantire uno sviluppo biologico e vegetativo *quantomeno dignitoso* all'apparato vegetale. Si rimanda perciò al capitolo precedente per l'approfondimento delle tematiche legate ad una scelta appropriata dei sistemi vegetali in funzione delle molteplici sollecitazioni che possano agire in un dato luogo.



Fig.V.91 – A sinistra. *Poliflor* e Comune di Merano, *Parco Zuegg*, Merano (BZ), 2009: foto della parete a verde subito dopo la chiusura del cantiere. (Fonte: catalogo *Poliflor*)

Fig.V.92 – A destra. *Poliflor* e Comune di Merano, *Parco Zuegg*, Merano (BZ): foto risalente al 29 aprile 2010. Dopo meno di un anno dalla fine dei lavori quasi tutta la chiusura risulta sprovvista di vegetazione, lasciando a vista il sottosistema tecnologico d'inverdimento: i soli vegetali ancora in vita sono quelli rampicanti in quanto, oltre ad essere gli unici piantati a terra, presentano una struttura vegetale fisiologicamente molto resistente. Si presume che il decesso dell'apparato a verde sia avvenuto conseguentemente ad un'erronea selezione delle piante in funzione delle caratteristiche microclimatiche del contesto.

⁸⁷ Anche in questo caso, quando ci si riferisce alla porzione a verde si intende la sommatoria tra componente vegetale e substrato destinato a contenerla.

⁸⁸ Ciò è vero se non per tutte, almeno per la grande maggioranza delle specie vegetali esistenti sulla Terra.



Fig.V.93 – A sinistra. DSDHA, *Paradise Park Children's Centre*, Londra, 2006: foto della parete a verde subito dopo il termine dei lavori. Il sistema è composto da moduli metallici gabbionati contenenti substrato; la componente a verde è realizzata tramite un mix vegetale molto variegato, composto da specie erbacee tappezzanti.

(Fonte: http://www.betterpublicbuilding.org.uk/assets/images/finalists_2007/Paradise.jpg)

Fig.V.94 – A destra. DSDHA, *Paradise Park Children's Centre*, Londra: foto risalente al 2009. Dopo solo pochi anni l'apparato vegetale risulta completamente rinsecchito, lasciando a vista tutto il sottosistema deputato al suo contenimento. I progettisti hanno dichiarato che la criticità generatrice della morte dei vegetali è dovuta ad una sinergia tra problematiche relative alla progettazione del sistema fertirrigante ed altre inerenti la selezione dei vegetali. (Fonte: <http://www.vegitecture.net/2009/08/what-can-we-learn-from-this.html>)



Fig.V.95 – A sinistra. L'*Oulu Bar* di New York (USA), inizialmente inverdito mediante un sistema vegetale monospecie, dopo meno di un anno dal completamento dei lavori presentava la morte dell'intero apparato a verde (si veda in Fig.IV.28 la foto del medesimo quando la vegetazione era in vita). La componente vegetale esposta a Nord è deceduta probabilmente a causa di un'erronea selezione dei vegetali.

(Fonte: <http://insideurbangreen.typepad.com/.a/6a00e3982480928833010537095a91970b-pi>)

Fig.V.96 – A destra. L'*Oulu Bar* come si presenta oggi: la chiusura vegetata è stata sostituita con del legno compensato. (Fonte: <http://ny.racked.com/uploads/2010-02-Kingdom.jpg>)

Anche la realizzazione del sistema a verde potrà rivelarsi un nodo particolarmente sensibile e difficoltoso. Una corretta realizzazione del sistema combinato "vegetazione-substrato" si rivela fondamentale alla buona riuscita dell'intervento, in quanto la scelta di materiali opportuni – organici,

inorganici, inerti, ecc. – è una delle discriminanti principali nella buona riuscita di un’installazione del genere. Commettere errori riguardanti le proprietà specifiche dei substrati, verso le loro intrinseche componenti di drenaggio o aerazione radicale, o in merito alle caratteristiche fisiche o d’interazione chimica sia con le piante che nei confronti delle stratificazioni in parete, può comportare il fallimento della chiusura.

Lo stesso discorso vale poi nell’attività di costruzione vera e propria, in quanto impiegare dei componenti o delle sostanze di substrato appropriate potrebbe non essere sufficiente qualora l’attività di costruzione o assemblaggio in opera degli stessi risultasse carente.



Fig.V.97 – A sinistra. Carloratti Associati, *Trussardi Café*, Milano, 2008. L’edificio presenta due muri vegetali esattamente uguali, l’uno esterno e l’altro all’interno: l’unica differenza tra i due è rappresentata dalle specie impiegate. Nel primo periodo dopo la fine dei lavori, il manufatto ha avuto dei problemi di drenaggio dovuti a un erroneo dimensionamento della grondaia per il deflusso della soluzione fertirrigante: problemi che ne hanno precluso, almeno per i primi tempi, una certa rigogliosità vegetale soprattutto all’interno. Tali problemi sono stati oggi prontamente risolti tramite l’adeguamento della citata grondaia.

Fig.V.98 – A destra. Carloratti Associati, *Trussardi Café*, Milano, 2008: dettaglio della soluzione d’angolo interna. Come visibile, in alcuni punti la vegetazione fatica ad attecchire e svilupparsi, lasciando a vista il substrato in feltro.

Il terzo nodo critico è rappresentato dalla componente automatizzata del sistema, ossia l’impianto fertirrigante. Essendo esso un sottosistema molto strutturato e composito, la realizzazione di tutte le sue parti e le reciproche relazioni di coesistenza o funzionamento si rivelano un nodo affatto semplice da gestire. La scelta e soprattutto il dimensionamento dei nutrienti da fornire alle piante può rivelarsi un’arma a doppio taglio, in quanto sia un eccesso di nutrimento che una sua mancanza temporanea si rivelerebbe un fenomeno di stress per gli organismi vegetali: stress che, se prolungato, potrebbe anche condurre al decesso delle piante. Per il medesimo motivo, diviene evidente come anche un’interruzione solo temporanea del rifornimento idrosalino dovuta a guasti del sistema potrebbe essere critica, soprattutto in funzione della scarsità di substrato (e della relativa capacità di ritenzione idrica) che molte installazioni presentano: perciò, risulterà sempre importantissimo il

continuo monitoraggio del sistema e di tutte le sue parti, unitamente ad una prontezza d'azione nel caso di guasti⁸⁹ (Fig.V.93 e Fig.V.94).

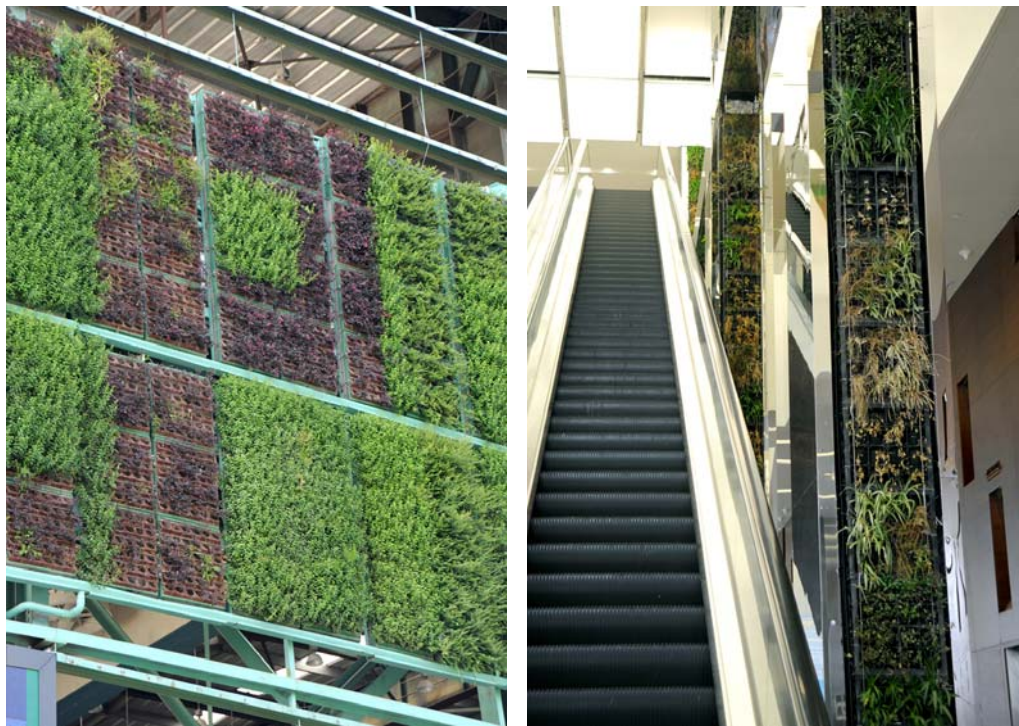


Fig.V.99 – Expo di Shanghai 2010: altri due esempi di fallimenti progettuali. Nella foto a sinistra, la parziale scomparsa della piantumazione monospecie lascia intravedere lo strato di coltivo composto da vasi polimerici giustapposti sia orizzontalmente che in verticale. Interessante da notare, nella parte sottostante ai vari moduli, il sistema di recupero e smaltimento liquidi che culmina (sulla sinistra della foto, in basso) in un semplice pluviale metallico. Vista la sola parziale scomparsa della vegetazione, si presume che il decesso vegetale sia da imputare a malfunzionamenti nel sistema irriguo. Nella foto di destra è raffigurato l'interno dell'Expo Press Centre: in tal caso il problema è sicuramente imputabile ad una erronea selezione vegetale. La morte della vegetazione lascia a vista l'intero sottosistema tecnologico per la sua messa in opera: esso è realizzato tramite moduli polimerici contenenti substrato granulare inorganico. (Fonte: Giovanni Zannoni)

Tutte e tre le classi di problematiche appena declinate risultano legate alla presenza vegetale in modo direttamente proporzionale al numero e alla tipologia di specie utilizzate. Infatti, gestire delle installazioni a Verde Verticale che presentino un elevato mix specifico, risulta maggiormente difficoltoso che nel caso di pareti monospecie o contraddistinte da una modesta varietà vegetale: questo perché, sempre nel caso vi sia un elevato numero di esemplari diversi, non si renderà solo obbligato valutare una maggiore quantità di variabili vegetali possibili, ma anche perché saranno attentamente da ponderare le azioni reciproche messe in gioco dalle piante, le interazioni interspecifiche o intraspecifiche⁹⁰, e la loro possibile mutabilità nel tempo.

⁸⁹ Molte aziende che si occupano di impianti d'irrigazione forniscono oggi la possibilità di telegestione a distanza, in modo da avere sempre sotto controllo il sistema e tutte le sue parti. Ciò al fine sia di poter agire prontamente in caso di malfunzionamenti o rotture, che di poterne variare a distanza i parametri di dosaggio o frequenza irrigua.

⁹⁰ Le relazioni *intraspecifiche* interessano comunità vegetali della stessa specie, mentre quelle *interspecifiche* si riferiscono a specie diverse all'interno del medesimo appezzamento.

Per tali motivi, come peraltro già espresso all'interno del presente lavoro, sarà sempre importante agire in modo attento quando si scelga di operare con elementi vegetali d'integrazione ad apparati edilizi o architettonici; come del resto sarà sempre fondamentale la collaborazione, fin dalle prime fasi del processo edilizio, con figure professionali o scientifiche esperte di piante, come agronomi, botanici, tecnici della pratica fertirrigante.

V.6. I costi delle chiusure verticali vegetate

In questa ultima sezione del capitolo – mediante la medesima metodologia operativa applicata al paragrafo III.8 – si predispone uno strumento previsionale finalizzato alla stima dei costi delle chiusure vegetate. Tale azione ha come obiettivo principale quello di mettere una qualunque figura professionale nelle condizioni di comprendere quali siano le voci di spesa caratterizzanti il sistema tecnologico qui descritto, così da poter operare, una volta che si disponga di un progetto definitivo o esecutivo, una stima completa e sufficientemente corretta dei costi globali di un'opera architettonica che comprenda un tale sottosistema edilizio.

Nella realizzazione di una chiusura vegetata verticale, essendo essa un sistema composito d'integrazione a una chiusura edilizia esistente o di nuova edificazione, saranno da collocare a bilancio tutte le varie voci di spesa possibili, consistenti nella sommatoria tra i costi dell'apparato vegetale e quelli del complesso e stratificato sub-sistema tecnologico di supporto. Costi innanzitutto molto variabili in funzione delle tecnologie impiegate e che, confrontando la specifica tipologia del presente capitolo coi rivestimenti a verde trattati in precedenza, si dimostrano tendenzialmente molto costosi.

Quindi molteplici sezioni di spesa differenti, rappresentate dalle piante e da tutti i sottosistemi tecnologici o strutturali destinati al loro supporto: costi che, inoltre, saranno a loro volta scindibili in due ulteriori categorie dipendentemente dal fatto che si tratti di spese iniziali, ossia *costi di costruzione*, o *spese di gestione*⁹¹ inerenti una struttura completata e funzionante.

I costi imputabili al sistema vegetale si risolveranno nella sommatoria tra le spese per l'acquisto delle piante e quelle relative alle varie opere necessarie per la loro messa a dimora durante le varie fasi di realizzazione: costi altamente variabili in funzione dell'origine e del numero delle specie prescelte.

Strutture e sottosistemi, invece, presenteranno un prezzo variabile in funzione della provenienza (industriale o semi-artigianale, originale o customizzata, ecc.) e delle proprie caratteristiche intrinseche. La stima dei costi legati alla realizzazione e messa in opera dei sottosistemi di supporto alle piante dovrà quindi tenere conto della diversità tecnologica di tutti i numerosi componenti o prodotti impiegati, piuttosto che del sistema vegetale utilizzato: apparato vegetale che, come detto, avrà un peso percentuale limitato nei confronti del costo di costruzione dell'opera.

All'attuale stato dell'arte produttivo e commerciale risulta quasi impossibile determinare a priori un costo medio al metro quadrato di un muro vegetale o di una chiusura vegetata, in quanto i

⁹¹ Andranno compresi tra i costi gestionali anche quelli comprendenti le varie fasi di dismissione dell'opera alla fine del proprio ciclo di vita utile.

parametri e le discriminanti intrinseche di ogni specifico progetto o prodotto rendono difficoltoso stilare dei valori medi che siano anche solo vicini alla realtà.

Potrebbe dunque rivelarsi utile per un progettista o un committente, invece, tentare piuttosto di comprendere quali siano le lavorazioni da mettere a bilancio quando si vada a misurarsi con la realizzazione di una chiusura vegetata nel progetto. Anche in questo caso, ritorna quindi utile citare la griglia di stima proposta in precedenza⁹², dove si agisce illustrando quali possano essere le opere o lavorazioni necessarie nella realizzazione di una chiusura a verde, piuttosto che addentrarsi nella difficoltosa – e probabilmente scarsamente realistica – stima di valori medi al metro quadro che tentino di confrontare la miriade di sistemi, anche molto differenti tra loro, oggi rilevabili sui mercati globali⁹³. Le voci di spesa caratterizzanti il maggiore o minore costo di un intervento sono quindi le seguenti:

- dimensioni del progetto;
- costi di progettazione;
- tipo di sistema utilizzato;
- requisiti dei sistemi di supporto (il costo del sistema varierà proporzionalmente alla complessità tecnologica intrinseca);
- localizzazione geografica d’inserimento;
- complessità del progetto e impiego di componenti standardizzate o personalizzate;
- condizioni del sito di progetto e possibilità di accesso;
- costo d’installazione;
- disponibilità di materiali e componenti;
- scadenze di progetto (eventuali limiti temporali per la chiusura del cantiere);
- tipologia e specificità d’impianto;
- cicli di manutenzione preventivati (opzione sempre consigliabile).

Questo per quel che concerne i costi relativi alla costruzione di una facciata o parete integrante vegetazione. Ulteriore problema, che avrà un peso economico non trascurabile nel ciclo di vita utile di un manufatto che presenti una o più chiusure vegetate verticali, sarà quello gestionale. Anche qui, considerata l’eterogeneità dell’offerta edilizia e di mercato oggi esistente, unitamente alla grande variabilità ottenibile con l’azione progettuale, sarebbe altamente difficoltoso – e probabilmente dispersivo – fornire delle valutazioni economiche di massima che fossero anche solo vicine alla realtà o alla complessa offerta mercantile. Ciò perché tali sistemi d’inverdimento parietale sono caratterizzati da una bassissima uniformità costruttiva o procedurale, e non presentano una specifica normativa di riferimento. Si ritiene perciò maggiormente utile, in questa sede finalizzata allo studio del metasistema, fornire un modello indirizzato alla stima dell’opera progettata o in via di realizzazione, così da poter permettere ad un ipotetico professionista o committente di orientarsi, comprendere e

⁹² Cfr. III.8

⁹³ Per la verità, seppur tale campo risulti alquanto difficoltoso e problematico, almeno per i sistemi industrializzati risulterebbe possibile fornire un range di massima in merito ai possibili costi al metro quadrato. Infatti, in base alle conoscenze accumulate nella redazione della presente ricerca, è possibile affermare che gran parte dei sistemi via via descritti nel presente capitolo si attestino su dei costi medi al m² compresi tra 350 e 800 €, nel caso di inverdimenti prevegetati. Non è invece possibile operare il medesimo ragionamento coi sistemi da vegetare in loco dopo la fine dei lavori di costruzione edilizia, in quanto sono poche le industrie che offrono tale possibilità: è comunque possibile affermare che i sistemi non prevegetati risultano sempre più economici dei precedenti.

quantificare a priori quali e quante potrebbero essere le lavorazioni di cui abbisogni una chiusura vegetate ogni qualvolta ci si cali nel caso specifico.

Nella seguente tabella vengono riportate, per quanto riguarda i differenti momenti di vita di un manufatto architettonico che vanno dalla sua ideazione alla fase gestionale, quelle che sono le “voci di spesa” caratterizzanti, e che andrebbero caso per caso computate a bilancio. Il tutto con l’obiettivo di fornire uno strumento operativo volto alla stima economica dei costi costruttivi e gestionali di un edificio che presenti una o più pareti completamente o in parte integrate dalla vegetazione.

Le voci di spesa indicate interessano le opere architettoniche relative alla chiusura vegetata, quindi comprensive di tutti gli elementi e sottosistemi che compongono la parete verde stessa, ma tralasciando quelli della chiusura ospitante, considerata in questo caso come pre-esistenza. Inoltre, visti i possibili e differenziati gradi di complessità tecnologica e stratigrafica che alcune tipologie di facciate verdi presentano rispetto ad altre, le “voci di spesa” non saranno sempre tutte computabili rispetto a qualsiasi tipologia di chiusura, ma andranno di volta in volta adattate al caso specifico e alla tipologia sistemica prescelta: esse, quindi, andranno caso per caso valutate ed eventualmente estromesse dal computo. La tabella riportata vuole rappresentare un modello applicativo, semplificato e speditivo, per l’orientamento del progettista – o chi per esso – nelle fasi di scelta progettuale, utile ad una stima dei costi globali dell’opera (Tab.V.100).

Rimane inoltre da segnalare che tali tecnologie, permettendo grazie alla loro presenza un effettivo e non trascurabile miglioramento delle prestazioni globali⁹⁴ del manufatto architettonico, potrebbero non venire identificate esclusivamente con costi e spese di realizzazione o gestionali; ma volendo approdare ad un modello che effettivamente riesca a delineare con completezza quale potrebbe essere la loro effettiva entità monetaria, andrebbero opportunamente collocati a bilancio anche i guadagni – monetizzabili o meno – conseguenti all’impiego delle tecnologie descritte. Ecco quindi che la tabella di stima andrà completata tenendo debitamente conto dei possibili ritorni economici nel medio o lungo periodo.

I punti che compongono tale modello di valutazione economica verranno quindi sdoppiati in “voci di spesa” (declinate sottoforma di costi e contrassegnate dal simbolo [-]) o “voci di guadagno” (col simbolo [+]); intendendo come guadagni tutte le *mancate spese* conseguenti all’utilizzo di tecnologie che permettano un aumento dell’efficienza energetica complessiva del manufatto consentendogli quindi un risparmio economico sui costi gestionali, e che andrebbero perciò debitamente computate a bilancio all’interno delle azioni di quantificazione economica globale.

⁹⁴ Con “prestazioni globali” si intendono non solo le caratteristiche di miglioramento dell’efficienza energetica – caratteristiche tutto sommato facilmente monetizzabili – ma anche quelle acustiche, igieniche, di salubrità dell’aria e psicologiche derivanti dalla vita a contatto con le piante e dalla loro percezione: cfr. capitolo VI

COSTI E GUADAGNI	REALIZZAZIONE [-]	<ul style="list-style-type: none"> - materie prime, strutture costruttive, sistemi tecnologici - progettazione (diverse figure professionali coinvolte: architetto, ingegnere strutturista, agronomo, ecc.) - costi di cantierizzazione
		SISTEMA VEGETALE
		<ul style="list-style-type: none"> - manutenzioni ordinarie - manutenzione straordinaria (eventuale)
	GESTIONE E MANUTENZIONE [-]	SISTEMA DI SUPPORTO (strutture, sottosistemi, componenti, impianti tecnici)
		<ul style="list-style-type: none"> - ispezione e controllo - pulitura - attività di conservazione e verifica - adeguamento o ripristino (ad es. eventuale sostituzione di parti fisiche danneggiate)
	BENEFICIO [+]	MONETIZZABILE
		<ul style="list-style-type: none"> - miglioramenti nell'efficienza energetica dell'edificio - eventuali entrate secondarie: agevolazioni fiscali e normative (ad es. <i>LEED</i>), biomassa ricavata e riutilizzabile, ecc.
		DIFFICILMENTE MONETIZZABILE
<ul style="list-style-type: none"> - miglioramento dell'efficienza acustica - benefici ambientali (condizionamento microclimatico degli ambienti interni ed esterni, qualità dell'aria, ecc.) - altri (beneficio sanitario, psicologico, estetico, possibilità di coltivazione ortofrutticola in parete, ecc.) 		

Tab.V.100 – Voci di spesa da computare a bilancio in funzione dei differenti sistemi prescelti per la realizzazione della chiusura vegetata. Dalla tabella sono stati volontariamente estromessi i costi della chiusura edilizia ospitante l'apparato d'integrazione vegetale: si considera perciò il sistema come composto esclusivamente dalla vegetazione e da tutti i sottosistemi relativi al suo supporto. La tabulazione dei costi fissi viene inoltre integrata mediante le *mancate spese* conseguenti all'installazione dell'apparato a verde.

V.7. Fonti di riferimento

In questo ultimo paragrafo verranno citati i riferimenti sia bibliografici che derivanti dalla consultazione di pagine *web*, utilizzati nella redazione del capitolo. Tutti i titoli qui segnalati saranno riportati anche nella *Bibliografia e sitografia generale*, reperibile nelle pagine finali della ricerca.

V.7.1. Bibliografia tematica

1. AA.VV., "Dossier verde verticale", *Nemeton*, n.1, aprile 2009, pp.85-103
2. ANDREINI, LAURA, "Intervista a Patrick Blanc", *Area*, n.89, novembre/dicembre 2006, pp.170-173
3. BELLINI, OSCAR EUGENIO, DAGLIO, LAURA, *Verde Verticale – Aspetti figurativi, ragioni funzionali e soluzioni tecniche nella realizzazione di living walls e green façades*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli Editore, 2009, pp.343
4. BIT, EDOARDO, "Dal giardino verticale all'orto in facciata – Studio di sistemi innovativi per l'integrazione fra chiusure edilizie e vegetazione naturale", p.47, in *BIOEDILIZIA ITALIA 2009 – Congresso Nazionale sull'Edilizia Sostenibile – Terza edizione*, Torino, Ed. Environment Park, 2009
5. BIT, EDOARDO, GIACOMELLO, ELENA, "L'integrazione fra sistemi di involucro e componenti vegetali per la mitigazione ambientale nel clima Mediterraneo", pp.6, in GERMANÀ, MARIA LUISA (a cura di), *Permanenze e Innovazioni nell'architettura del Mediterraneo – Materiali del VI Seminario OSDOTTA*, 2011 (in corso di pubblicazione)
6. BLANC, PATRICK, *Le mur vegetal – De la nature a la ville*, Neully sur Seine, Editions Michel Lafone, 2008, pp.191
7. BOERI STUDIO, "Bosco verticale", pp.72-79, in AA.VV., *P&P – Progetti e paesaggi*, BolognaFiere 2008, Mondadori, Milano, 2008
8. CHICCO, GIANFRANCO, "Le mille luci della lattuga di Tokyo", *Wired*, n.2, aprile 2009, pp.33-36
9. CORRADO, MAURIZIO (a cura di), *High Green Tech Symposium 2009*, Atti dell'omonimo convegno tenutosi in data 11/09/2009 a Bologna, Bologna, Sistemi Editoriali, 2010, pp.127
10. CORRADO, MAURIZIO (a cura di), *Il Verde Verticale*, Bologna, Sistemi Editoriali, 2010, pp.224
11. COZZI, VALERIO, "Le alternative al verde rampicante. Pareti vegetate", pp.141-168, in BELLOMO, ANTONELLA, *Pareti verdi – Nuove tecniche*, II edizione, Napoli, Sistemi Editoriali, 2009
12. CUTRONI, FABIO, "Vector Architects – CR Land Guanganmen Green Technology Showroom", *Materia*, n.63, settembre 2009, pp.88-95
13. DUNNETT, NIGEL, KINGSBURY, NOEL, "Living Walls, Structures, and Surfaces", pp.239-259, in *Planting Green Roofs and Living Walls*, London, Timber Press, 2008
14. GRHC – GREEN ROOFS FOR HEALTHY CITIES, *Introduction to Green Walls – Technology, Benefits & Design*, pubblicazione on-line disponibile all'indirizzo <http://www.greenroofs.org>, 2008, pp.38
15. HERZOG, THOMAS, KRIPPNER, ROLAND, LANG, WERNER, *Atlante delle facciate*, Torino, UTET Professionale S.r.l., 2005, pp.320
16. KALTENBACH, FRANK, "Living Walls, Vertical Gardens – From the Flower Pot to the planted System Façade", *Detail*, n.12, 2008, pp.1454-1466

17. LAMBERTINI, ANNA, *Giardini in verticale*, Firenze, Verbavolant, 2007, pp.240
18. LONGHI, GIUSEPPE, "Vegetazione – Aumentare l'autosostenibilità dell'edificio", pp.101-103, in *Linee guida per una progettazione sostenibile*, Roma, Officina edizioni, 2003
19. MALORGIO, FERNANDO, INCROCCI, LUCA, DIMAURO, BIAGIO, PARDOSSI, ALBERTO (a cura di), *La tecnica della coltivazione fuori suolo*, Progetto interregionale "Orticoltura" 2001-2004, Sottoprogetto "Colture protette", pp.142
20. MASOTTI, SIMONE, "Soluzioni verdi", *Arketipo*, n.21, marzo 2008, pp.112-113
21. MUSACCHIO, ANTONIO, "Il verde come elemento di chiusura", pp.176-193, in TATANO, VALERIA (a cura di), *VERDE: naturalizzare in verticale*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli Editore, 2008
22. MUSACCHIO, ANTONIO, TATANO, VALERIA, "Superfici naturalizzate", pp.105-112, in BARUCCO, MARIAANTONIA, TRABUCCO, DARIO, (a cura di), *ARCHITETTURA_ENERGIA – Un'indagine sul complesso rapporto tra la professione dell'architetto e la questione energetica*, Monfalcone, EdicomEdizioni, 2007
23. PAGANIN, GIANCARLO (ed. ital. a cura di), *Guida alle tecniche di costruzione – Volume II: Strutture e involucro*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2006, pp.330
24. POLI, TIZIANA, "Pelle verde", *Modulo*, n.319, marzo 2006, pp.164-172
25. POLI, TIZIANA, "Sottosistema in evoluzione", *Arketipo*, n.21, marzo 2008, pp.110-111
26. REDAZIONALE di *Cityproject*, "Verde Verticale", *Cityproject*, n.1, gennaio 2010
27. REDAZIONALE di *Focus*, "Il giardino verticale", *Focus*, n.179, settembre 2007, pp.72-73
28. ROMEO, MONICA, VALERIO, LUCIA, "Giardini verticali", *Ville Giardini*, n.6, anno 2004, pp.146-151
29. SACCHETTI, ANTONIO, "I nuovi grattacieli? Saranno verdi e con struttura a spirale" *Cityproject*, n.2, marzo 2010
30. SATTA, ELISA, INDERST, CHRISTIAN, "La sfida del verde verticale", *Nemeton*, n. di anteprima, ottobre 2008, pp.16-17
31. SHARP, RANDY, "Green walls in Vancouver", p.7, in *Atti del Fifth Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference*, Minneapolis, 29 aprile-01maggio 2007
32. STRANO, CARMELO, "Patrick Blanc è un'artista? - Vegetal Walls", *L'Arca*, n.223, marzo 2007, pp.76-79
33. UNI 11235:2007, *Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione, il controllo e la manutenzione di coperture a verde*
34. UNI 8290-1:1981, *Edilizia residenziale – Sistema Tecnologico – Classificazione e terminologia*.
35. UNI 8369-1:1988, *Edilizia – Chiusure verticali – Classificazione e terminologia*
36. ZANNONI, GIOVANNI, "I limiti della composizione architettonica tra possibilità tecnologiche e aspetti di sostenibilità", pp.105-119, in GASPARI, JACOPO (a cura di), *Sfide per una dimensione sostenibile del costruire – Contributi sull'uso dell'energia in architettura*, Monfalcone (GO), Edicom Edizioni, 2009

V.7.2. Sitografia tematica⁹⁵

- <http://www.lushe.com.au>
Sito dedicato alla tecnologia costruttiva di chiusure verticali vegetate e muri vegetali.

- <http://www.greenroofs.com.au>
Associazione nordamericana *Green Roofs for Healthy Cities*.

- <http://www.insideurbangreen.org>
Spazio virtuale inerente alle varie forme d'ibridazione tra vegetazione e architettura urbana.

- <http://www.genitronsviluppo.com>
Web-magazine dedicato allo sviluppo sostenibile, alla bio-architettura e all'eco-design.

- <http://www.urbanarbolismo.es>
Urbanarbolismo è un'«impresa (spagnola, NdA) che opera ai fini dell'integrazione fra architettura e natura». Tale azienda si occupa sia di progettazione edilizia che di realizzare e brevettare sistemi tecnologici ospitanti vegetazione naturale; il sito contiene anche un *blog* interessante, sempre aggiornato in merito a sistemi e progetti provenienti da ogni parte del mondo.

- <http://www.verticalgardenpatrickblanc.com>
Sito ufficiale di Patrick Blanc, ricercatore e botanico francese, inventore della tecnologia per il *Mur Vegetal*.

- <http://www.verdecrea.com>
Sito web della ditta Verdecrea, partner italiano di Patrick Blanc e detentore per l'Italia dei diritti di commercializzazione del brevetto *Mur Vegetal*.

- <http://www.greenwall.fr>
Portale della ditta francese Greenwall s.a.s., produttrice del brevetto *Végétalis*.

- <http://www.reviplant.it>
Sito della ditta italiana Reviplant, produttrice di tecnologie per pareti e tetti verdi.

- <http://www.greenwall.com.au>
Sito di Greenwall Company, azienda australiana che produce e commercializza una grande varietà di superfici verticali naturalizzate.

- <http://www.g-sky.com>
Portale della ditta americana G-Sky, produttrice di giardini, tetti e pareti a verde.

- <http://www.poliflor.net>
Poliflor, azienda italiana che produce tre diversi sistemi per verde verticale.

⁹⁵ Ultima visita ai siti web di seguito citati: giovedì 20 gennaio 2011.

- <http://www.giardininverticale.com>

Sito web dedicato al brevetto *GiardinInVerticale*, prodotta dall'azienda italiana Verde Profilo.

- <http://www.agreenroof.com>

Portale dell'americana Green Living Technologies, produttrice di tetti verdi e sistemi per verde verticale.

- <http://www.elteasygreen.com>

Sezione della ditta statunitense Elevated Landscape Technologies, dedicata ai sistemi per pareti o tetti verdi da loro prodotti, denominati *ELT Easy Green*.

- <http://www.elmich.com/elmich/vgm/about.php>

Pagina web dedicata al brevetto *VGM Vertical Greening Module*, prodotto dalla collaborazione tra le ditte Elmich e Tournesol.

- <http://www.naturewall.eu>

Sito dedicato al sistema per l'inverdimento parietale *Naturewall*.

- <http://www.daku.it>

Daku, ditta che produce il sistema brevettato *Vertical* per facciate verdi, e diverse tipologie di sistemi per coperture a verde.

- <http://www.fytogreen.com.au>

Azienda australiana Fytogreen che detiene il brevetto *Fytowall* per la realizzazione di pareti verdi.

- <http://www.geomoss.com>

Geomoss, ditta francese produttrice dell'omonimo brevetto per l'inverdimento di pareti edilizie verticali.

- <http://www.sempergreenvertical.com>

Ditta olandese Sempergreen, che detiene l'omonimo brevetto per la creazione di chiusure verticali inverdite.

- <http://www.tecology.it>

Sito di Tecology, ditta italiana che produce il sistema *6.sesto punto* per la realizzazione di pareti ventilate piantumate a prato.

- <http://www.optimagiardinipensili.it>

Sito web dell'azienda italiana Optima, che commercializza due diversi sistemi per la realizzazione di pareti verdi, sia da esterno che indoor.

- <http://www.antologia.com>

Azienda Antologia di Burago Molgora (MB), produttrice del sistema *Giardini verticali – Sfagno*.

- <http://www.malegori.com>

Malegori di Monza (MB): ditta che produce il sistema denominato *Il Muro Verde*.

- <http://www.sundaritalia.com>

Sundar, azienda che commercializza l'omonimo sistema per l'inverdimento parietale sia da esterni che indoor.

- <http://www.ustatic.com.ar>

Sito dell'azienda argentina Ustatic, produttrice del sistema *Grasswall* per la realizzazione di pareti verdi idroponiche.

- <http://www.greenovergrey.com>

Sito della ditta Green Over Grey, che produce l'omonimo sistema per la realizzazione di pareti verdi continue.

- <http://www.ceracasa.com>

Ceracasa, produttrice del sistema modulare per l'inverdimento parietale denominato *LIFEWALL*.

- <http://www.tecverde.it>

Sito dedicato al sistema *Tecverde* per la realizzazione di pareti vegetate impiegabili sia esternamente che all'interno.

- <http://www.terrascreen.com>

Sistema modulare e industrializzato per interni *TerraScreen*.

- <http://www.parlamento.it>

Sito ufficiale del Parlamento Italiano. Oltre ai resoconti della attività parlamentari, vi si possono reperire i testi delle leggi nazionali.



VI. Vantaggi microclimatici derivanti dall'impiego della vegetazione in architettura

«To exist as a nation, to prosper as a State,
and to live as a people, we must have trees»
Theodore Roosevelt, 1907

L'importanza dell'integrazione fra vegetazione e involucro architettonico non è da identificarsi, come talune volte erroneamente si crede, con le sole ricadute formali rese possibili dall'unione di tali elementi, ma acquista interesse scientifico soprattutto se rapportata ai benefici di varia natura conseguenti ad un mirato impiego delle piante nel progetto. Molteplici potenzialità e prestazioni che ne definiscono, di conseguenza, notevole importanza dal punto di vista edilizio, urbanistico e climatico. Proprio le gravose contingenze atmosferiche contemporanee, fra l'altro in via di costante peggioramento, giustificano e rafforzano un interesse di ricerca in questo senso. Inoltre, questione altrettanto interessante è quella che i sistemi vegetali possono vantare, in forze delle proprie caratteristiche fisiologiche e strutturali, alcune peculiarità positive e benefici climatologici che altri elementi o materiali edilizi non possono assicurare.

La suddivisione interna al capitolo tra *Benefici climatici* e *Benefici non prettamente climatici* intende gerarchizzare le differenti classi esigenziali afferenti l'impiego della vegetazione nel progetto, per quanto riguarda sia la scala edilizia che quella urbanistica. Requisiti prestazionali che identificano oggi giorno l'energetica come la problematica di maggiore rilevanza all'interno del settore disciplinare della Tecnologia dell'Architettura alla scala globale, ma che proprio per tale motivo non possono prescindere da altre prestazioni, quali il comfort termo-igrometrico o quello acustico.

Il metodo operativo adottato in questa sezione della Tesi si basa sul passaggio in rassegna delle più importanti ricerche riscontrabili in letteratura negli ultimi trent'anni, concluse o ancora in via di definizione, che si propongano di valutare o descrivere i benefici derivanti dall'inserimento della vegetazione negli spazi totalmente o parzialmente confinati di edifici o città, perciò direttamente interessanti gli argomenti del presente studio. La volontà è quella di mettere a sistema una grande casistica di studi che offrano dati scientifici tangibili ed inequivocabili, al fine di rafforzare la consapevolezza che lo sfruttamento strategico delle piante all'interno del processo progettuale possa portare a delle prestazioni tutt'altro che trascurabili. Non essendo però molto vasto il campo di argomenti legato all'utilizzo della vegetazione in campo architettonico, e solo recentemente riscoperto nei confronti della possibile quantificazione delle relative conseguenze prestazionali, ci si concentrerà, in questa sede, su tutte le ricerche che considerino le tematiche legate alla vegetazione in senso generale, siano esse rivolte al verde parietale, ai giardini pensili, all'inserimento di volumi o spazi vegetali alla scala urbana.

¹ L'immagine della pagina precedente riporta un esempio di pergola realizzata con tecniche contemporanee. L'inverdimento è in questo caso finalizzato al controllo bioclimatico tramite l'ombreggiamento del percorso pedonale.

VI.1. *Global warming, fenomeno dell'isola di calore e derivanti ripercussioni a livello di comfort urbano*

L'interesse globalmente rilevabile in merito alle problematiche ambientali e la conseguente movimentazione culturale ed operativa verso le tematiche dello sviluppo sostenibile, hanno portato all'attenzione sia della comunità scientifica, che dell'opinione pubblica, le gravose contingenze climatiche contemporanee. Nonostante la massa di ricerche e azioni trasversali a tutti i settori della conoscenza e della produzione, nel tentativo di delimitare la deriva ambientale registrabile dall'ecosistema, le condizioni atmosferiche del pianeta sono in continuo peggioramento. Tale fenomeno degradativo è dimostrato dall'innalzamento della temperatura media mondiale, che porta a conseguenze quali lo scioglimento dei ghiacciai, lo sconvolgimento delle stagionalità, delle consuetudini meteorologiche, il progressivo inaridimento dei terreni, ecc.²

Se alla scala mondiale si possono registrare dei macro-sconvolgimenti ai quali, almeno per ora, non si è riusciti a fornire soddisfacente soluzione, alla piccola scala il problema non è differente. Uno dei fenomeni che attualmente investe tutti gli agglomerati urbani, in modo proporzionale alla loro estensione, è quello cosiddetto dell'*isola di calore*³ (Fig.VI.1).

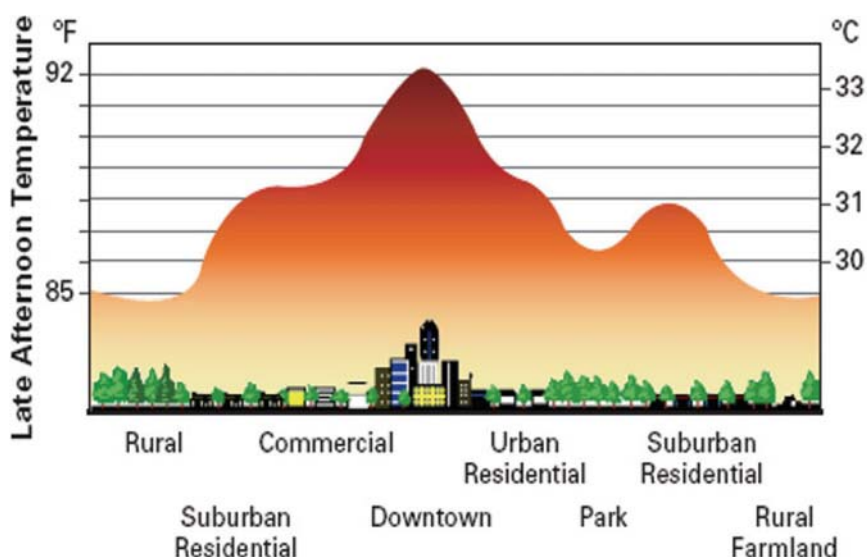


Fig.VI.1 – Schema che illustra il fenomeno dell'isola di calore. Si noti come nel passaggio dalle zone maggiormente edificate del centro città, verso le aree periurbane, si possa registrare un progressivo abbassamento delle temperature medie dell'aria. Il fenomeno dell'isola di calore è imputabile alle densità edilizia mediante una legge di proporzionalità diretta. (Fonte: <http://www.nationstrustltd.com>)

L'isola di calore consiste in «un'area metropolitana nella quale si registrano valori di temperatura significativamente più elevati rispetto alle aree circostanti, rurali e periferiche: maggiore è la dimensione dell'isola di calore, maggiore è l'innalzamento della temperatura media rispetto

² Cfr. IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, *Climate change 2007: Synthesis Report*, in bibl.

³ Le caratteristiche dell'effetto isola di calore urbana – *Urban Heat Island* (UHI) nella dicitura anglosassone – sono già stati trattati nel quarto capitolo, e precisamente nel paragrafo IV.3.1. In quella sede sono state descritte, nello specifico, le ripercussioni dell'UHI nei confronti dei sistemi vegetali.

all'ambiente circostante»⁴. Se è comunque intuitivo che l'isola di calore «abbia un impatto positivo durante l'inverno, mitigando le temperature rigide»⁵, è altrettanto rilevabile come tale apporto risulti «negativo in estate, rendendo ancora più torridi i valori termici estivi»⁶, soprattutto nei paesi a clima mediterraneo come l'Italia. Tale manifestazione microclimatica dipende dalla densità edilizia, dalle prassi insediative contemporanee e dalle caratteristiche dei materiali edilizi, e conduce ad alcune conseguenze deleterie per gli abitanti, come l'innalzamento delle temperature medie dell'aria e radianti, l'aumento degli inquinanti (gas e polveri sottili) riscontrabili in atmosfera, la riduzione del comfort urbano, producendo, di conseguenza, un aumento nel consumo delle risorse impiegate per fronteggiare surriscaldamenti locali.

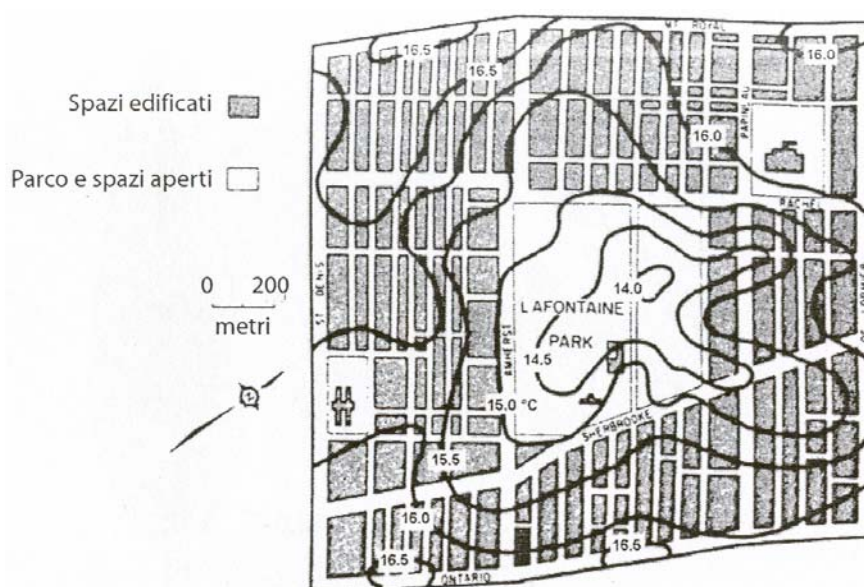


Fig.VI.2 – Negli agglomerati urbani le aree verdi presentano delle temperature minori rispetto a quelle edificate, creando delle vere e proprie “isole di fresco”. Come per l’isola di calore, anche l’entità dell’isola di fresco è proporzionale alla sua estensione. (Fonte: MARSH, W.M., *Landscape planning Environmental applications*, New York, T.Wiley & Sons Inc, 1991. Immagine desunta da: SCUDO, GIANNI, OCHOA DE LA TORRE, JOSÉ MANUEL, *Spazi verdi urbani – La vegetazione come strumento di progetto per il comfort ambientale negli spazi abitati*, in bibl., p.7)

Uno dei fattori rapportabili all'aumento della densità edilizia è quello della mancanza di spazi verdi. Infatti, come illustrato specificamente e per paragrafi all'interno di questo capitolo, le superfici vegetali, mediante una serie di proprietà fisiologiche e morfologiche intrinseche, garantiscono temperature superficiali e radianti più basse degli elementi minerali, partecipano all'abbattimento degli inquinanti presenti nell'aria, fungono da ottimale elemento schermante della radiazione solare e concorrono all'isolamento termico degli edifici contribuendo al miglioramento dell'efficienza energetica.

L'inserimento di superfici e masse verdi nel tessuto urbano contribuirebbe a delimitare le suddette criticità microclimatiche che si rivelano problematiche sia per il clima cittadino che per la salute degli abitanti, formando delle zone a temperatura media più bassa, indicabili con l'appellativo di

⁴ FRONTERO, PAOLO, “Le isole di calore urbane”, in bibl., p.259

⁵ FRONTERO, PAOLO, ibidem.

⁶ FRONTERO, PAOLO, ibidem.

“isole di fresco” (Fig.VI.2). Pertanto, si ritiene che l'integrazione di superfici edilizie e urbane tramite elementi vegetali possa contribuire ad aumentare la qualità ambientale ed il comfort, sia per quanto riguarda gli spazi cittadini aperti che per quelli edilizi confinati.

Come dimostrato in più parti⁷, le chiusure superiori *a verde* forniscono un considerevole contributo alla mitigazione climatica ambientale, mediante una serie di potenzialità che vanno dalla ritenzione idrica al condizionamento microclimatico dovuto alle attività fisiologiche ed evapotraspirative⁸ delle piante. Per lo stesso motivo, e traslando il ragionamento, anche le chiusure verticali vegetate potrebbero contribuire alla qualità ambientale (anche se con proporzionalità e qualità specifiche diverse dalle coperture a verde), potendo per di più godere di una superficie complessiva maggiore rispetto a quella di tetti orizzontali o inclinati. Infatti, come dimostrato in Fig.VI.3, all'interno di un qualsiasi agglomerato urbano, all'aumentare della densità edilizia aumenta anche la preponderanza delle superfici verticali rispetto a quelle orizzontali.

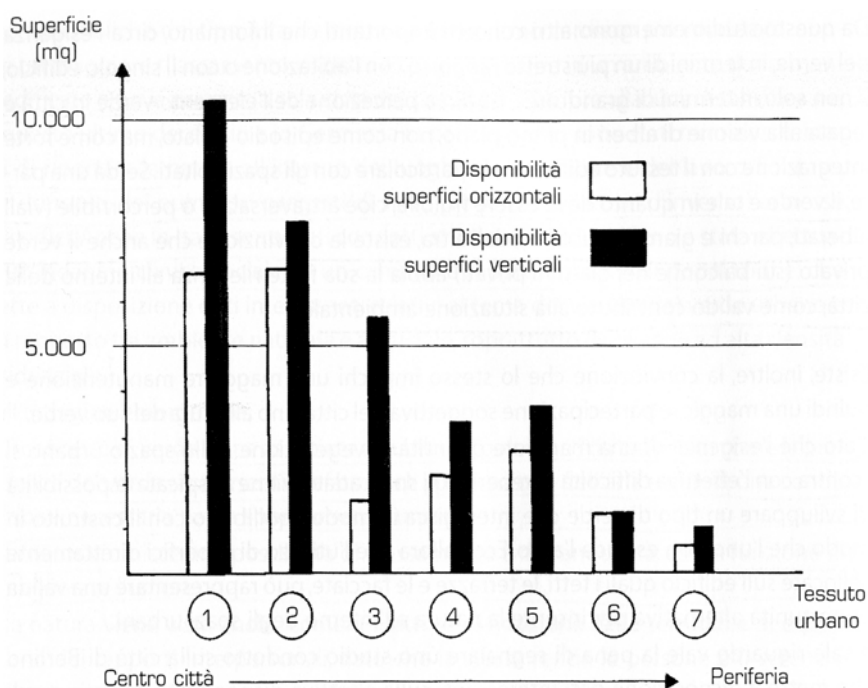


Fig.VI.3 – Confronto fra la presenza di superfici verticali ed orizzontali all'interno di un ettaro di superficie per una città campione. L'area di porte e finestre (stimata come 1/3 delle superfici totali verticali) è stata esclusa dal computo totale. Legenda: 1. Tessuto cittadino con blocchi a corte – 2. Tessuto cittadino senza blocchi a corte – 3. Edilizia residenziale anni Settanta – 4. Edilizia residenziale anni Cinquanta – 5. Edilizia residenziale anni Trenta – 6. Edifici residenziali isolati – 7. Edilizia unifamiliari con giardino. (Fonte: BELLOMO, ANTONELLA, *Pareti verdi – Linee guida alla progettazione*, in bibl., p.8)

Sarebbe perciò auspicabile, come peraltro in alcuni paesi esteri già accade, che l'utilizzo di queste particolari tecnologie fosse agevolato⁹, in quanto la «riduzione sensibile delle temperature

⁷ ABRAM, PAOLO, Giardini pensili – Coperture a verde e gestione delle acque meteoriche, in bibl.; DUNNETT, NIGEL, KINGSBURY, NOEL, *Planting Green Roofs and Living Walls*, in bibl.

⁸ Si rimanda al paragrafo VI.2.1, per l'approfondimento di cosa sia l'evapotraspirazione vegetale.

⁹ I paesi Scandinavi e quelli di lingua tedesca sono stati i precursori nel premiare e promuovere, mediante specifiche normative, le chiusure edilizie inverdite, soprattutto per quel che concerne le coperture. Città come

superficiali diurne e notturne delle pareti, grazie alla presenza del verde parietale, contribuisce senz'altro a ridurre la temperatura [...] ambientale dello spazio circostante e a migliorare, quindi, anche le condizioni di comfort termico nello spazi termico adiacente l'edificio. Una tale condizione, se sufficientemente estesa alla scala urbana, può contribuire a controllare il fenomeno delle "isole di calore".»¹⁰

VI.2. Benefici climatici derivanti dalla vegetazione

Come precedentemente enunciato, i sistemi vegetali possono fornire un apporto benefico volto al sensibile miglioramento delle condizioni ambientali urbane, sia per gli spazi edilizi confinati che per quelli aperti delle città. Apporto positivo che crescerà in modo proporzionale alla quantità di vegetazione presente, e che permette di considerare le piante come un elemento di mitigazione microclimatica a funzionamento passivo¹¹ e ad impatto ambientale pressoché nullo¹². Ecco allora che, mediante una serie di fenomeni fisiologici naturali si potranno evidenziare, alla scala edilizia o urbana, una serie di qualità benefiche per clima e microclima.

Questa sezione del capitolo prenderà in considerazione tutte quelle caratteristiche delle piante che hanno un'azione diretta sulla gestione energetica di un manufatto architettonico, con lo scopo di evidenziare come esse, mediante la propria azione vegetativa o la semplice presenza in parete, possano contribuire al miglioramento dell'efficienza energetica e ambientale. Da notare, inoltre, che solo gli organismi biologici possono contribuire mediante la loro normale azione fisiologica al condizionamento microclimatico ambientale, e che quindi le chiusure edilizie a verde sono le uniche a presentare un'azione attiva ma a comportamento passivo.

Considerando l'edificio o la città come un campo applicativo della vegetazione, volto ad un miglioramento delle contestuali condizioni ambientali, è possibile di volta in volta declinare questi vantaggi come benefici «privati [...] o pubblici»¹³, a seconda che interessino il singolo edificio o che agiscano sul suo intorno immediato, influenzando il clima degli spazi aperti.

Anche la scala di applicazione diviene perciò una discriminante importante, fornendo la possibilità dell'individuazione di alcune classi di beneficio (corrispettive ad altrettante particolari modalità applicative della vegetazione) che già alla piccola scala apportano un vantaggio

Stoccarda, Colonia o Berlino furono tra le prime al mondo nell'inserire all'interno dei loro Regolamenti Edilizi norme che premiassero, o in alcuni casi addirittura prescrivessero, l'utilizzo di tali tipologie tecnologiche. (Cfr. GAUZIN-MÜLLER, DOMINIQUE, *L'architecture écologique*, in bibl.). Ultimamente, in seguito alla grande proliferazione delle pareti a verde, e parallelamente allo sviluppo di contestuali ricerche scientifiche che ne hanno evidenziato le potenzialità climatologiche ed ecologiche, tali metodologie normative vengono utilizzate anche per il verde parietale. Si vedano in merito, a titolo di esempio, il regolamento edilizio di Firenze del 2008 o la procedura R.I.E. (Riduzione Impatto Edilizio) del comune di Bolzano: cfr. Il.9

¹⁰ BELLOMO, ANTONELLA, Pareti verdi – Linee guida alla progettazione, in bibl., p.13

¹¹ Si definisce "funzionamento passivo" di un sistema tecnologico, una qualsiasi attività che non richieda stimoli energetici artificiali per entrare in azione.

¹² L'impatto ambientale, seppur bassissimo, non può considerarsi totalmente nullo, in quanto gli elementi vegetali richiedono acqua per poter svolgere le normali attività fisiologiche, una manutenzione costante per limitarne un eccessivo o non voluto accrescimento e, qualora necessario, nutrienti per il controbilanciamento di eventuali sviluppi vegetativi scorretti.

¹³ DUNNETT, NIGEL, KINGSBURY, NOEL, *Planting Green Roofs and Living Walls*, in bibl., p.42

considerevole¹⁴, mentre altre, diversamente, per poter fornire un beneficio apprezzabile dovranno essere utilizzate tramite dimensioni maggiori¹⁵.

Alcune classi di benefici microclimatici conseguenti all'impiego della vegetazione, essendo direttamente collegabili alla gestione energetica di manufatti edilizi o spazi aperti sarebbero quindi – qualora lo si ritenesse necessario – facilmente monetizzabili, mirando a quantificare il loro contributo al risparmio energetico mediante paragoni con altre tecnologie che garantiscono le medesime prestazioni. Altri tipi di prestazioni microclimatiche, sempre legate all'utilizzo della vegetazione in ambito edilizio ma di difficile quantificazione economica, saranno passati in rassegna nella seconda parte del capitolo, all'interno del paragrafo intitolato *Benefici non prettamente climatici*.

Volendo ampliare la chiave di lettura inerente le modalità di azione ed utilizzo della vegetazione in ambito architettonico, si potrebbe anche pervenire ad un'ulteriore classificazione, declinando tali benefici come «economici, ambientali o estetici»¹⁶ a seconda che possano essere quantificati economicamente o meno. Vantaggi economici sarebbero rappresentati dalle succitate prestazioni energetiche, che per la loro specifica condizione possono essere raffrontate con altre tipologie d'intervento ricavandone un bilancio monetario; verrebbero invece di volta in volta identificati come ambientali o estetici quei benefici a cui sarebbe difficoltoso – se non impossibile – pervenire ad una determinazione economica, ma che sono stati comunque oggetto di specifiche ricerche scientifiche che ne hanno palesato qualità positive o proficue.

VI.2.1. Evapotraspirazione, fotosintesi e respirazione dei sistemi vegetali

L'*evapotraspirazione* è un fenomeno metabolico naturale della vegetazione, e consiste nell'emissione di vapore acqueo in atmosfera conseguentemente all'utilizzo della radiazione solare a fini energetici. Le piante impiegano l'acqua presente nel substrato sul quale insistono e quella riscontrabile all'interno dei propri tessuti vegetali, facendole compiere un passaggio di stato da liquido a gassoso: fisicamente l'evapotraspirazione è quindi esprimibile come la misura totale della quantità d'acqua allo stato gassoso che passa da substrato (*evaporazione*) e piante (*traspirazione*) all'atmosfera. Tale variazione di stato comporta un assorbimento energetico che ha come risultato l'abbassamento della temperatura dell'aria (Tab.VI.4 e Tab.VI.5).

In modo proporzionale all'ampiezza della superficie fogliare esposta – visto che l'evapotraspirazione avviene all'interfaccia tra le foglie e l'aria – le specie vegetali riescono a sottrarre energia (e quindi calore) all'atmosfera, immettendovi una proporzionale quantità di vapor acqueo. Il fenomeno evapotraspirativo è perciò utile al condizionamento microclimatico degli spazi durante il periodo estivo e nei climi secchi, in quanto maggiore umidità dell'aria e minor quantità energetica in atmosfera contribuiscono al comfort climatico, soprattutto nei tessuti urbani scarsamente permeabili alla ventilazione naturale. Tale azione permette inoltre alle propaggini vegetali interessate di

¹⁴ Si vedrà in seguito come grazie all'applicazione di un tetto o di una parete verde, e conseguentemente alla loro influenza diretta sulla trasmittanza degli involucri architettonici, si possa ottenere un risparmio energetico.

¹⁵ Come descritto nel prosieguo del capitolo, alcune tipologie applicative per ottenere un beneficio apprezzabile dovranno essere applicate su larga scala. È questo il caso delle coperture a verde per la regimazione idrica delle precipitazioni atmosferiche, dell'impiego delle specie vegetali per il miglioramento della qualità dell'aria, per la conservazione della biodiversità, ecc.

¹⁶ DUNNETT, NIGEL, KINGSBURY, NOEL, ibidem.

mantenersi su temperature prossime a quelle dell'aria e, quindi, molto più basse di quelle di materiali tradizionali interessati da una eguale quota di radiazione solare incidente.

TIPO DI SUPERFICIE VEGETALE	EVAPORAZIONE	RISCALDAMENTO DELL'ARIA
Foresta di abeti	66.5 %	33.4 %
Foresta di pini	64.8 %	33.8 %
Querceto	70.0 %	30.0 %
Faggeta	83.8 %	14.6 %
Prato	78.8 %	16.2 %
Città (calcolato)	15.0 %	60.0 %

Tab.VI.4 – Percentuale di energia solare incidente utilizzata nell'evapotraspirazione e rilasciata all'aria per diversi tipi di copertura vegetale. (Rielaborazione da: PERON, FABIO, "Vegetazione e ambiente costruito: aspetti termoisometrici", in bibl., p.69)

SPECIE VEGETALE	NOME COMUNE	TRASPIRAZIONE
<i>Populus alba</i>	Pioppo bianco	13-14 g.
<i>Populus nigra</i>	Pioppo nero	9-15 g.
<i>Betula pendula</i>	Betulla pendula	8.1 g.
<i>Quercus robur</i>	Rovere	6.0 g.
<i>Corylus avellana</i>	Nocciolo	4.2 g.
<i>Fagus sylvatica</i>	Faggio	3.9 g.

Tab.VI.5 – Traspirazione giornaliera di alberi e arbusti, in grammi di acqua per grammi di foglia verde. (Rielaborazione da: SCUDO, GIANNI, OCHOA DE LA TORRE, JOSÉ MANUEL, *Spazi verdi urbani – La vegetazione come strumento di progetto per il comfort ambientale negli spazi abitati*, in bibl., p.33)

Ne consegue che più alta è la quantità d'acqua presente tra substrato e tessuti vegetali maggiore sarà l'attività evapotraspirativa, con un conseguente beneficio per il condizionamento microclimatico passivo. Da notare, comunque, che le piante sono un utile strumento di mitigazione ambientale soprattutto in climi scarsamente piovosi, in quanto «studi sperimentali sul campo condotti negli USA dimostrano come [...] in climi aridi, dove la disponibilità d'acqua è scarsa, si possa ridurre la temperatura dell'aria con la piantumazione di alberi e cespugli a basso utilizzo di acqua.»¹⁷. Climi caldi e aridi che, nel caso italiano, caratterizzano soprattutto le regioni meridionali.

La *fotosintesi clorofilliana* è il processo biochimico tramite il quale gli organismi vegetali producono glucosio a partire da acqua e anidride carbonica (CO₂), utilizzando la luce solare come fonte energetica. L'attività fotosintetica consente di trasformare l'energia solare in energia chimica ed è utilizzata dagli organismi che contengono clorofilla (come appunto le piante) per produrre glucosio (cioè nutrimento), sfruttando l'acqua contenuta nel terreno e l'anidride carbonica presente in atmosfera. Tale fenomeno riesce ad intercettare buona parte della radiazione solare incidente, sia alle

¹⁷ SCUDO, GIANNI, OCHOA DE LA TORRE, JOSÉ MANUEL, *Spazi verdi urbani – La vegetazione come strumento di progetto per il comfort ambientale negli spazi abitati*, in bibl., p.33

corte lunghezze d'onda che a quelle lunghe, senza aumentare la propria temperatura. Ciò significa che, anche in questo caso come nel precedente, a maggior estensione di superficie fogliare corrisponde una più alta mitigazione climatica. Alcune ricerche hanno dimostrato come durante i periodi caldi il differenziale di temperatura fra superfici vegetali e minerali possa discordare anche di molti gradi centigradi¹⁸.

La *respirazione* è un processo metabolico dei sistemi vegetali che consente loro di sfruttare l'anidride carbonica fissandola all'interno dei propri tessuti vegetali, e liberando conseguentemente ossigeno. Le piante contribuiscono così a depurare l'aria dal più pericoloso gas climalterante che attualmente minaccia l'ecosistema – ossia l'anidride carbonica –, imprigionandolo all'interno dei propri tessuti per molto tempo (cioè fino al momento della loro morte quando, mediante il processo di combustione o durante il decorso di naturale decomposizione, rilasciano in atmosfera tutta la CO2 accumulata nel corso della loro vita); esse si configurano, quindi, come un “serbatoio” di carbonio nel lungo periodo.

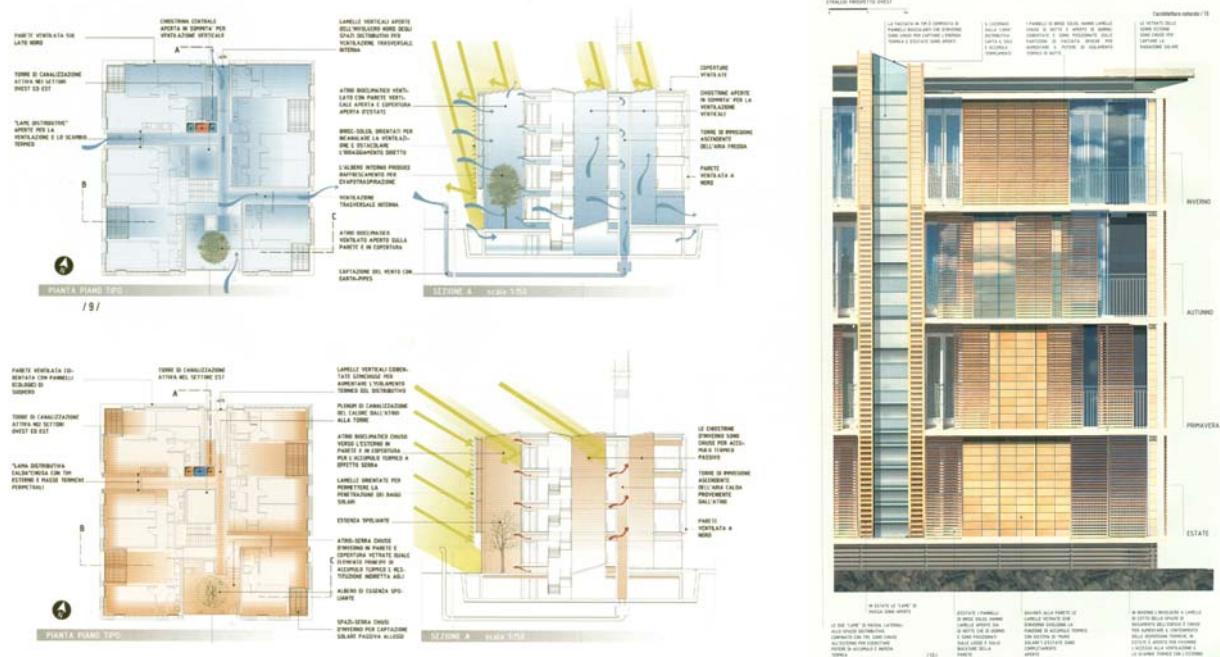


Fig.VI.6 – Il progetto vincitore del concorso per il Piano di Zona “Lunghezzina 2” di Roma, firmato dal gruppo composto dagli architetti Thomas Herzog (capogruppo), Fabrizio Tucci e Marco Strickner. Una delle strategie bioclimatiche perseguite in fase progettuale è stata quella di prevedere degli elementi vegetali arborei a foglia caduca all’interno degli spazi comuni degli edifici residenziali, per sfruttare le capacità di condizionamento microclimatico estivo apportate dalla vegetazione. (Fonte: *L’architettura naturale*, n.27, pp.14-15)

I tre citati fenomeni¹⁹ naturali imputabili alle piante risultano utili per la climatizzazione passiva di spazi ed edifici, soprattutto per quel che riguarda la gestione ambientale durante i periodi caldi o nei climi a carattere mediterraneo. Si tenga debitamente conto del fatto che, comunque, quello che durante l'estate si configura come un vantaggio conseguente all'abbassamento della temperatura ed

¹⁸ A tal proposito si veda il paragrafo VI.2.5.1

¹⁹ Ossia evapotraspirazione, fotosintesi e respirazione.

all'aumento dell'umidità atmosferica, potrebbe invece rivelarsi un problema durante le stagioni fredde, quando l'aumento dell'umidità e l'abbassamento della temperatura diventano fenomeni svantaggiosi. E non si dimentichi, per contro, che proprio durante l'inverno tutte le specie vegetali riducono fortemente la propria dinamica vegetativa, quindi le attività di respirazione, evapotraspirazione e fotosintesi sono ridotte al minimo, sia per le specie sempreverdi che per quelle decidue. Ne consegue che l'impiego della vegetazione a scopi di mitigazione ambientale e bioclimatica andrà perciò debitamente valutato caso per caso, ed attentamente ponderato alla luce di dati e parametri ambientali del contesto di progetto.

VI.2.2. La tecnologia ibrida della “pelle verde” e il fototropismo naturale delle piante

Il fototropismo è un fenomeno biologico delle specie vegetali²⁰, che consente loro di orientare le proprie propaggini fogliari in direzione delle sorgenti luminose (Fig.VI.7). Questo permette alle piante di accedere alla maggior porzione possibile di luce solare – qualora questa sia presente, altrimenti bisognerebbe provvedervi mediante specifica illuminazione artificiale, pena la morte della pianta –, in modo da accumulare e sfruttare il più alto quantitativo energetico possibile per svolgere le proprie attività di fotosintesi. Perciò, grazie all'attività fototropica le foglie si muovono costantemente alla ricerca della luce solare, disponendosi in direzione perpendicolare alla fonte luminosa per intercettare la maggior quantità di radiazione presente.

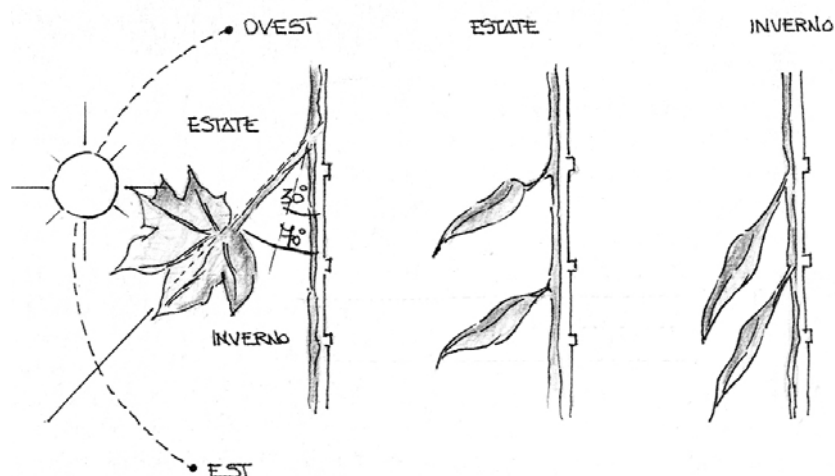


Fig.VI.7 – Schema del funzionamento fototropico nelle configurazioni stagionali di estate e inverno. (Fonte: MASOTTI, SIMONE, “Soluzioni verdi”, in bibl., p.112)

Tale caratteristica fisiologica dei vegetali, in seguito ad una mirata attività progettuale, potrebbe essere sfruttata per utilizzare le piante come schermatura solare, concependo le chiusure edilizie

²⁰ Ai fini della presente ricerca vengono presi in considerazione gli effetti del fototropismo che interessano gli organismi vegetali. Si precisa comunque che quasi tutti gli esseri viventi presentano delle caratteristiche più o meno marcate di fototropismo, compreso l'essere umano.

come una vera e propria «tecnologia ibrida»²¹, realizzata da elementi naturali integrati a manufatti artificiali, e volta al miglioramento dell'efficienza energetica e del comfort. Sistemi ibridi che andrebbero, perciò, di volta in volta appositamente studiati e progettati in rapporto al contesto edilizio, al clima e alle stagionalità. Infatti, quello che nei periodi caldi dell'anno si presenta come un elemento benefico per la gestione bioclimatica del manufatto architettonico, potrebbe diventare una variabile negativa quando il clima è freddo, impedendo alla radiazione solare diretta (luminosa o infrarossa) di penetrarvi. Ecco allora che si renderà di volta in volta necessario selezionare adeguate specie vegetali – sempreverdi o caducifoglie – in funzione di orientamento, clima ed assetto funzionale-spaziale, per massimizzare le potenzialità delle chiusure inverdite.

Alcune specifiche tipologie vegetali potrebbero quindi essere concepite come delle vere e proprie “tecnologie naturali”, a funzionamento autonomo e a bassissimo impatto ambientale, per la regolazione dei flussi energetici in entrata o in uscita dall'edificio.

VI.2.3. Reazione dei tessuti vegetali alla radiazione solare

I vegetali possono in alcuni casi essere considerati alla stessa stregua di un qualsiasi altro materiale²². I tessuti delle piante, infatti, possono venire valutati come della materia con proprie caratteristiche e proprietà fisico-chimiche, quindi soggetta alle medesime condizioni o considerazioni che regolano la scienza dei materiali edili. Importanti ai fini della presente ricerca sono le modalità in cui le propaggini vegetali rispondono alle sollecitazioni ambientali e, più in particolare, a come esse si comportino rispetto al clima e alla radiazione solare che giunge sulla Terra. È dimostrato come i tessuti vegetali, in funzione delle proprie peculiarità fisiche, dell'albedo delle parti che li compongono e delle caratteristiche fogliari²³ superficiali presentino, nel campo della radiazione infrarossa, minore emissività rispetto al terreno o ai materiali artificiali (Fig.VI.8).

Come precedentemente illustrato, parte della radiazione visibile incidente – corrispondente alle bande del rosso e del blu – viene assorbita e metabolizzata dalle piante per effettuare la fotosintesi; quella corrispondente alla banda dell'infrarosso vicino è invece riflessa per impedire che i raggi non utili all'attività fotosintetica innalzino la temperatura a livelli incompatibili con la vitalità fogliare; mentre quelli appartenenti alla banda dell'infrarosso distante vengono assorbiti e successivamente riemessi²⁴: motivo per cui le superfici vegetali presentano sempre delle temperature superficiali e radianti inferiori a quelle di materiali minerali o artificiali. Minori temperature che, di conseguenza, andranno a gravare in minore percentuale nei confronti della situazione microclimatica ambientale, migliorando la sensazione di comfort percepita dall'essere umano.

²¹ SCUDO, GIANNI, “Introduzione”, in BELLOMO, ANTONELLA, op. cit., pag. X

²² Tale discorso vale nel caso in cui si vadano a considerare esclusivamente le caratteristiche fisiche o tecniche del *materiale* vegetale. Cosa diversa e altamente sconsigliabile sarebbe quella di valutare la pianta, durante l'attività di progettazione architettonica, come un semplice “materiale inanimato”: in tal caso, come descritto all'interno del capitolo IV, andranno invece attentamente conteggiate le esigenze (agronomiche, botaniche, pedologiche, ecc.) di un organismo biologico come questo, in modo da garantirgli ottimale attività vegetativa e sviluppo.

²³ «Le superfici fogliari sono naturalmente rivestite da un sottile strato di cera che le rende lucide e gli permette di riflettere parte della radiazione solare incidente». MASOTTI, SIMONE, “Soluzioni verdi”, in bibl., p.110

²⁴ SCUDO, GIANNI, OCHOA DE LA TORRE, JOSÉ MANUEL, Spazi verdi urbani – La vegetazione come strumento di progetto per il comfort ambientale negli spazi abitati, in bibl., pp.1-2

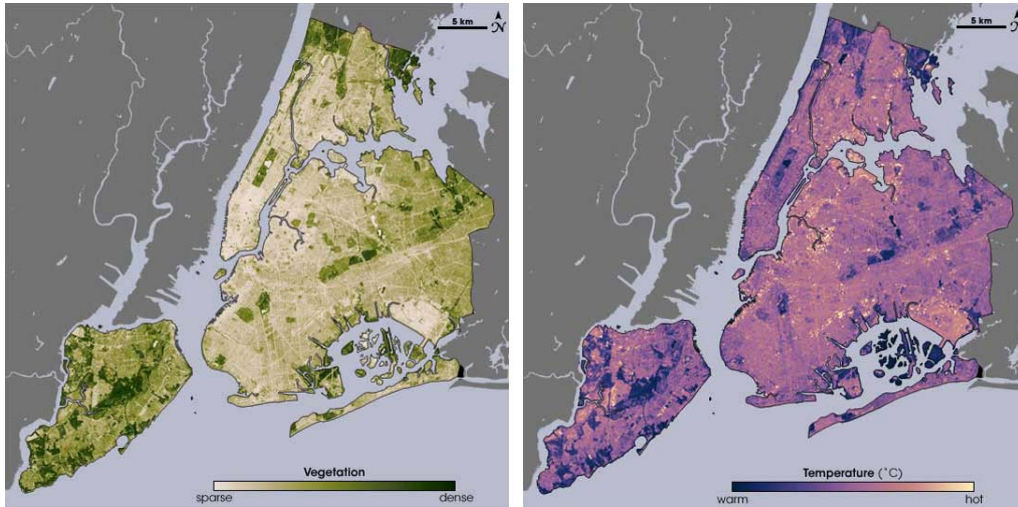


Fig.VI.8 – Foto da satellite NASA della città di New York (USA), effettuate rilevando differenti spettri di emissività infrarossa. Confrontando le due immagini è possibile notare come le superfici naturali (in verde nell'immagine di sinistra) presentino temperature radianti inferiori rispetto a quelle minerali. (Fonte: www.veja.it)

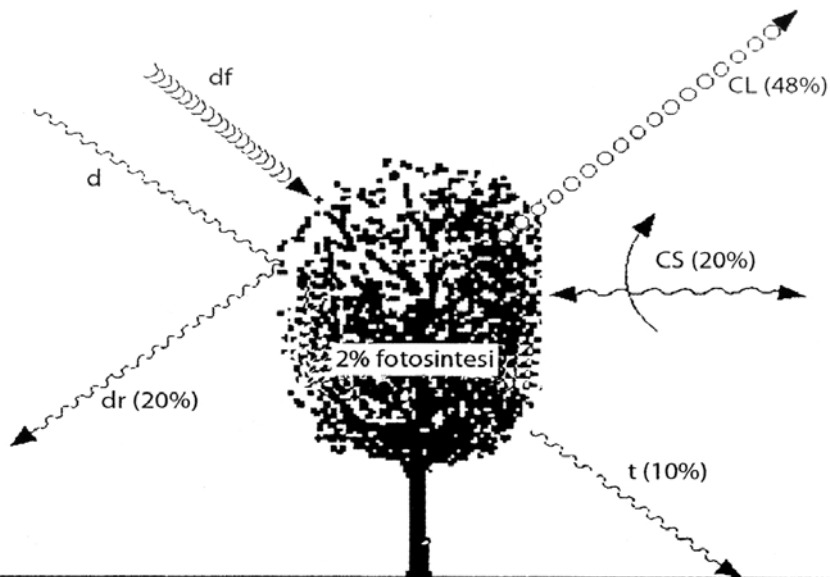


Fig.VI.9 – Schema degli scambi energetici fra vegetazione e ambiente. La radiazione solare (RS) corrisponde a: $RS=d+dr+df+t$. La radiazione termica (RT) è: $RT=CS+CL$. Legenda. d: radiazione solare diretta – dr: radiazione riflessa – df: radiazione diffusa – t: radiazione trasmessa – CS: calore sensibile (radiazione infrarossa + convezione) – CL: calore latente conseguente all'evapotraspirazione. (Fonte: SCUDO, GIANNI, OCHOA DE LA TORRE, JOSÉ MANUEL, *Spazi verdi urbani – La vegetazione come strumento di progetto per il comfort ambientale negli spazi abitati*, in bibl., p.2)

Anche l'attività fotosintetica si dimostra importante ai fini del condizionamento microclimatico. Le piante, intercettando ed utilizzando fino al 70-80% dell'energia solare che le irradia, contribuiscono a sottrarre energia luminosa, e quindi calore, all'ambiente sul quale insistono. Si noti comunque che l'energia sottratta all'atmosfera tramite la fotosintesi clorofilliana è tutto sommato bassa, ma mediante tale meccanismo entrano in gioco una serie di altre azioni che, nel complesso, forniscono un

contributo apprezzabile alla mitigazione ambientale passiva. La radiazione solare che incide sulle superfici vegetali viene quindi acquisita o trasformata dalla pianta secondo differenti proporzioni, che possono essere sintetizzate come segue: «del 100% della radiazione solare incidente la vegetazione latifolia in periodo di vegetazione ne riflette circa il 20%, ne assorbe per la fotosintesi meno del 5%, ne assorbe e riemette come calore sensibile e latente – per evapotraspirazione – il 65% e infine ne trasmette meno del 10%»²⁵ (Fig.VI.9).

VI.2.4. Possibilità di utilizzo delle piante come schermatura delle chiusure trasparenti

Considerate le apprezzabili doti di riflessione e mitigazione dell'irraggiamento solare che le piante presentano, possono essere efficacemente utilizzate come corpo schermante a favore delle chiusure edilizie: per schermatura solare si intendono gli effetti procurati da un elemento fisico che consenta di bloccare, all'occorrenza, la totalità o una parte del flusso solare che raggiunge un edificio, per motivi sia di gestione luminosa che termica. Tale attività di ostruzione all'irraggiamento può essere svolta sia per le superfici opache che a favore dei serramenti vetrati, ma in ambito architettonico si tende solitamente a declinare tale dicitura specificamente al caso delle chiusure trasparenti; anche se, come si vedrà nei paragrafi successivi²⁶, per una ottimale gestione bioclimatica del manufatto architettonico diventa molto preziosa anche la componente di schermatura degli involucri opachi.

Ciò avviene perché l'irraggiamento solare diretto che penetra nell'edificio tramite le superfici vetrate contribuisce ad un aumento della temperatura interna (innalzamento termico dovuto alla selettività del vetro e al conseguente effetto serra); mentre la radiazione solare incidente sugli involucri opachi concorre sia all'aumento della temperatura superficiale (con derivante diminuzione di efficienza energetica in regime estivo), che alla perdita d'integrità delle chiusure edilizie, conseguente all'azione dei raggi ultravioletti.

Obiettivo primario per la schermatura di finestre ed infissi è quello legato alla possibilità di modulare la radiazione luminosa, in modo da assecondare il comfort visivo delle persone che risiedono in un determinato ambiente: fenomeni come l'abbagliamento possono essere fastidiosi o deleteri per l'attività degli occupanti. Ultimamente inoltre, considerata la possibilità che la radiazione solare abbia di influenzare la qualità climatica di spazi confinati, notevole attenzione viene dedicata alle potenzialità e criticità microclimatiche legate alla funzione solare²⁷ (si pensi all'importanza dell'irraggiamento diretto per l'acquisizione energetica passiva invernale e, per contro, l'involontario e svantaggioso innalzamento della temperatura interna conseguente ad un eccessivo irraggiamento estivo).

Per tali motivi, e grazie alla già descritta attività fototropica che le rende dei corpi autoregolanti, alcuni particolari tipologie di specie vegetali potranno essere impiegate come schermatura o filtro solare: frangisole applicati *in aderenza* o *in distacco* dagli edifici che dovranno proteggere (Fig.VI.10).

²⁵ SCUDO, GIANNI, OCHOA DE LA TORRE, JOSÉ MANUEL, *ibidem*.

²⁶ Cfr. VI.2.5

²⁷ Le più recenti normative nazionali sull'efficienza energetica edilizia tengono conto anche della gestione in fase estiva degli edifici, ed introducono il concetto di «schermatura e protezione solare». Cfr. D.Lgs. 192/2005 e D.Lgs. 311/2006: in bibl.

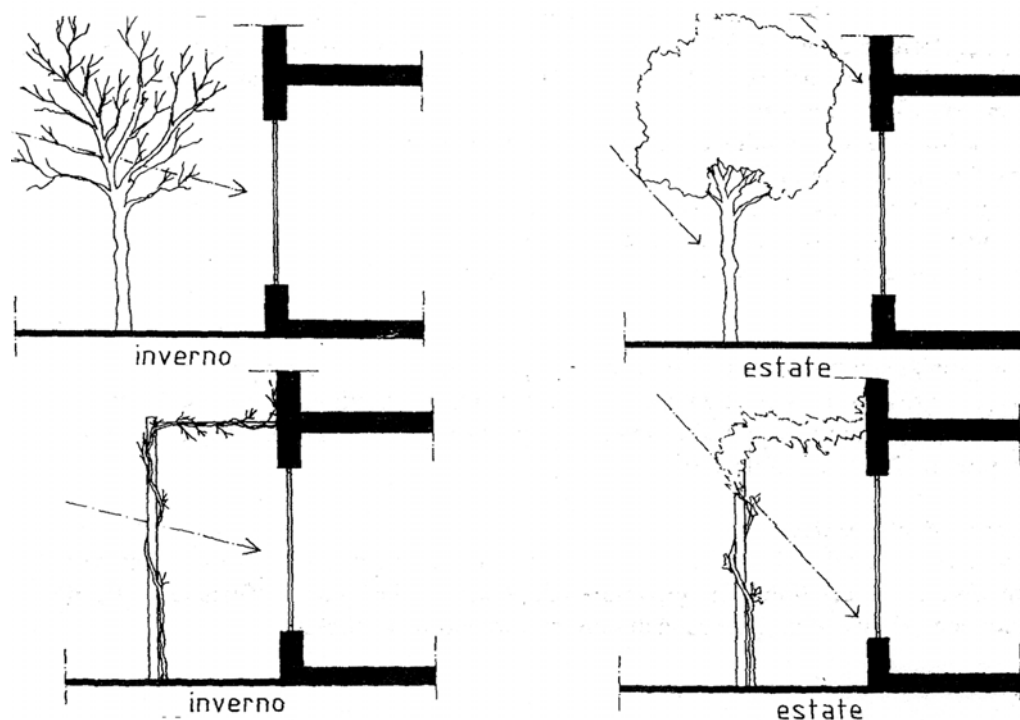


Fig.VI.10 – Possibilità d'impiego della vegetazione come schermatura solare. In alto: specie arborea a foglia caduca, posizionate “in distacco” dagli edifici. In basso: pergole verdi, utilizzate come elementi compositivi e strettamente legati al risultato architettonico finale. In inverno la vegetazione – sprovvista delle foglie – permette il passaggio della radiazione solare; durante l'estate l'apparato fogliare blocca il passaggio del flusso energetico. (Fonte: CECCHERINI NELLI, LUCIA, “Schermature per esterno”, in bibl., p.99)

Schermature *aderenti* sono quelle realizzate mediante specie vegetali caducifoglie²⁸, direttamente applicate agli involucri grazie a particolari sottostrutture di supporto e poste a stretta vicinanza delle chiusure trasparenti che sono destinate a proteggere. Si noti che al variare dell'esposizione cambiano anche le caratteristiche richieste agli elementi frangisole. Per la schermatura di radiazioni provenienti da inclinazioni solari molto alte (tipiche dell'esposizione a Sud²⁹) sono preferibili elementi schermanti orizzontali, in quanto forniscono una maggiore efficienza verso i raggi solari con elevata angolatura; per le inclinazioni basse, proprie delle esposizioni Est e Ovest, funzionano meglio le schermature poste in verticale. Sarà quindi opportuno adottare specifiche strategie progettuali anche per il disegno di elementi frangisole vegetali, tentando di ottenere delle strutture verdi che rispettino tali parametri³⁰ (Fig.VI.11 e Fig.VI.12).

²⁸ Una corretta gestione bioclimatica degli edifici richiede la schermatura solare durante le stagioni calde, ma non dovrebbe impedire alla radiazione di penetrare nel manufatto durante l'inverno. Per tale motivo sarà necessario utilizzare piante a foglia caduca per le facciate maggiormente esposte al sole.

²⁹ D'ora in avanti tutte le volte che verrà citata un'esposizione solare senza specificarne l'emisfero d'appartenenza ci si riferirà a quello Boreale. Si tenga conto che nei paesi dell'emisfero Australe le facciate maggiormente esposte alla radiazione solare sono quelle a Nord, come sono differenti anche le stagionalità: l'inverno inizia il 21 giugno e l'estate il 21 dicembre.

³⁰ Cfr. SALA, MARCO (a cura di), *Schermature solari*, Firenze, Alinea, 2000, pp.344



Fig.VI.11 – A sinistra: M. Ludwig e H. N. Schneider, Asilo nido, Winnenden (Germania), 1995. Esempio di schermatura solare ottenuta con specie rampicanti che si svilupperanno principalmente in orizzontale (Fonte: TUCCI, FABRIZIO, “Sistemi tecnologici per la schermatura bioclimatica dall’irraggiamento solare”, p.242).

Fig.VI.12 – A destra: H. Stiebale, Riqualificazione energetico-ambientale dell’edificio *Bayerische Landesbank*, Monaco di Baviera (Germania). Vista la concezione del sottosistema in cavi tesi di acciaio, le specie vegetali a crescita volubile si svilupperanno esclusivamente in verticale. (Fonte: BRUNORO, SILVIA, *Efficienza energetica delle facciate*, 2006).



Fig.VI.13 – Christian Hauvette, Centro di ricerca e Scuola di Ingegneria, Clermont-Ferrand (F). La vegetazione arborea caduciflora a ridosso delle facciate permette di ottenere una protezione solare durante le stagioni calde, per le chiusure esposte all’irraggiamento diretto. Le due fotografie rappresentano il medesimo edificio: a sinistra in inverno, a destra durante il periodo estivo. (Fonte: MINGUZZI, GIANLUCA, *Architettura sostenibile – Una scelta responsabile per uno sviluppo equilibrato*, in bibl., p.66)

Le schermature poste *in distacco* vengono invece realizzate tramite l'impiego di specie arboree³¹ (solitamente a foglia caduca), non direttamente collegate agli involucri architettonici ma collocate ad opportuna distanza (Fig.VI.13). Queste, se correttamente posizionate, possono funzionare altrettanto bene delle precedenti, ma presentano dei limiti d'impiego che vanno dall'altezza delle specie prescelte (tutti gli alberi hanno un'altezza massima e presentano dei tempi di crescita solitamente lunghi, quindi male si adatterebbero alla protezione solare di edifici che superano una certa altezza), alla possibilità d'utilizzo solo in contesti che permettano l'effettivo impianto arboreo puntuale o sottoforma di filari.

Importante sarà praticare una corretta selezione delle specie vegetali, in modo da garantire sia un ottimale sviluppo vegetativo alle piante che per non interagire negativamente con la gestione bioclimatica del manufatto. Ne consegue che in base a parametri come l'esposizione solare, le differenti stagionalità e fasce climatiche di diversi contesti edilizi, le necessità funzionali-spaziali del manufatto, sarà necessario impiegare specie opportune. Si rivelerà ad esempio fondamentale l'impiego di specie caducifoglie per la schermatura delle finestre esposte a Sud, Est ed Ovest: queste garantiscono un'ideale protezione solare durante la stagione estiva, e soprattutto impediscono il manifestarsi di involontari surriscaldamenti interni. Non voluti surriscaldamenti locali che necessiterebbero poi, per non incorrere in *discomfort* termo-igrometrici degli occupanti, di essere mitigati e corretti mediante impianti tecnologici (come ad esempio un condizionatore) che per funzionare impiegano alti quantitativi di energia e combustibili fossili. Tali specie caducifoglie, perdendo le foglie durante la stagione fredda, permettono alla luce solare invernale – percettivamente meno fastidiosa per gli occupanti – di penetrare nell'edificio, contribuendo al riscaldamento passivo dei locali.

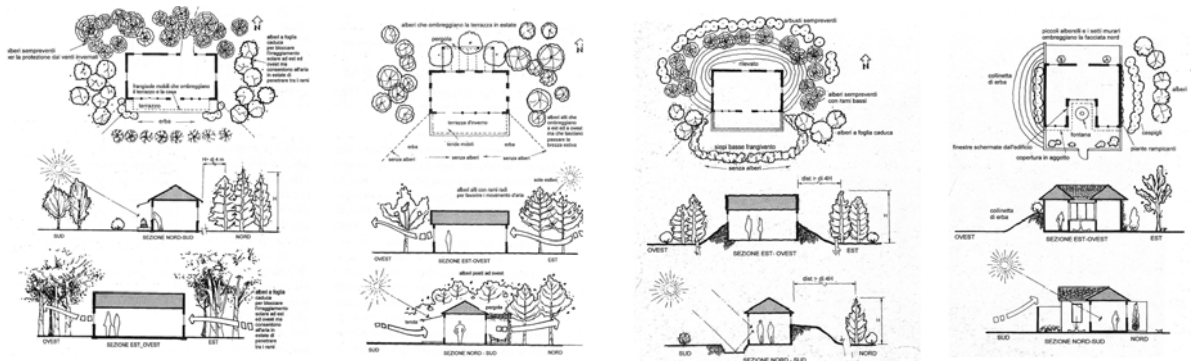


Fig.VI.14 – Tecniche paesaggistiche per la disposizione degli alberi con l'obiettivo dell'efficienza bioclimatica. Si renderà necessario adottare specifiche strategie in funzione dei diversi climi. Da sinistra verso destra, le quattro colonne illustrano rispettivamente: clima temperato, clima caldo umido, clima caldo asciutto, clima molto freddo. (Fonte: CECCHERINI NELLI, LUCIA, “Schermature per esterno”, in bibl., p.102)

³¹ “Specie arborea” è la dicitura che la botanica utilizza per riferirsi a quelli che volgarmente vengono definiti alberi. Essi, in campo agronomico e limitatamente, sono solitamente suddivisi in *prima*, *seconda* o *terza grandezza*, in funzione dell'altezza massima che possono raggiungere nello stato di completo sviluppo biologico. Gli alberi di prima grandezza superano i 16 metri di altezza, quelli di seconda grandezza si attestano tra i 10 e i 16 metri, quelli di terza sono maggiori di 4 metri ma non superano mai i 10. I “piccoli alberi” sono quelli che raggiungono al massimo i 4 metri.

La qualità dell'ombreggiamento offerto dagli organismi vegetali dipende da una serie di fattori generali quali il tipo di pianta, l'estensione e il portamento³², l'età, l'altezza di fusto e chioma, la densità del fogliame, la quantità di massa legnosa (Fig.VI.15). Nel caso dell'applicazione di specie a portamento rampicante o decombente in aderenza alle chiusure edilizie (sia trasparenti che opache³³), altri due parametri vegetali risulteranno fondamentali; essi sono il *Leaf Area Index* (LAI) e lo spessore della copertura fogliare (FHT). Il primo indica il rapporto tra la superficie fogliare di un impianto vegetale e l'area da esso occupata; l'FHT quantifica l'effettivo spessore dello strato di foglie. Entrambi giocano un ruolo variabile, a seconda della loro entità, nella gestione energetica dell'edificio.

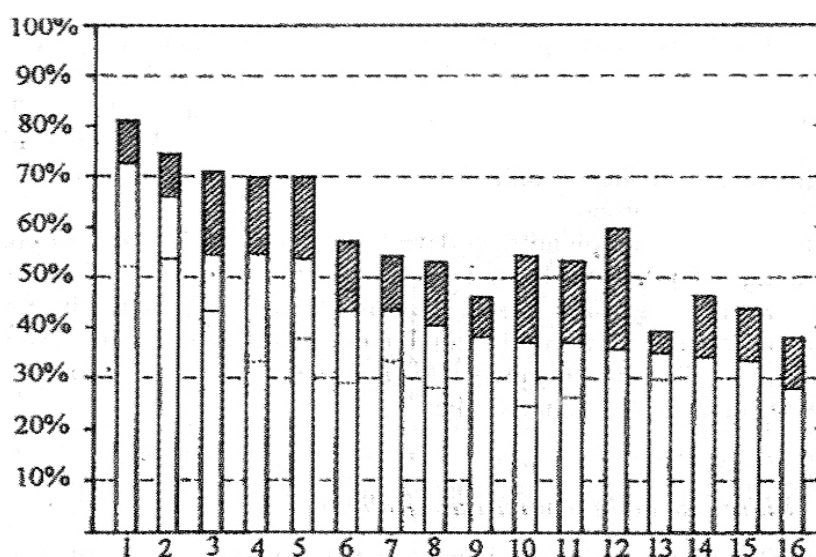


Fig.VI.15 – Classificazione in base alla permeabilità luminosa di alcune specie arboree. Nell'istogramma è rappresentata in colore bianco la percentuale schermante dei soli apparati fogliari, mentre tramite la campitura in nero è riportata la contribuzione combinata di tronco, rami e foglie. Legenda: 1. *Juniperus virginiana* (ginepro) – 2. *Roystonea s.p.* (Palma) – 3. *Cocos lucifera* (Palma da cocco) – 4. *Pinus palustris* (Pino) – 5. *Pinus echinata* (Pino) – 6. *Acer saccharum* (Acer zuccherino) – 7. *Carya illinoensis* (Noce americano) – 8. *Acer saccharinum* (Acer silvestre) – 9. *Quercus rubra* (Quercia rossa) – 10. *Quercus s.p.* (Quercia) – 11. *Ulmus americana* (Olmo americano) – 12. *Platanus occidentalis* (Platano occidentale) – 13. *Liquidambar styraciflua* – 14. *Robinia pseudoacacia* (robinia) – 15. *Carya ovata* – 16. *Prunus serotina* (ciliegio nero). (Rielaborazione da: TUCCI, FABRIZIO, “Sistemi tecnologici per la schermatura bioclimatica dall'irraggiamento solare”, in bibl., p.243)

Ulteriore importante accorgimento da considerare durante la fase di selezione delle specie è che, per quel che concerne il periodo di deciduità, andrà «tenuto presente che una scelta ecologicamente consapevole, cioè con essenze “locali”, quasi sempre mette in fase la foliazione-deciduità con la domanda termica (della pianta, *NdA*), poiché ambedue sono funzione dell'andamento della

³² Il portamento di una specie arborea è direttamente riconducibile alla morfologia della chioma. Solitamente si schematizza la forma della chioma di un albero mediante forme geometriche semplici (ad esempio cerchi, sfere, quadrati, triangoli, prismi, ecc.), sia in proiezione bidimensionale che tridimensionale. Tale semplificazione viene utilizzata per svolgere delle valutazioni quantitative o qualitative direttamente derivanti dal portamento degli alberi, come la capacità di ombreggiamento, la quantità di superficie coperta, ecc.

³³ L'impiego vegetale come schermatura di superfici edilizie opache sarà trattato nei prossimi paragrafi.

temperatura esterna»³⁴ e delle condizioni ambientali o atmosferiche del contesto d'inserimento; in modo da poter ottenere una progettazione maggiormente sostenibile e a minor impatto ambientale³⁵.

È inoltre da evidenziare come l'utilizzo delle piante per la schermatura solare possa contribuire anche al comfort delle persone, negli spazi sia aperti che confinati. Ciò, in quanto un mirato impiego della «vegetazione può [...] modulare la luminosità, riducendo gli effetti d'abbagliamento sia per pedoni che per automobilisti. L'interazione con gli aspetti microclimatici è legata al controllo del benessere visivo che spesso si combina con quello termo-igrometrico: per esempio, la riduzione di fenomeni di abbagliamento per riflessione sul piano stradale o per esposizione diretta al sole nei percorsi in asse Est-Ovest comporta una protezione con alberatura "a galleria" che tende ad annullare l'effetto di abbagliamento migliorando anche le condizioni di comfort termico.»³⁶ Infatti, è forte la correlazione fra calore percepito e le modalità cognitive dell'essere umano: alcune ricerche hanno dimostrato che il modo in cui le persone percepiscono il calore, soprattutto per quanto concerne gli spazi esterni, dipende non solo dalla temperatura e umidità relativa dell'aria rilevabile in un dato luogo, ma consegue anche alle condizioni culturali, contestuali e dalle temperature medie misurate negli ultimi giorni³⁷.



Fig.VI.16 – L'edificio *Consorcio Building* situato a Concepción in Chile e progettato dall'architetto Enrique Browne, utilizza come protezione solare degli spazi-filtro esterni agli uffici un sistema di specie vegetali piantumate in quota. Tale sistema schermante consiste in una sottostruttura di acciaio e legno dove vengono fatte crescere delle piante rampicanti, ed è orientato sui lati Nord, Nord-Est e Nord-Ovest (il Chile si trova nell'emisfero Australe, quindi la facciata maggiormente esposta all'irraggiamento solare è quella a Nord). Come si può vedere dal disegno a destra, la schermatura vegetale è composta da quattro specie differenti, sia a foglia caduca che sempreverdi, a seconda delle necessità funzionali interne e dell'orientamento edilizio. Si veda la contestuale Scheda Progetto al capitolo III. (Fonte: Enrique Browne y Arquitectos Asociados)

³⁴ SCUDO, GIANNI, "La vegetazione domestica e il controllo del microclima", in bibl., p.30

³⁵ Tali argomenti sono stati affrontati con maggior precisione nel capitolo IV.

³⁶ SCUDO, GIANNI, OCHOA DE LA TORRE, JOSÉ MANUEL, op. cit., p.38

³⁷ Cfr. RUOS – REDISCOVERING THE URBAN REALM AND OPEN SPACES, *Progettare gli spazi aperti nell'ambiente urbano: un approccio bioclimatico*, in bibl., pp.61

Le caratteristiche vegetali descritte permettono di «considerare la vegetazione a pieno titolo come uno degli elementi potenzialmente più collaborativi al raggiungimento del comfort ambientale, anche tenendo presente il surplus da essa fornito, a differenza di qualsiasi apparato artificiale costruito dall'uomo, mediante il processo di evapotraspirazione.»³⁸

VI.2.5. Possibilità di miglioramento delle prestazioni energetiche negli involucri opachi

Considerate le doti materiche e fisiologiche della vegetazione, è rilevabile come gli elementi vegetali possano essere efficacemente impiegati non solo come apparato schermante per le superfici trasparenti, ma abbiano anche la capacità di contribuire a proteggere gli involucri edilizi opachi, e a mitigarne i carichi termici incidenti. L'utilizzo della vegetazione per il rivestimento delle chiusure edilizie risulta essere una strategia che può condurre a dei vantaggi apprezzabili nella gestione energetica dei manufatti architettonici.

Diviene innanzitutto necessario evidenziare come in base alle stagioni siano molto discordanti le variabili di progetto e le conseguenti strategie d'azione. Come noto, infatti, le caratteristiche e le priorità volte all'ottimizzazione energetica del sistema edilizio saranno alquanto differenti se si operi in regime estivo piuttosto che invernale. Considerando l'apparato fogliare come uno strato funzionale delle chiusure edilizie – presentante quindi proprie e precise caratteristiche fisiche –, entreranno in gioco differenti variabili che agiscono in modo diversificato sul comportamento energetico degli involucri e, quindi, anche sulla condotta energetica globale.

A parte i già citati fattori LAI e FHT³⁹, ulteriori proprietà che hanno effetti diretti sul comportamento di una chiusura sono la tecnologia prescelta e i materiali che la compongono. Infatti, l'inverdimento di una parete non comporta solamente la presenza superficiale degli organismi vegetali della pianta ma, nella maggior parte dei casi, tali facciate presenteranno anche delle sottostrutture o stratigrafie complementari al sistema⁴⁰, che giocano un ruolo affatto trascurabile dal punto di vista del comportamento energetico finale.

Per quanto riguarda l'avvicendamento stagionale, invece, si denota come al variare delle condizioni termo-igrometriche di un dato ambiente, cambino sia il comportamento della parete invernata che le sollecitazioni ambientali alle quali essa sarà chiamata a rispondere.

Durante i periodi freddi il sistema d'inverdimento dovrà concretizzarsi come elemento a protezione della chiusura edilizia, sopperendo per quanto possibile alla sua salvaguardia dalle correnti ventose fredde (contribuendo in questo modo all'annullamento delle perdite energetiche per ventilazione), e configurandosi come un apparato composito che apporti una serie di livelli funzionali supplementari alla stratigrafia della parete, limitandone ove possibile la trasmittanza.

Altra azione che si dovrebbe provvedere ad eliminare durante l'inverno è quella relativa ai moti convettivi: flussi d'aria che, se freddi, andranno ad influenzare negativamente il comportamento energetico della chiusura.

³⁸ TUCCI, FABRIZIO, "Schermature mobili verticali in facciata e copertura", in bibl., p.242

³⁹ Cfr. VI.2.4

⁴⁰ Si rimanda ai capitoli III e V per l'approfondimento delle tipologie e delle particolarità tecnologiche dei vari sistemi per l'inverdimento parietale.

Fenomeno negativo per la limitazione della resistenza termica dello strato vegetale è la presenza di umidità (linfa) all'interno dei tessuti vegetali. Tale percentuale è comunque molto bassa durante il periodo invernale, quando cioè le attività vegetative della pianta sono ridotte al minimo.

CONDIZIONI	DIFFERENZA DI TEMPERATURA CON SOLA RADIAZIONE DIFFUSA [°C]	DIFFERENZA DI TEMPERATURA CON RADIAZIONE DIFFUSA E DIRETTA [°C]
Grande albero	3,6	13,6
Arbusto	4,2	13,6
Alberi e siepe	5,5	15,5
Rampicante poco denso	4,4	7,7
Rampicante molto denso	4,2	8,9

Tab.VI.17 – Differenze di temperatura rilevate fra superfici ombreggiate e non, di pareti chiare esposte a Est ed Ovest. Dalla tabella è evidente come lo sfruttamento del potere schermante offerto dalla vegetazione sia benefico, seppur in misura minore, anche nel caso di radiazione diffusa. (Rielaborazione da: ALESSANDRO S. et al., “Stato dell’arte delle ricerche concernenti l’interazione energetica tra vegetazione e ambiente costruito”, in bibl.)

Nelle stagioni calde, i parametri da computare nella gestione energetica parietale sono totalmente diversi. Inoltre, come dimostrato nel paragrafo successivo, è proprio in tali periodi che rivestimenti vegetali e pareti verdi offrono la maggiore efficienza. La schermatura delle superfici opache si dimostra fondamentale per la limitazione dell’apporto solare incidente sulle chiusure: tale apporto energetico diretto si tramuta, nell’arco delle 24 ore giornaliere, in un flusso termico che penetra all’interno dell’edificio aggravandone i carichi termici interni e, quindi, limitandone il comfort per gli occupanti. La possibilità schermante dipende dai parametri vegetali LAI e FHT, nonché dall’eventuale contribuzione di sottosistemi o altri apparati presenti.

Fattore considerevole per la mitigazione climatica è l’umidità dell’aria. Le piante, come già enunciato, possono contribuire alla modificazione igrometrica ambientale; ma oltre a ciò, la presenza di vapore acqueo negli strati d’aria più prossimi alle facce di un rivestimento vegetale, riesce a creare dei moti convettivi che apportano beneficio alle facciate edilizie e, di conseguenza, anche agli spazi interni.

Fenomeni convettivi che, peraltro, possono anche presenziare nelle intercapedini eventualmente formatesi grazie alla realizzazione di rivestimenti vegetali o chiusure vegetate: si viene così a creare un flusso d’aria ascensionale, retrostante alla superficie vegetale, che permette di considerare la parete a verde come una vera e propria facciata ventilata, e presentante, quindi, tutte le consolidate qualità benefiche che una chiusura del genere può arrecare in regime estivo. Se si considera inoltre che un apparato vegetale, «a differenza di una qualunque altra schermatura, [...] è in grado di abbattere le onde corte dell’irraggiamento e di assorbire l’energia radiante [...] che non verrà più riceduta all’ambiente circostante e all’interno dell’edificio»⁴¹, è evidente come un sistema a verde possa presentare un valore aggiunto rispetto ad un qualsiasi altro materiale.

⁴¹ BELLOMO, ANTONELLA, op. cit., p.10

Importante sarà operare un'adeguata selezione di tipologie vegetali e specie di piante. Seppur in passato, a causa della scarsa efficienza termica media delle chiusure caratterizzanti l'intero patrimonio edilizio, potesse risultare consigliabile in alcuni casi l'adozione di specie sempreverdi⁴², oggi tale considerazione può essere sfatata: vista la prestante sempre più elevata delle chiusure edilizie, e la conseguente perdita di rilevanza dell'apporto solare invernale per la conservazione energetica di pareti ed ambienti interni, risulta possibile ribaltare la suddetta cognizione. Al giorno d'oggi – considerata anche la minore richiesta idrica delle specie caducifoglie durante il periodo freddo, conseguentemente al fatto che risultano sprovviste degli apparati fogliari – è possibile affermare che anche per le pareti opache sono sempre preferibili le specie decidue, in quanto offrono ottimali prestazioni durante l'estate; mentre la contribuzione invernale delle piante sempreverdi, in termini di resistenza termica, diviene trascurabile.

Nel caso estivo le facciate Est e Ovest sono molto svantaggiate, in quanto la radiazione solare e il carico energetico conseguente raggiungono tali superfici con angolature molto basse (quasi perpendicolari alla facciata), aggravandone il bilancio energetico. Per quel che concerne le pareti a Ovest il problema è ancora più grave, perché a radiazioni solari basse e direttamente incidenti sulla facciata, si assommano delle temperature dell'aria maggiori rispetto alla mattina. In forza di tali motivi, è possibile affermare che per le facciate Est ed Ovest, in regime estivo, una protezione solare è sempre un fatto benefico, in quanto contribuisce (vista la schermatura del soleggiamento diretto imputabile alle piante, delle caratteristiche fisiologiche viste in precedenza, ed all'inerzia termica dei tessuti vegetali) a mantenere le temperature della parete a livelli inferiori, con conseguenti benefici sul comfort interno.

Ne deriva che, alle latitudini nazionali e conseguentemente alle metodologie di coibentazione che ultimamente caratterizzano le normali prassi edilizie, si ritiene sia sempre consigliabile l'adozione di specie a foglia caduca per tutte le esposizioni.



Fig.VI.18 – Confronto tra due fotografie dello stesso edificio nelle configurazioni invernale (a sinistra, scatto eseguito in data 16/01/2010) ed estiva (30/05/2010, a destra). È comprensibile come durante l'inverno gli esili rami della pianta decidua non costituiscano un'ostruzione all'acquisizione solare passiva, mentre a destra, in estate, proprio quando il soleggiamento potrebbe rivelarsi un problema per la gestione bioclimatica del manufatto, le foglie possono fungere da schermatura solare.

⁴² Ossia per le chiusure esposte a Nord, Est ed Ovest, in quanto parzialmente o totalmente disinteressate dal soleggiamento diretto durante la stagione autunnale e invernale.

In chiusura di paragrafo si evidenzia come sia comunque sempre raccomandabile la verifica in regime dinamico del comportamento energetico del manufatto progettato, avvalendosi della collaborazione di un fisico-tecnico. Inoltre, viste le particolarità dell'impiego di un sistema vegetale come finitura edilizia, sarà sempre fondamentale la consulenza di un agronomo per la corretta selezione delle specie da impiegare, in funzione delle specificità di ogni progetto e/o contesto territoriale.

VI.2.5.1. Studi scientifici che dimostrano l'influenza della vegetazione sull'efficienza energetica delle chiusure edilizie in regime estivo

Le ricerche che trattano, mediante diverse declinazioni ed obiettivi, il tema dell'aumento delle prestazioni energetiche nelle chiusure verticali inverdite non sono molte. Inoltre esse, alcune ormai abbastanza datate, sono nella grande maggioranza dei casi indirizzate alle tecnologie dei rivestimenti vegetali, o alle potenzialità prestazionali e migliorative offerte da alberi o arbusti collocati in prossimità delle chiusure edilizie. Verrà di seguito presentata una rassegna delle esperienze sperimentali maggiormente interessanti rilevabili all'attuale stato dell'arte scientifico⁴³, con l'obiettivo di dimostrare come le tecnologie verdi possano contribuire efficacemente all'efficienza energetica degli involucri architettonici. Tale resoconto è volontariamente presentato in modo sintetico, con l'obiettivo di dimostrare esclusivamente i risultati ottenuti dai vari studi, senza entrare troppo nel merito della trattazione di quelli che sono i minimi aspetti operativi, o delle declinazioni metodologiche adottate da ogni singolo gruppo di ricerca. I riferimenti bibliografici, in calce ad ogni lavoro citato, sono destinati a favorire l'eventuale approfondimento da parte di coloro che intendano indagare maggiormente gli aspetti pratici o metodologici di ogni singolo studio di seguito riportato.

Un discorso a parte meritano le ricerche finalizzate a quantificare gli effetti sul microclima esterno di elementi arborei isolati o spazi verdi alberati all'interno delle conurbazioni (ad esempio filari di alberi, parchi urbani, pergole inverdite, ecc.), valutate solitamente in relazione alla componente di schermatura solare garantita dalla vegetazione, o alle sue conseguenti ripercussioni sulla qualità dell'aria e delle temperature radianti. Tali studi, in numero maggiore di quelli indirizzati al comportamento degli involucri a verde, hanno dimostrato un'influenza positiva delle piante sul microclima ambientale, per contesti e stagioni calde; ciò è in gran parte dovuto alle doti schermanti della radiazione solare, garantite dalle chiome degli alberi o delle propaggini fogliari di piante rampicanti posizionate su pergole o appositi appoggi. Non interessando tali ricerche in maniera diretta le chiusure edilizie, si è però deciso di tralasciarle⁴⁴.

⁴³ Rassegne simili, ma numericamente meno complete, sono reperibili ai seguenti riferimenti bibliografici: SIRAGUSA, LUCA (a cura di), *Prestazioni energetiche dei sistemi di inverdimento verticale*, in bibl.; PERON, FABIO, "Vegetazione e ambiente costruito: aspetti termoigrometrici", 2008, in bibl.

⁴⁴ Spesso, comunque, tali tipologie di ricerca presentano argomenti ed esperimenti che intersecano fortemente quelli citati all'interno del presente paragrafo. Perciò, passando alla lettura della maggior parte di testi ed articoli riportati nella bibliografia tematica di questo capitolo, si potranno trovare molteplici spunti d'approfondimento.

Valutazione del potere schermante di specie rampicanti a rivestimento di chiusure opache

Lo studioso che prima di altri volle determinare quanto una chiusura inverdita possa presentare delle caratteristiche migliorative rispetto ad una che ne sia sprovvista, fu il giapponese Akira Hoyano⁴⁵ del Tokyo Institute of Technology. Egli, in alcune campagne di misurazione condotte in periodi e luoghi diversi, fu il primo ad evidenziare come una parete ospitante vegetazione offra delle qualità positive mai indagate scientificamente prima di allora.

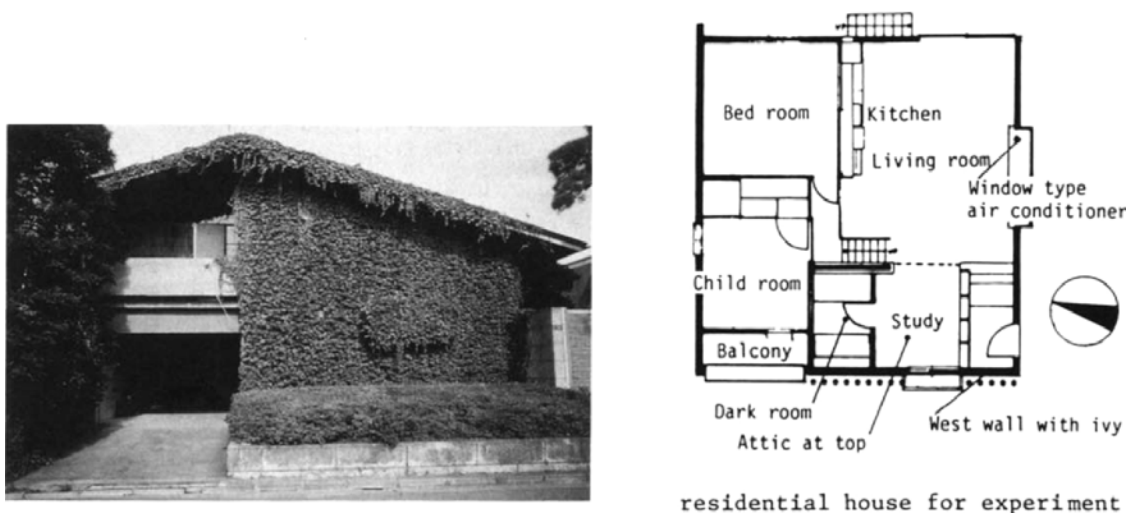


Fig.VI.19 – Nell’immagine è riportato il contesto dell’esperimento di Hoyano degli anni 1979-80. A sinistra una foto dell’edificio monitorato, dove si può vedere la parete rivestita dai rampicanti; a destra la pianta del fabbricato. (Fonte: HOYANO, AKIRA, op. cit., p.189)

Il primo esperimento venne effettuato a Fukuoka City (45° LN⁴⁶, Giappone) in due estati successive negli anni 1979 e 1980. Venne monitorata una parete edilizia opaca esposta a Ovest, ospitante della vite americana direttamente aggrappata alla superficie di una muratura in calcestruzzo armato non isolata dello spessore di 15 cm (Fig.VI.19). La strategia adottata fu quella di eseguire dei rilievi climatici in un giorno sereno nel luglio del 1979 quando la parete era ancora sprovvista di piantumazione, per poi ripeterli l’anno successivo, in un giorno sereno del mese di agosto, quando la chiusura edilizia era stata invece completamente invasa dalla vite americana cresciuta nel frattempo. Le misurazioni vennero effettuate a intervalli di tre ore ciascuno e riguardarono la temperatura delle foglie della vite, la temperatura superficiale sulle facce interna ed esterna del muro, la temperatura radiante interna, la temperatura dell’aria ambiente e quella dello strato d’aria intercorrente tra il manto vegetale e la superficie del muro. I risultati possono essere così riassunti (Fig.VI.20 e Fig.VI.21):

- la temperatura della superficie vegetata si attiene su livelli leggermente più bassi di quelli dell’aria esterna. La temperatura della superficie non inverdita risulta mediamente molto maggiore (fino a 10 °C);

⁴⁵ HOYANO, AKIRA, "Climatology uses of plants for solar control and the effects on thermal environment of a building", *Energy and Buildings*, n.11, 1988, pp.181-199

⁴⁶ La sigla LN sintetizza la dicitura "latitudine nord".

- la temperatura dell'aria fra lo schermo vegetale ed il muro è più alta di quella atmosferica. Si innesca quindi un fenomeno simile all'effetto camino, dove l'aria tende a risalire naturalmente. Tale conseguenza, pur non del tutto paragonabile a quello di una facciata ventilata – il rampicante è aggrappato direttamente alla muratura, quindi l'effetto camino è interrotto in più punti dalle radici avventizie della pianta – è utile ad eliminare fenomeni di umidità e/o condensa nel muro⁴⁷;
- la temperatura della faccia interna della muratura non inverdita risulta maggiore di quella che contiene la vite americana, contribuendo quindi ad un innalzamento della temperatura dell'ambiente interno;
- l'unico dato problematico rilevato fu quello della limitazione dello scambio termico convettivo, dovuto alla presenza sia dei vegetali che dello strato d'aria formato dall'"intercapedine": ciò si traduce nella minore dispersione energetica tra muro ed aria esterna. Tale condizione rappresenta sicuramente un vantaggio durante le ore del giorno o nelle stagioni fredde, ma un limite nelle ore serali e notturne estive, quando lo scambio convettivo con l'esterno contribuisce a rinfrescare muri ed ambienti interni. Questo aspetto «può, però, essere trascurato se si considera che una parete esposta direttamente alla radiazione solare durante il giorno raggiunge, nelle ore notturne, una temperatura nettamente superiore rispetto a quella del rampicante»⁴⁸, influenzando perciò la chiusura non schermata dalla vegetazione con dei carichi termici maggiori, che dovrebbero essere dispersi nelle ore notturne. Inoltre, adottando una strategia costruttiva simile a quella della facciate ventilate (disponendo cioè il rivestimento vegetale su una sub-struttura autonoma distaccata dalla parete edilizia) si annullerebbe il problema.

Dai dati sperimentali riportati emerge come il rivestimento a verde possa provocare degli apprezzabili fenomeni di limitazione del flusso solare incidente sulle murature e, di conseguenza, nei confronti di quello che raggiunge l'ambiente interno. Minore flusso energetico entrante che si ripercuote positivamente nella limitazione sia della temperatura radiante che di quella dell'aria *indoor*.

Non è inoltre da trascurare il fatto che le superfici inverdite si attestino su temperature molto minori, se paragonate a quelle di edifici non rivestiti da manti vegetali. Questione positiva per il mantenimento dell'integrità delle chiusure edilizie, che vengono così sottoposte a sforzi e tensioni minori.

Il fatto di poter contare su delle superfici esterne a temperatura più bassa contribuisce a disperdere minore energia nell'ambiente esterno che perciò si riscalda meno, concorrendo in modo minore ad aggravare l'effetto dell'isola di calore.

⁴⁷ La questione sarebbe molto diversa nel caso in cui, invece di utilizzare un rampicante che attecchisce direttamente su parete, si fosse optato per un rivestimento vegetale provvisto di propria struttura di supporto distaccata qualche centimetro dalla superficie edilizia (si rimanda al capitolo III per la visione di alcuni esempi di tale specifica tipologia). In quel caso il rivestimento verde avrebbe potuto essere assimilato, a tutti gli effetti, ad una parete ventilata.

⁴⁸ BELLOMO, ANTONELLA, op. cit., p.13

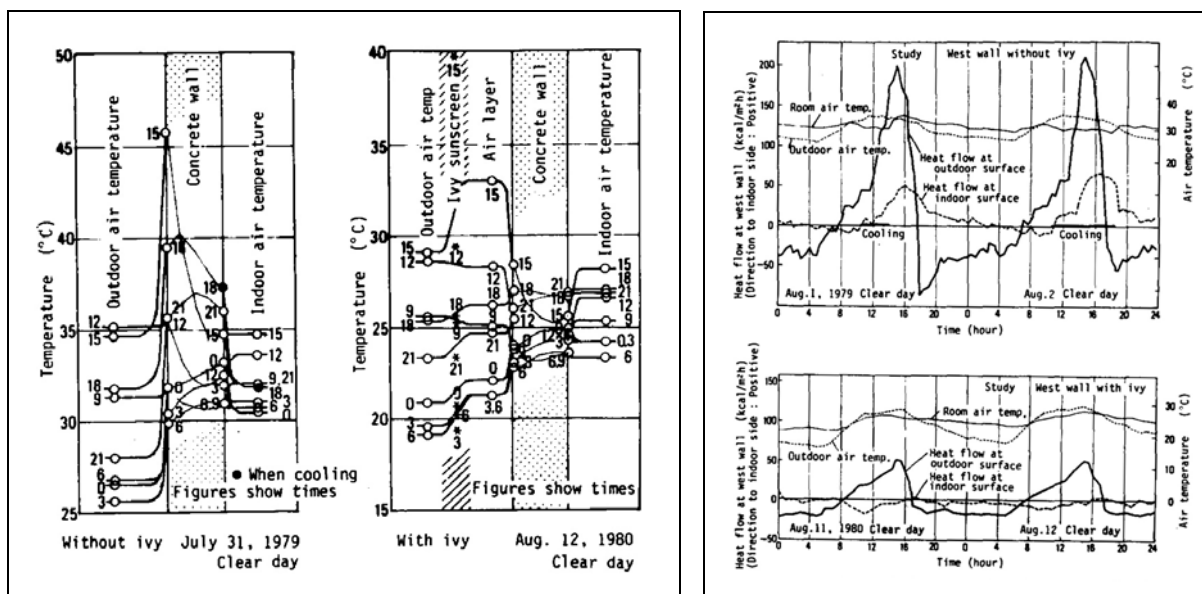


Fig.VI.20 – A sinistra: grafico che evidenzia il diverso andamento delle temperature tra la parete non inverdita, in data 31/07/1979 (a sinistra), e quella ospitante il sistema vegetale di vite americana, l’anno successivo e precisamente il 12/08/1980 (a destra). È evidente come le temperature della parete a verde si attestino, durante l’intero arco della giornata, su livelli medi minori. (Fonte: HOYANO, AKIRA, op. cit., p.190)

Fig.VI.21 – A destra: i grafici dimostrano la variazione giornaliera dei flussi termici (interni ed esterni) delle chiusure edilizie. La parte superiore è relativa alla parete nuda prima dell’inverdimento, quella sottostante riguarda la parete inverdita. È palese come anche i flussi termici, nel caso della chiusura a verde, si attestino su livelli molto inferiori. (Fonte: HOYANO, AKIRA, op. cit., p.191)

Effetti di un rivestimento vegetale a protezione di un ambiente semi-aperto

Ulteriore esperimento venne eseguito sempre dallo stesso ricercatore su un edificio del campus universitario di Kyushu in Giappone (33° LN) nell’agosto del 1982, e potrebbe essere definito un “ibrido”, in quanto non specificamente finalizzato alle chiusure verticali ma incentrato sul monitoraggio di uno spazio semiaperto. L’esperimento, tanto interessante quanto semplice, consistette nell’osservazione parallela di due logge affiancate esposte a Sud-Ovest, durante una giornata estiva. Una delle due logge venne schermata mediante una spalliera mobile inverdita con piante rampicanti; l’altra ne venne lasciata sprovvista (Fig.VI.22). La misurazione, finalizzata a valutare la contribuzione di un elemento vegetale come schermatura solare, fornì alcuni dati degni di nota.

La loggia rivestita dalla vegetazione presentava al suo interno delle temperature dell’aria minori rispetto alla veranda non schermata. Quest’ultima dimostrava delle temperature superiori ai 45 °C anche durante la notte, a causa dell’energia immagazzinata dai materiali edilizi durante il corso della giornata. La temperatura delle superfici vegetali si manteneva su livelli prossimi alla temperatura dell’aria (30-32°C), cioè molto più bassa di quella delle superfici non schermate. Inoltre, la temperatura media radiante delle facciate non inverdite si attestava su livelli di 2-4 °C maggiori di quelle schermate, durante il periodo orario 12.00-15.00.

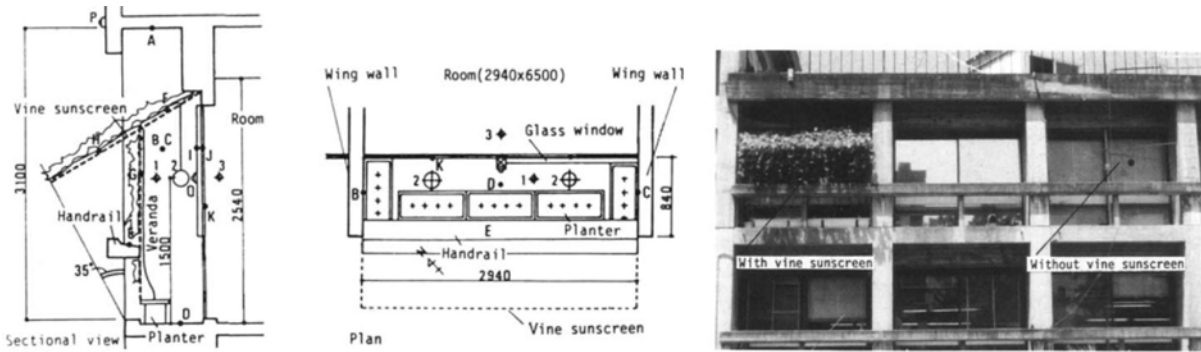


Fig.VI.22 – Condizioni dell’esperimento condotto presso l’edificio del campus universitario di Kyushu. Nella parte a sinistra dell’immagine sono visibili sezione e pianta della loggia schermata dai rampicanti. Nella foto di destra è riportata un’immagine dell’esperimento, dove si vedono le due logge monitorate. (Fonte: HOYANO, AKIRA, op. cit., p.186)

L’unica nota negativa per la facciata a verde derivò dalle contestuali temperatura media radiante e temperatura dell’aria durante le ore serali, dopo le 18.00: in quel caso la temperatura dell’aria e la temperatura media radiante risultarono più elevate rispetto alla porzione non inverdita. Questo perché la presenza della spalliera verde sull’unico lato aperto della loggia ne limitava la possibilità di ricambio d’aria, inibendone, di conseguenza, la discesa della temperatura durante la notte.

Dati del genere dimostrano come le superfici vegetali possano essere ritenute delle possibilità interessanti, specialmente per le chiusure edilizie esposte a soleggiamento intenso (Ovest e Sud) o che non presentino buone caratteristiche iniziali di isolamento ed inerzia termica⁴⁹. Per tale motivo, la possibilità di intervenire con uno schermo verde nei casi di recupero edilizio per i paesi a clima temperato e caldo, è da ritenersi una possibilità apprezzabile.

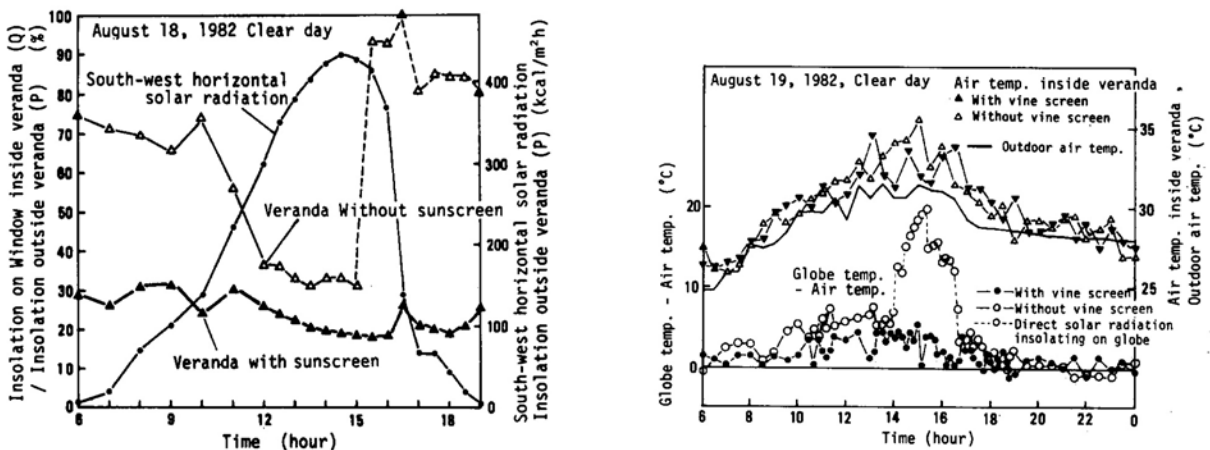


Fig.VI.23 – Grafico di sinistra: confronto tra le radiazioni solari incidenti su entrambe le logge monitorate. È evidente come lo spazio schermato dalla parete verde mantenga dei livelli inferiori di soleggiamento, durante l’intero arco della giornata. A destra le variazioni di temperatura dell’aria e temperature a bulbo secco per entrambe le configurazioni di schermatura/soleggiamento. (Fonte: HOYANO, AKIRA, op. cit., p.187)

⁴⁹ Come accade nella configurazione tipica delle pareti esterne di manufatti edilizi costruiti tra gli anni '50 e fine '80, stimabili in circa un terzo degli edifici complessivi attualmente rilevabili in Europa.

Schermatura solare mediante specie arboree poste in distacco dall'edificio

Altra esperienza condotta da Hoyano nell'agosto del 1982 fu ancora una volta legata al monitoraggio di chiusure edilizie opache, ma mirando in tale occasione a comprendere il potere schermante di arbusti non direttamente integrati alla chiusura edilizia. La scelta di utilizzare arbusti in distacco dalla parete fu operata con l'obiettivo di massimizzare lo scambio convettivo notturno tra parete edilizia ed aria esterna, alla luce del fatto che nei precedenti esperimenti (dove il rivestimento vegetale era posizionato a stretto contatto con la parete) tale scambio termico risultava limitato.

Per effettuare l'esperimento venne appositamente costruito un edificio di 20 m², ad un unico livello fuori terra. Ne fu monitorata la parete non isolata in calcestruzzo armato dello spessore di 12 cm esposta ad Ovest; tale parete presentava delle dimensioni di 5,4 m in lunghezza per 2,3 m di altezza. Collocando davanti alla muratura una serie di arbusti sempreverdi coltivati in vaso della specie *Kaizuka hort*, alti circa 2 m, venne testata la loro capacità di intercettare la radiazione solare (Fig.VI.24). La funzione dell'utilizzo di piante in vaso era dovuta alla loro facile possibilità di rimozione o spostamento, in modo da testare varie combinazioni di schermatura.

L'esperimento consistette nel testare quattro configurazioni di schermatura diverse, cioè con le piante collocate rispettivamente a due diversi interassi "L" tra di loro (45 e 65 cm), e posizionabili a loro volta a due diverse distanze "D" dalla parete, ossia 20 e 60 cm. Le varianti sperimentabili furono quindi quattro: L45-D20; L65-D20; L45-D60; L65-D60. Due delle citate configurazioni sono visibili in Fig.VI.24.

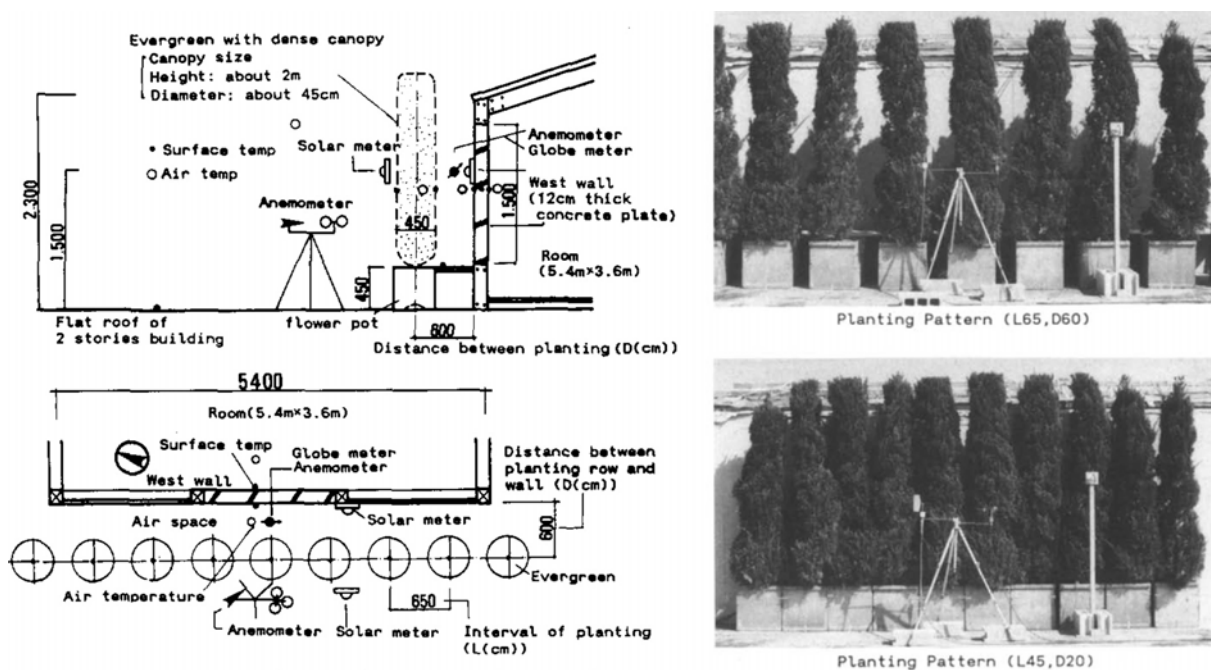


Fig.VI.24 – Condizioni di prova per la verifica della schermatura solare mediante l'impiego di arbusti sempreverdi. Nell'immagine di sinistra è riportata una schematizzazione dell'esperimento mediante il disegno di piante e sezioni. Nelle foto di destra le foto di due diverse configurazioni di prova: sopra L65-D60, e L45-D20 sotto. (Fonte: HOYANO, AKIRA, op. cit., p.192)

Anche in questo caso vennero evidenziate delle apprezzabili possibilità di schermatura solare offerte dalle piante. Dall'esperimento risultò che la piantumazione più densa e vicina alla parete (L45, D20) intercettava fino al 95% della radiazione solare, contribuendo in modo ottimale all'abbattimento dei carichi termici incidenti sulla chiusura. Inoltre, la distanza di 20 cm dell'alberatura dall'involucro verticale si dimostrò una efficace opzione anche per eliminare il problema del limitato scambio convettivo notturno tra muratura ed aria esterna.

Ulteriore nota positiva – che sarà confermata anche da altre sperimentazioni introdotte più avanti all'interno del presente paragrafo – è relativa al fatto che il rivestimento a verde contribuisce positivamente, oltre che ad abbassare il carico di picco energetico nelle ore più calde della giornata (12.00-16.00), anche a mantenere il flusso termico globale, nell'arco delle 24 ore, ad un livello maggiormente omogeneo; ciò accade sia come conseguenza delle sue caratteristiche di limitazione del flusso incidente, che grazie all'inerzia termica messa in gioco dai tessuti vegetali delle piante. Tale quantitativo energetico maggiormente costante ha una doppia valenza positiva: contribuisce al mantenimento del comfort interno su livelli più accettabili (con conseguente risparmio energetico) e sottopone le chiusure edilizie a tensioni minori; tensioni che si rivelerebbero deleterie per il funzionamento ed il mantenimento dell'integrità dell'involucro.

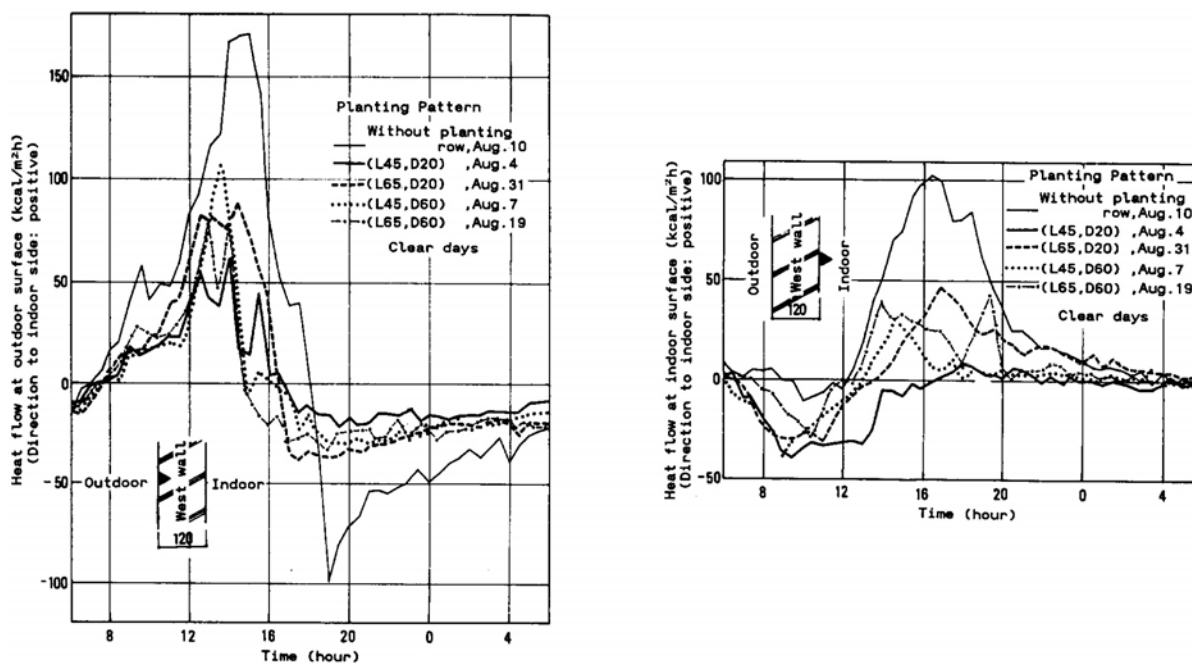


Fig.VI.25 – Variazione giornaliera del flusso energetico (Kcal/m^2) tra la superficie esterna (immagine di sinistra) ed interna (a destra) della parete monitorata. In entrambi i grafici sono riportati i 5 andamenti energetici, ossia le quattro configurazioni di schermatura testate e quella della parete nuda. (Fonte: HOYANO, AKIRA, op. cit., p.195)

Schermatura tramite rivestimento vegetale esposto ad Ovest e stima della riduzione del carico di picco dell'impianto di climatizzazione

Sperimentazione simile alle precedenti fu eseguita nel 1999 da Di e Wang⁵⁰. Essi monitorarono l'effetto di una parete della Tsinghua University Library di Pechino (39° LN, Cina), esposta a Ovest e inverdita mediante piante rampicanti. L'esperimento avvenne durante alcune giornate serene nei mesi di giugno e luglio 1996 e 1997. I risultati ottenuti evidenziarono come la temperatura media delle foglie risultasse più alta di quella della parete da esse schermata (fino a 8,2 °C), con una conseguente limitazione del flusso energetico penetrante nell'edificio. Per di più, durante le ore del giorno, la temperatura della superficie fogliare nella chiusura schermata risultava sempre minore di quella della parete edilizia non interessata dai vegetali.

I due studiosi cinesi stimarono che il carico di picco dell'impianto di climatizzazione veniva così ridotto di circa il 28%; venne inoltre misurato uno sfasamento di otto ore nel flusso di calore incidente sulla muratura. Ciò significa che oltre ai già descritti benefici direttamente rapportabili alla presenza della vegetazione, le pareti verdi possono offrire anche una interessante contribuzione in termini di inerzia termica, preziosissima nei contesti a clima caldo.

Schermatura solare mediante rivestimento vegetale su sottosistema metallico

Divergente sia per la scelta dell'esposizione a Sud della parete monitorata che della tecnologia di rivestimento utilizzata, l'esperimento che Zaiyi e Niu condussero sempre nel 1999 a Hong Kong⁵¹ (22° LN). Tale esperienza differisce inoltre dalle precedenti per la scelta della tecnologia costruttiva: per la prima volta venne monitorata una chiusura inverdita mediante tecnologie più moderne e consistente, nello specifico, in un rivestimento di edera alloggiato su una griglia metallica distaccata qualche centimetro dalla parete edilizia retrostante (Fig.VI.26).

I due studiosi, conseguentemente a una serie di calcoli e modellazioni fluidodinamiche, osservarono che la capacità di limitazione del flusso solare incidente su una data parete non isolata è direttamente proporzionale ai parametri che interessano il rapporto di copertura e la densità della superficie fogliare. Il rapporto di copertura è quello tra la superficie rivestita dalle propaggini fogliari di una pianta e la parte che ne rimane sprovvista; la densità di superficie è l'area delle foglie per l'unità di volume⁵². Dalla ricerca emerse che per massimizzare gli effetti benefici della schermatura è necessario avere una copertura vegetale maggiore del 30% (una parete rivestita con una percentuale inferiore al 30% tende a comportarsi come una chiusura sprovvista di qualsiasi inverdimento); anche se un buon compromesso sarebbe rappresentato da una percentuale maggiore al 50%, unitamente a una densità fogliare di 2,5. Gli studiosi stimarono poi che una parete completamente rivestita (rapporto di copertura del 100%) è in grado di ridurre l'apporto solare complessivo del 37%.

⁵⁰ DI, H. F., WANG, D. N., "Cooling effect of ivy on a wall", *Experimental heat transfer*, n.12, 1999, pp.235-245

⁵¹ ZAIYI, LIAO, NIU, J. L., *Study on thermal function of ivy-covered walls*, 6th International IBPSA Conference, 1999

⁵² Tali parametri non sono altro che quelli precedentemente espressi come LAI e FHT: cfr. VI.2.4

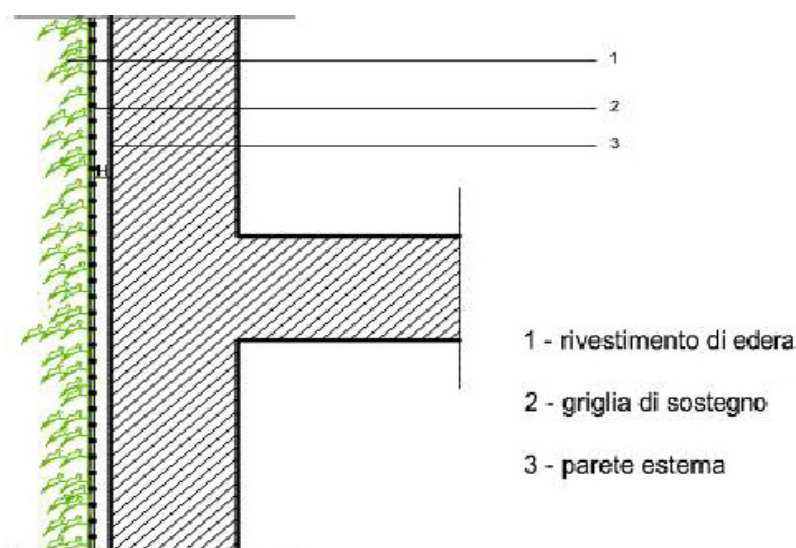


Fig. VI.26 – Schematizzazione della parete rivestita di edera impiegata nell'esperimento di Zaiyi e Niu. Si noti la distanza "H" fra la chiusura edilizia e la griglia metallica di sostegno alle piante. (Rielaborazione da: SIRAGUSA, LUCA, *Prestazioni energetiche dei sistemi di inverdimento verticale*, in bibl., p.4)

Questa ricerca offre uno spunto scientifico supplementare: Zaiyi e Niu dimostrarono infatti che nella particolare configurazione tecnologica indagata, e per quel che concerne la possibilità di limitazione del flusso energetico penetrante all'interno dell'edificio, entravano in gioco anche i requisiti legati al posizionamento spaziale della sottostruttura metallica. Maggiore è il valore H indicante la distanza della rete metallica dalla parete del manufatto, più intenso è il flusso di calore agente sulla chiusura verticale. Questo perché un più elevato valore di H rende più facile la penetrazione dell'aria esterna (più calda nel periodo estivo) all'interno dell'intercapedine formatasi tra la griglia e la superficie del muro: aria calda che, per convezione, aumenta il flusso di calore che raggiunge la parete del manufatto e lo attraversa.

La Costante Verde

Sempre sulla medesima linea di ricerca lo studio intrapreso alcuni anni fa da un team del Politecnico di Torino (responsabili: prof. Gian Vincenzo Fracastoro e prof. Stefano Corgnati). In tale attività vennero monitorate – e lo sono tuttora – delle pareti rivestite da piante rampicanti di diverse specie, con l'obiettivo di valutarne l'eventuale contributo nella riduzione dei carichi termici agenti su un manufatto.

I dati emersi durante le varie campagne di misurazione sono in linea con gli studi precedentemente citati, ossia si sono notate sensibili contribuzioni in termini di contenimento delle temperature superficiali e del conseguente flusso energetico agente sulle chiusure, unitamente a buoni sfasamento ed attenuazione dell'onda termica. Tutti effetti che si ripercuotono positivamente sia sulla possibilità di risparmiare energia in fase estiva che sul comfort degli occupanti.

Infatti, dal diagramma di Fig.VI.27 si può notare come il flusso energetico interessante una parete rivestita di *Rincospermum* durante l'orario di massimo soleggiamento si attesti su valori più

bassi di circa $30\text{-}32 \text{ W/m}^2$ rispetto ad una chiusura sprovvista di rivestimento. Tale differenziale energetico si traduce in discordanze di temperature molto marcate nelle ore calde della giornata. Infatti, sempre dal medesimo grafico si può anche notare come il profilo della temperatura risulti, grazie alla parete rivestita, molto più lineare e con dei valori maggiormente omogenei. La parete nuda presenta un'oscillazione termica tra il giorno e la notte di circa $16\text{-}17 \text{ }^\circ\text{C}$, mentre la parete a verde ha una variazione di circa $5 \text{ }^\circ\text{C}$.

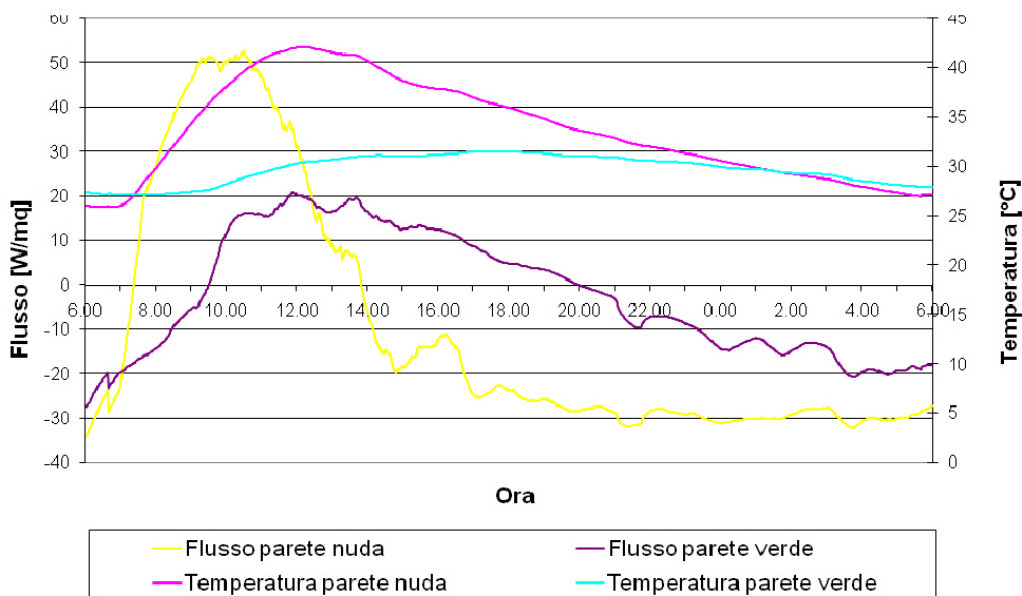


Fig.VI.27 – Differenziale tra flusso energetico e temperatura misurati tra una parete rivestita di *Rincospermum* ed una non rivestita. Dati risalenti al 26 luglio 2007. Il grafico permette di visualizzare il differenziale termico effettivamente messo in gioco dal rivestimento verde. (Fonte: ARIAUDO, FEDERICA *et al.*, “Verso un edificio con pelle verde – Il ruolo del verde nel controllo microclimatico”, in bibl., p.70)

Questa ricerca differisce però dalle altre per alcuni aspetti dei risultati conseguiti, avendo estrinsecato un parametro numerico utile alla stima della possibilità schermante offerta da diverse specie. Possibilità schermante che, come illustrato in precedenza, è proporzionale all'efficienza energetica di una chiusura vegetata.

L'equipe del Politecnico di Torino è infatti riuscita ad approdare alla definizione di una formula matematica che esprime la *Costante Verde*⁵³ (K_v) di ogni specie vegetale. Trattasi nello specifico di un indice numerico che quantifica, per alcune specie vegetali finora analizzate, la loro qualità specifica di maggiore o minore efficienza sotto l'aspetto della limitazione del flusso solare che incide su una parete esposta al sole. La costante verde è diversa per ogni specie vegetale e direttamente dipendente dalle caratteristiche fisiche di ogni pianta.

Le K_v per ora definite dal gruppo di ricerca sono le seguenti: *Actinidia*: 0.36; *Wisteria*: 0.52; *Ampelopsis*: 0.61; *Parthenocissus*: 0.65; *Rincospermo*: 0.69; *Hedera*: 0.82. Tali costanti, come detto, sono in funzione dalle caratteristiche fisiche delle diverse specie vegetali, dove il valore “0” indica che

⁵³ ARIAUDO, FEDERICA, CORGNATI, STEFANO, FRACASTORO, GIAN VINCENZO, RAIMONDO, DANIELA, “Verso un edificio con pelle verde – Il ruolo del verde nel controllo microclimatico”, *CASA & CLIMA*, n.17, gennaio-febbraio 2009, pp.66-72

il rivestimento vegetale non offre nessuna contribuzione alla schermatura (e cioè che la temperatura superficiale di una parete edilizia inverdita è uguale a quella della medesima chiusura non vegetata); mentre “1” indicherebbe totale annientamento del flusso solare incidente (temperatura superficiale della parete uguale alla temperatura dell'aria, cioè piena neutralizzazione dell'effetto dell'irraggiamento solare). Risulta perciò evidente come alcune specie vegetali siano intrinsecamente più performanti di altre.

Il rapporto che descrive la costante verde è il seguente, dove per “Tse” si intende la temperatura superficiale della parete in assenza di verde, “Tsev” è la temperatura superficiale della parete inverdita, “Tae” la temperatura dell'aria esterna:

$$K_v = (T_{se} - T_{sev}) / (T_{se} - T_{ae})$$

L'utilizzo di K_v permette ai progettisti di valutare in modo immediato le varie temperature superficiali caratterizzanti una parete rivestita da piante, una volta che si conoscono la temperatura dell'aria esterna, la temperatura superficiale della parete non inverdita e la K_v della specie vegetale che si intende adoperare, tramite la seguente formula:

$$T_{sev} = T_{se} - K_v (T_{se} - T_{ae})$$

Tale strumento che, probabilmente per primo, tenta di giungere a dati utili nel dimensionamento di un rivestimento a verde, è tuttora in via d'implementazione, con l'obiettivo di definirlo e raffinarlo maggiormente, approdando alla K_v di ulteriori specie. Risulta comunque palese come un mezzo del genere possa essere utile all'architetto durante le fasi di progettazione e selezione delle piante.

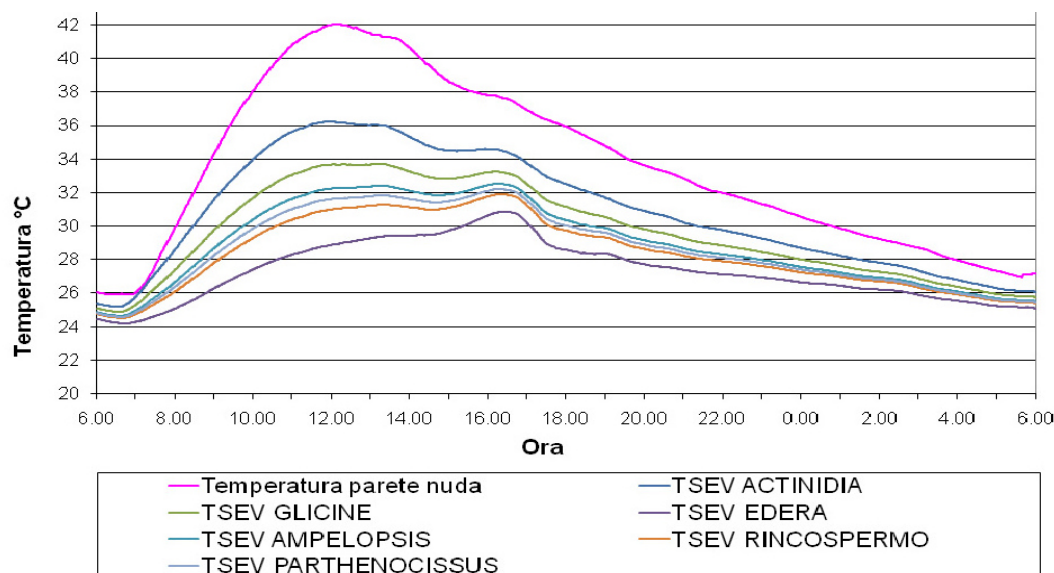


Fig. VI.28 – Il grafico riporta i profili delle temperature superficiali di pareti edilizie rivestite da piante differenti, calcolati utilizzando la K_v . Il calcolo è stato effettuato ipotizzando condizioni al contorno uniformi, con l'obiettivo di dimostrare le differenti potenzialità delle varie specie nell'arco delle 24 ore giornaliere. Risulta evidente che, tra quelle analizzate, l'edera è la più efficiente, mentre l'*Actinidia* quella meno performante. Tutte le pareti inverdite riportano, comunque, delle temperature superficiali inferiori a quella sprovvista di vegetazione. (Fonte: ARIAUDO, FEDERICA *et al.*, “Verso un edificio con pelle verde”, in bibl., p.70)

Gli esiti sperimentali del gruppo di ricerca del Politecnico di Torino nell'applicazione della costante verde, evidenziano che il differenziale di temperatura superficiale rilevato tra parete rivestita e parete nuda nel periodo della giornata recante il massimo carico di soleggiamento diretto (orario 10.00-16.00), per quanto riguarda le varie condizioni di rivestimento studiate, riportano valori inferiori che vanno dai 6 °C – nel caso della specie *Actinidia* – ai 13 °C per quelle recanti l'edera. *Hedera* che, perciò, risulta essere la specie vegetale più performante tra quelle considerate (Fig.VI.28).

Risultati in linea con quelli delle ricerche citate finora sono stati messi in luce anche da altri due studi, svoltisi rispettivamente in Grecia⁵⁴ e in USA⁵⁵. Anch'essi hanno palesato che l'integrazione di un rivestimento verde alle pareti edilizie ne aumenti l'efficienza energetica in regime estivo, contribuendo ad un maggiore comfort interno per gli occupanti, unitamente ad un apprezzabile risparmio energetico globale.

Il rivestimento vegetale finalizzato alla schermatura solare di chiusure trasparenti

Concettualmente simile ai precedenti, ma divergente per quanto riguarda gli obiettivi ai quali si mirava, l'esperimento condotto dagli studiosi Lam, Ip e Miller presso l'Università di Brighton⁵⁶, nel quale fu investigata la possibilità di mitigazione ambientale offerta da piante decidue nella schermatura di superfici vetrate.

L'esperimento consistette nel valutare l'abbassamento della temperatura interna, conseguente all'installazione di uno schermo vegetale davanti ad una finestra. Per l'occasione venne realizzato un telaio metallico mobile, dove furono fatte crescere delle piante di *Virginia Creeper*, specie vegetale che, essendo a foglia caduca, permette ottimali schermatura solare estiva e guadagno energetico invernale. Furono quindi misurate le differenze di temperatura ed umidità relativa tra due ambienti, l'uno schermato e l'altro no. Dall'esperimento si evinse come l'ambiente schermato dalle piante presentasse delle temperature dell'aria minori anche di 5.6 °C (il giorno 20 luglio), e delle umidità relative differenti anche del 13.7% (il 21 settembre). Una maggiore umidità relativa dell'aria contribuisce al mantenimento del comfort interno su livelli più elevati.

Nello stesso esperimento venne anche quantificata la possibilità di schermatura solare nei confronti di una parete cieca, in funzione dello spessore dell'elemento vegetale da essa ospitato. Passando da uno strato fogliare di schermatura a livello unico, fino ad uno composto da cinque strati, la riduzione dell'incidenza della radiazione aumentava dal 37% al 86%. Maggiore massa fogliare si traduce, quindi, in una mitigazione più efficiente dell'irraggiamento solare diretto.

⁵⁴ PAPADAKIS, G., TSAMIS, P., KYRITSIS, S., "An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buildings", *Energy and buildings*, n.33, 2001, pp.831-836

⁵⁵ Steven Sandifer e Baruch Givoni del Dipartimento di Architettura e Progettazione Urbana della Facoltà di Architettura dell'Università UCLA di Los Angeles (USA), hanno testato mediante una serie di esperimenti le possibilità di contribuzione offerte dai rivestimenti vegetali realizzati mediante piante rampicanti. (Fonte: SIRAGUSA, LUCA, op. cit.)

⁵⁶ LAM, M., IP, K., MILLER, M., "Development of bioshaders for office buildings in the United Kingdom", *CIB Student Chapters International Symposium, Innovation in Construction and Real Estate*, The Hong Kong Polytechnic University, settembre 2003

Il rivestimento a verde come schermatura solare collocata nell'intercapedine di una chiusura trasparente a doppia pelle

Uno studio decisamente diverso da quelli finora citati fu condotto nel 2004 da alcuni ricercatori del *TU Delft*⁵⁷. Venne sperimentata la possibilità d'impiego delle piante come schermatura solare all'interno dell'intercapedine di una facciata a doppia pelle "vetro-vetro". Tale monitoraggio fu condotto con l'obiettivo di comprendere se le specie vegetali, grazie alle loro qualità fisiche e fisiologiche, possano essere considerate delle varianti efficaci ai tradizionali sistemi di ombreggiamento solitamente inseriti all'interno delle facciate a doppia pelle, specialmente nei paesi a clima freddo⁵⁸.

Il gruppo olandese, dopo aver vagliato alcune diverse possibilità d'installazione delle piante in intercapedine (ossia: posizionamento di fioriere su elementi rotanti; rampicanti sempreverdi su grata fissa; piante caducifoglie su grata fissa) ed evidenziando vantaggi e svantaggi di ognuna, procedettero all'esperimento di laboratorio col fine di confrontare le potenzialità globali di un sistema schermante a verde rispetto a quelli convenzionali. Tale indagine preparatoria fu utile anche a palesare possibili criticità di alcuni sistemi rispetto ad altri, come ad esempio: una più elevata manutenzione conseguente alla deciduità fogliare; le maggiori dimensioni richieste dall'intercapedine causa l'installazione delle fioriere; l'eccessiva produzione di umidità, che le piante potrebbero procurare in funzione dell'evapotraspirazione dei tessuti nei momenti più caldi della giornata e/o della stagione; eventuali costi di realizzazione maggiori.

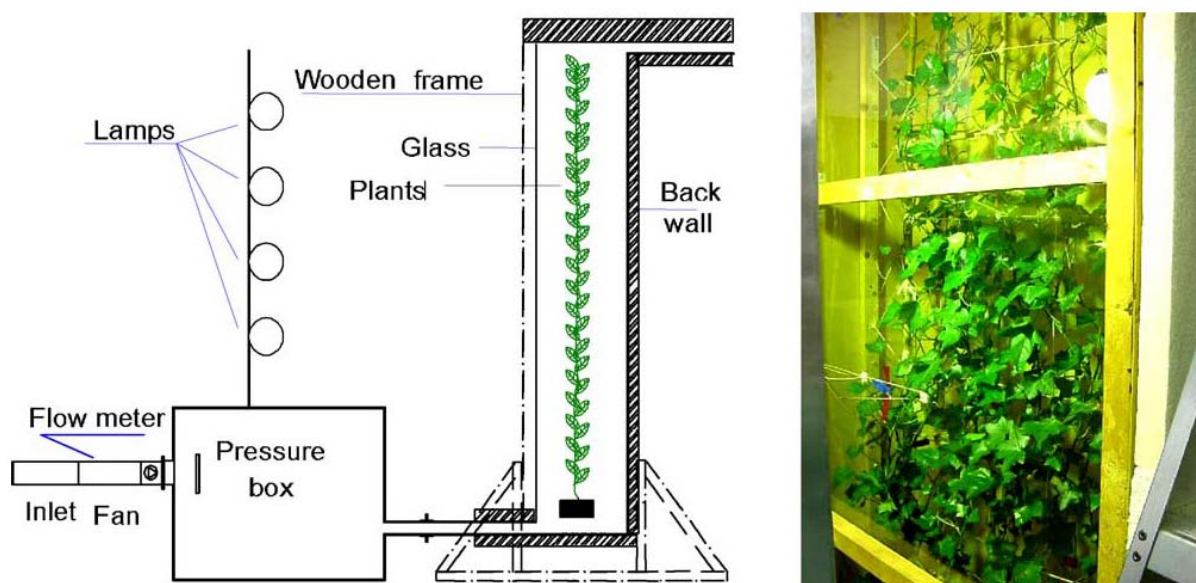


Fig.VI.29 – Condizioni dell'esperimento condotto presso il *TU Delft*. A sinistra è visibile lo schema del prototipo creato per simulare il comportamento della facciata a doppia pelle. A destra una foto del modello realizzato per l'esperimento. (Fonte: STEC, W.J. *et al.*, op. cit., p.422)

⁵⁷ STEC, W.J., VAN PAASSEN, A.H.C., MAZIARZ, A., "Modelling the double skin facade with plants", *Energy and buildings*, n.37, 2005, pp.419-427

⁵⁸ Nelle regioni calde è buona prassi posizionare il sistema schermante all'esterno della facciata: strategia adottata al fine di limitare la possibilità che i frangisole, una volta riscaldati dai raggi solari, vadano a re-irradiare energia nel campo infrarosso surriscaldando l'ambiente.

Venne quindi ricreato un modello di facciata a doppia pelle, all'interno della quale fu messa a dimora una pianta rampicante caducifoglia di *Hedera Helix*. Per riprodurre l'effetto della luce del sole vennero installate delle lampade a spettro solare all'esterno della facciata più esterna (Fig.VI.29). Si procedette quindi con alcune misurazioni di temperatura in diversi punti del sistema a doppia pelle, evidenziando anche il potere schermante delle piante.

Interessanti i risultati dell'esperimento, che dimostrarono come le temperature di tutte le superfici dell'intercapedine irradiata dalle lampade si mantenessero in tutti i casi inferiori a quelle interessate dalla schermatura convenzionale che, per contro, contribuiva ad innalzare la temperatura sia dell'intercapedine che dell'ambiente abitabile (Fig.VI.30). Le temperature minori delle propaggini verdi contribuiscono alla possibilità di mantenere l'impianto di raffrescamento a regimi di lavoro più bassi di circa il 20%, con un derivante e proporzionale risparmio energetico. Degno di nota anche il fatto che le specie vegetali offrano una schermatura solare leggermente più bassa: il fattore G della facciata coi frangisole tradizionali è risultato pari a 0.121, mentre quello delle piante di 0.117. Ciò significa che il comfort luminoso negli ambienti interni è maggiormente favorevole nel caso in cui si utilizzino le piante.









System	Layer ($\Delta T = T_{\text{layer}} - T_{\text{environment}}$ [K])				
	External glass 	External cavity 	Shading 	Internal cavity 	Internal wall 
 No shading	15.0	8.6	7.9	8.0	10.7
 Plants	14.2	8.5	6.4	5.5	6.9
 Blinds	15.1	10.8	12.7	8.3	8.6

Fig.VI.30 – In tabella sono riportati i rilievi termici relativi alle varie zone del modello di laboratorio. Nella prima riga sono riportati i rilevamenti termici effettuati in assenza di schermatura; nella seconda quelli attinenti allo schermo vegetale; nell'ultima quelli dell'elemento schermante convenzionale. Tali valori sono tutti relativi alla differenza tra la temperatura ambiente e quella rilevata in ogni singolo punto del modello. Risulta evidente come le temperature rilevate in presenza dello schermo vegetale siano più basse in tutti i casi considerati. (Fonte: STEC, W.J. *et al.*, op. cit., p.422)

Da notare, sempre nella medesima tabella, che se i differenziali di temperatura tra le piante e il sistema schermante convenzionale sono accentuati, non accade altrettanto tra il sistema verde e la doppia pelle non schermata; si tiene ad evidenziare, però, che la parte non schermata sarà sottoposta ad un carico di soleggiamento passivo costante ed estremamente elevato, a differenza di quanto accade nel caso dell'intercapedine contenente le piante. Tale soleggiamento passivo si tradurrà in un surriscaldamento ambientale maggiore, a cui l'impianto di climatizzazione dovrà sopperire mediante carichi di lavoro più elevati.

La ricerca ha evidenziato come le temperature, in tutte le zone della parete a doppia pelle schermata tramite il sistema vegetale, si siano mantenute più basse rispetto a quelle sia dei sistemi tradizionali che nel caso della totale assenza di schermatura. Le temperature delle propaggini vegetali dell'edera non hanno mai superato i 35 °C, mentre i componenti del sistema schermante convenzionale hanno raggiunto anche i 55 °C. Si possono così registrare delle sensibili diminuzioni di

carico per il sistema di condizionamento in una percentuale stimabile, come detto, intorno al 20%. Inoltre, l'aver optato per l'utilizzo di specie a foglia caduca garantisce un ottimale guadagno termico invernale, molto importante sia nei climi freddi che temperati.

Le esperienze sperimentali riportate nel presente paragrafo hanno fornito risposte incoraggianti. I vari studi scientifici passati in rassegna hanno evidenziato risultati interessanti riguardo alle potenzialità in fase estiva delle tecnologie per l'inverdimento parietale, secondo diversi canoni di ricerca ed obiettivi. Tali ricerche, infatti, seppur con differenti declinazioni dovute alle diverse metodologie adottate, e alle particolarità dei vari contesti di sperimentazione, hanno fornito una serie di dati sufficientemente omogenei in merito alla percentuale di diminuzione del flusso solare agente sulle chiusure edilizie, all'attenuazione dei carichi energetici sia di picco che nell'arco delle 24 ore giornaliere, e alla contribuzione all'abbassamento delle temperature superficiali e radianti degli ambienti. Interessanti anche le caratteristiche di inerzia termica e sfasamento, e quelle riguardanti la diminuzione del consumo energetico relativo a condizionatori meccanici o elettrici.

Ulteriore annotazione riguarda le ricerche volte alla comprensione del comportamento energetico di tecnologie per l'inverdimento parietale maggiormente recenti. Dalla rassegna qui presentata sono emersi due studi indirizzati all'esame di sistemi che si distaccano dal rivestimento vegetale convenzionale, per concentrarsi su tecnologie evolute: trattasi delle esperienze di Zaiyi e Niu (rivestimento a verde alloggiato su una griglia metallica di supporto) e di Stec e Van Paassen (schermatura vegetale posizionata all'interno di una facciata a doppia pelle). Esse risultano particolarmente interessanti e innovative, in quanto iniziarono, in modo del tutto inedito, a porre l'attenzione verso tipologie più evolute, ossia quelle che, nello specifico, caratterizzano il mercato odierno e le prassi architettoniche contemporanee. Sistemi che sottendono maggiore sviluppo tecnologico e complessità costruttiva globale, essendo composti da un più elevato numero di componenti e materiali diversi, richiedenti quindi una forte complementarità tra la componente tecnologica e le parti vegetali.

Oltre a ciò, i sistemi evoluti presentano spesso la necessità di portare in quota delle considerevoli quantità di substrato. Tale fatto, vista l'elevata inerzia termica che materiali come terreno e torbe possono vantare, contribuisce in notevole misura a migliorare l'inerzia termica globale della chiusura inverdata, aumentandone l'efficienza estiva. Substrati che, inoltre, per garantire la normale attività vegetativa e i nutrienti alle piante devono essere costantemente – o quasi – mantenuti umidi, in modo da fornire adeguate quote di soluzione idrosalina alle piante; apparato vegetale che, in forza di tale maggiore presenza umida, potrà offrire una elevata attività evapotraspirativa e delle temperature superficiali minori, contribuendo alla mitigazione ambientale. Discorso ulteriore riguarda le sottostrutture tecnologiche: portare in quota dei volumi di substrato richiede dei contenitori supplementari non richiesti nei rivestimenti vegetali convenzionali (ad esempio vasi, moduli di facciata appositamente sviluppati, fioriere, ecc.) che, grazie al loro volume fisico, contribuiscono all'attenuazione del carico solare che altrimenti agirebbe sulle chiusure.

Le questioni riguardanti le tipologie di Verde Verticale più evolute sono state per il momento scarsamente approfondite dalla ricerca scientifica. Ma le questioni e le problematiche ad esse relative incidono pienamente, però, con le prestazioni finali del sistema, in quanto rendono il suo comportamento globale sicuramente più performante, ma anche di più difficile identificazione.

VI.2.5.2. Potenzialità delle chiusure opache inverdite per la limitazione delle dispersioni termiche durante l'inverno

Come dimostrato, l'efficienza in regime estivo dei rivestimenti a verde si attesta su livelli apprezzabili. Purtroppo non avviene altrettanto nel caso invernale. Inoltre, se la ricerca scientifica ha prodotto un discreto numero di studi che avessero l'obiettivo di attestare le effettive potenzialità estive dei rivestimenti vegetali, non si può dire altrettanto per quel che riguarda la stagione fredda: ad eccezione di rari casi non sono tutt'oggi rilevabili studi scientifici che abbiano preso in seria considerazione tale tematica.

Una ricerca condotta in Germania negli anni Ottanta⁵⁹ ha evidenziato come un rivestimento a vegetale possa migliorare, seppur di poco, le caratteristiche di resistenza termica di una chiusura. Tale studio ha riscontrato come l'isolamento offerto dal manto vegetale risulti più efficace in pareti poco isolate (Tab.VI.31), rispecchiando perciò il basso – ma non inesistente – potere isolante dei manti verdi. Non inesistente in quanto «si è notato che durante il periodo in cui la parete non è soggetta a radiazione solare la temperatura superficiale esterna della parete coperta da manto vegetale assume valori sempre leggermente maggiori a quelli che assume la temperatura della parete nuda. Ciò significa che la parete verde potrebbe, d'inverno, presentare un bilancio termico favorevole rispetto a una parete non rivestita da manto fogliare.»⁶⁰

Se da un punto di vista quantitativo è difficoltoso, in questa sede, fornire dei dati che dimostrino l'effettiva contribuzione di rivestimenti vegetali e pareti verdi continue dal punto di vista della resistenza termica delle chiusure verticali, è comunque possibile enunciare delle evidenti caratteristiche vantaggiose relative ad una facciata che ospiti tali tecnologie. Positive caratteristiche che possono giocare un ruolo benefico nella limitazione degli scambi termici fra edificio e ambiente.

Qualsiasi apparato vegetale presenta delle doti intrinseche di resistenza termica, che si tramutano, nel caso specifico, in uno strato aggiuntivo e isolante della parete. Inoltre tale elemento verde, formando una superficie pressoché uniforme creata da rami e foglie contribuisce a limitare gli scambi convettivi, sia dall'esterno verso l'interno che viceversa. Ciò significa che nel primo caso si potrà contare su una protezione della superficie edilizia dalle correnti ventose più fredde che raffredderebbero le murature, mentre nel secondo sarà possibile registrare un'effettiva limitazione dell'irraggiamento infrarosso in uscita dall'ambiente interno: la temperatura interna è più alta, e la fuoriuscita energetica viene bloccata e assorbita dalle foglie che contribuiscono a limitare le dispersioni termiche della chiusura.

A tali considerazioni si aggiunge una terza componente; ossia la limitazione dell'apporto solare, che nei casi illustrati nel paragrafo precedente veniva considerato un fattore negativo, e relativo cioè alla quota-parte di aria ferma che viene trattenuta tra rami e foglie. Ci si riferisce quindi ad uno smorzamento dei moti convettivi che limita ulteriormente le perdite di calore per ventilazione e raffreddamento della parete edilizia, contribuendo al mantenimento della temperatura interna. Una ricerca condotta presso il Politecnico di Torino ha stimato che «la resistenza aggiuntiva (di un rivestimento verde direttamente applicato alla chiusura edilizia, NdA) può valere da 0,2 a 0,3 m^2K/W , a seconda del tipo di pianta e dello spessore dello strato vegetale.»⁶¹

⁵⁹ BAUMANN, RUDI, *Begrünte Architektur*, Monaco, Callwey, 1985. Opera citata in BELLOMO, ANTONELLA, *Pareti verdi – Linee guida alla progettazione*, in bibl., p.15

⁶⁰ ARIAUDO, FEDERICA, FRACASTORO, GIAN VINCENZO, "Il verde parietale e i suoi aspetti architettonici e fisico-tecnici", in bibl., p.89

⁶¹ ARIAUDO, FEDERICA, CORGNATI, STEFANO, FRACASTORO, GIAN VINCENZO, RAIMONDO, DANIELA,

Inoltre non è da dimenticare che delle superfici vegetate, totalmente o parzialmente continue, applicate alle chiusure edilizie possono essere considerate come degli schermi all'azione ventosa agente sulle pareti edilizie, creando una «barriera in grado di diminuire le infiltrazioni d'aria in maniera significativa e quindi di contribuire a diminuire i consumi di energia per il riscaldamento. La consistenza di tale diminuzione è in rapporto a quanto pesano sul bilancio totale di energia le dispersioni per infiltrazione e della velocità del vento nella stagione invernale.»⁶²

Parete	Stratigrafia	K (W/m ² K) valore di trasmissione senza rivestimento vegetale	K (W/m ² K) valore di trasmissione con rivestimento vegetale	Miglioramento ottenuto espresso in %
Parete leggera in legno	1 cm intonaco di gesso 3 cm listellatura 8 cm fibra minerale 8 cm intercapedine 8 mm vetrata	0,32	0,31	3,12
Parete in laterizio isolata	1 cm intonaco di gesso 3 cm isolante 24 cm laterizio alveolare 2 cm intonaco calce-cemento	0,54	0,51	5,56
Parete in laterizio non isolata	1 cm intonaco di gesso 24 cm laterizio alveolare 1 cm intonaco di gesso	1,24	1,16	6,45
Parete in cls	30 cm cls con inerte non poroso senza intercapedine (struttura compatta)	2,06	1,74	15,53
Parete in pietra naturale	30 cm pietra naturale	2,53	2,06	18,58

Tab.VI.31 – Aumento della resistenza termica conseguente all'adozione di un rivestimento vegetale sempreverde, per alcuni tipi di pareti edilizie dalle diverse composizioni e stratigrafie. (Fonte: BAUMANN, RUDI, *Begrünte Architektur*. Tabella presente in BELLOMO, ANTONELLA, op. cit., p.16)

A margine di quanto enunciato si consideri che ulteriori contribuzioni in termini di resistenza termica potrebbero venire messe in gioco dal pacchetto tecnologico di chiusura, specialmente per quanto riguarda i sistemi d'inverdimento di ultima generazione. Questi infatti, come visto nel capitolo V, si compongono di molteplici sottostrutture e componentistiche anche complesse o variegate, che le configurano come dei sistemi compositi e dalle spiccate proprietà tecnologiche. Tali stratigrafie ulteriori – mai riscontrabili nei rivestimenti a verde – consistono in numerosi componenti o sottosistemi (come substrati organici o inorganici anche di considerevole spessore, elementi di supporto che possono essere realizzati anche con materiali polimerici caratterizzati da trasmissioni contenute,

⁶²“Verso un edificio con pelle verde – Il ruolo del verde nel controllo microclimatico”, in bibl., p.68

⁶² PERON, FABIO, “Vegetazione e ambiente costruito: aspetti termoigrometrici”, in bibl., p.80

sottostrutture di ancoraggio simili a quelle delle pareti ventilate) che offrono perciò la eventuale possibilità di integrazione con strati termoisolanti. Grazie a tali livelli integrativi, comunque indispensabili al normale funzionamento del sistema *chiusura verticale vegetata*, si potrà contare su una parete edilizia globalmente molto performante, e che potrà in più beneficiare delle caratteristiche benefiche che solo gli elementi vegetali riescono a garantire.

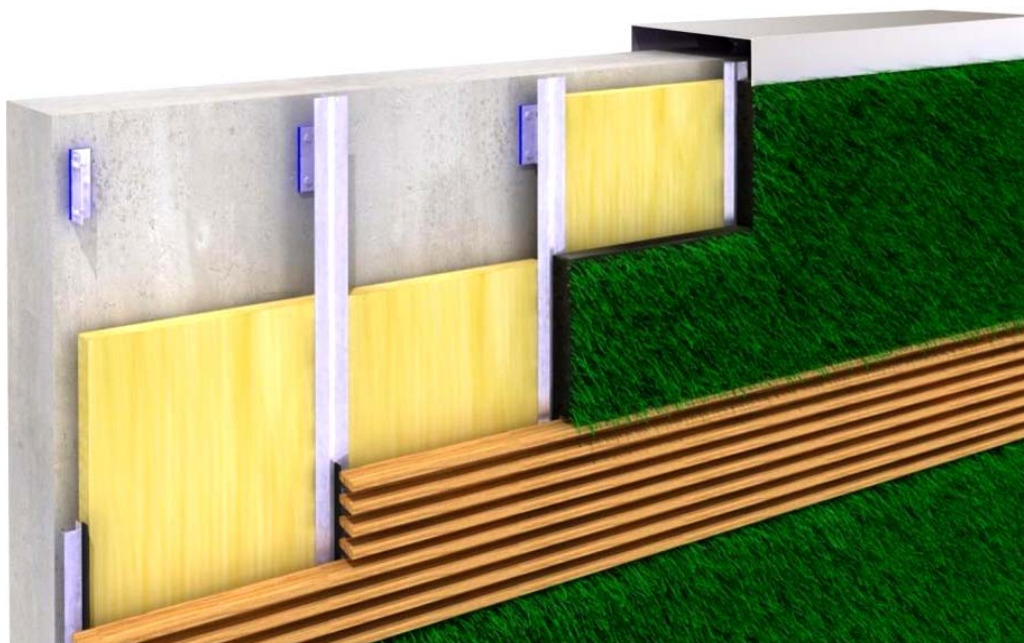


Fig.VI.32 – Spaccato assonometrico del sistema *6.sesto punto* per la realizzazione di chiusure vegetate. La tecnologia per la messa in opera dei pannelli inerbiti deriva dall'implementazione di quella utilizzata per la realizzazione di facciate ventilate. Negli interassi tra i montanti verticali possono trovare spazio, all'occorrenza, dei pannelli termoisolanti. (Fonte: Tecology)

Alle suddette prestazioni positive vanno comunque accompagnate una serie di obbligate considerazioni in merito alle incognite che tale tecnologia, poco indagata sotto l'aspetto prestazionale invernale, porta con sé. Prima fra tutte, appunto, la scarsità di studi scientifici che abbiano tentato di quantificare numericamente i seppur intuitivi ed ovvii benefici.

Altro elemento potenzialmente problematico è che le piante contengono linfa all'interno dei propri tessuti, quindi sono costantemente pervase da un'alta percentuale di liquido linfatico che va a discapito delle prestazioni di resistenza termica. Seppur vero che durante il periodo autunnale-invernale le piante presentano un'attività vegetativa ridotta al minimo (comprese le specie a foglia caduca in cui, però, mancando le foglie è rilevabile un volume ridotto di apparati vegetali), una percentuale di linfa è sempre presente: percentuale linfatica che possiede una scarsa resistenza termica, essendo i liquidi – soprattutto quelli salini – dei buoni conduttori.

Ulteriore fattore svantaggioso risiede nel fatto che i vegetali, ottimale schermo estivo, bloccano la radiazione solare anche nei mesi freddi. In inverno il soleggiamento è basso, ma comunque esistente e potenzialmente utile: la presenza di elementi che impediscano l'acquisizione solare rappresenterà quindi una limitazione dell'apporto energetico penetrante negli ambienti interni per conduzione. Bisogna comunque ammettere che la radiazione invernale è assai limitata riguardo alla possibilità di contribuzione energetica per pareti opache, ed il passaggio di calore all'ambiente interno dipende in

gran parte dalle caratteristiche di conduttività della chiusura edilizia interessata. Perciò, a livello teorico, la parete che risentirebbe in minor percentuale della limitazione dell'apporto solare dovuta alla presenza delle piante è quella esposta a Nord⁶³; anche se, in linea di massima, tale contributo è pressoché trascurabile (soprattutto se rapportato a delle chiusure edilizie che presentano buone caratteristiche di resistenza termica⁶⁴).

VI.2.5.3. Considerazioni a margine delle sperimentazioni descritte

Da risultati sperimentali e considerazioni introdotte negli ultimi paragrafi emerge chiaramente come l'integrazione della vegetazione agli elementi dell'involucro consenta un sensibile miglioramento delle prestazioni energetiche. Tali vantaggi, seppur intuitivi ed in alcuni casi addirittura ovvii, sono comunque estremamente difficili da quantificare proprio a causa delle molteplici caratteristiche e condizioni che, in ogni momento, possono rappresentare delle variazioni legate alle peculiarità vegetative delle piante. Detti risultati incoraggerebbero quindi una più intensa attività sperimentale.

Da notare, per contro, che la maggior parte degli studi riportati sono ancora giovani e numericamente esigui, quindi non ritraggono adeguatamente la grande complessità e l'effettivo stato dell'arte, peraltro in costante fermento. Auspicabili ulteriori sperimentazioni future dovrebbero essere rapportate a svariate situazioni ambientali o contestuali, e ad altrettanti luoghi climatici, in modo da poter fornire una opportuna serie di dati oggettivi o parametrici a supporto dei progettisti.

Fattore importante sarebbe, quindi, quello di rapportare specifico monitoraggio ad ogni nuovo manufatto costruito, sia in sede di progetto che di verifica a posteriori, così da poterne accertare e garantire in tempo reale le effettive prestazioni. Visto il grande aumento riscontrabile sul mercato di soluzioni industrializzate e modulari per la realizzazione di involucri vegetati, e considerata comunque l'estrema difficoltà di correlare ogni specifico caso progettuale ad altrettante sperimentazioni di laboratorio o in loco, assumerebbero grande interesse e valore tecnico-culturale delle rilevazioni effettuate per ogni singolo prodotto commerciale già dall'azienda che li produce, esattamente come accade per altri componenti o sistemi edilizi presenti sul mercato, come ad esempio la certificazione dei pacchetti di chiusura offerti da alcuni produttori, o le prestazioni dichiarate di alcuni materiali edilizi.

Un discorso a parte merita la questione dei costi. Come si evince dalle sperimentazioni descritte, è indiscutibile l'aumento di prestazioni registrabile da chiusure che presentino rivestimenti vegetali, o conseguente all'integrazione tecnologica fra involucro e vegetazione. Tutte tecnologie che, però, hanno un costo iniziale o gestionale che può risultare anche molto alto, nonché mutabile proporzionalmente all'affinamento tecnologico caratterizzante ciascuna delle molteplici varianti tecniche oggi possibili. Si ritiene che tale elevato ammontare economico dovrebbe però essere valutato nel lungo periodo, anche alla luce delle prestazioni offerte dalle tecnologie verdi, quindi ponderando attentamente il ritorno economico conseguente all'impiego di sistemi che, come visto, possono garantire apprezzabili prestazioni.

⁶³ In quanto a Nord non vi è mai la presenza di soleggiamento diretto.

⁶⁴ Come quelle derivanti dalle recenti normative nazionali sull'efficienza energetica: cfr. D.Lgs. 192/2005 e D.Lgs. 311/2006

VI.2.5.4. Una matrice per l'impiego dei sistemi d'inverdimento parietale come schermatura della radiazione solare

Sulla base dei risultati che scaturiscono dagli studi scientifici citati, diviene possibile considerare pienamente le pareti a verde come degli ottimali sistemi per la protezione solare delle chiusure verticali sia opache che trasparenti. Utilizzo che sarà però debitamente diversificato in funzione del fatto che si impieghi una tecnologia piuttosto che un'altra, o conseguentemente alle condizioni di contesto ambientale e stagionale. Di seguito una matrice⁶⁵ finalizzata alla comprensione sia dei differenziati comportamenti di *rivestimenti a verde* e *chiusure verticali vegetate*, che delle specificità prestazionali di ciascuno dei due sistemi (Tab.VI.33).

	CHIUSURA OPACA	CHIUSURA TRASPARENTE	
ESTATE E CLIMI CALDI	<ul style="list-style-type: none"> - Limitazione del flusso energetico trasmesso all'edificio - Inerzia termica esercitata dalla vegetazione - Inerzia termica relativa a substrati e sottosistemi (in funzione del materiale e degli spessori con cui sono realizzati) 	<ul style="list-style-type: none"> - Limitazione del flusso energetico penetrante nell'edificio - Controllo del flusso luminoso (qualità visiva) - Limitazione dell'irraggiamento 	
INVERNO E CLIMI FREDDI	Attenuazione del flusso energetico in uscita	<ul style="list-style-type: none"> - Permette l'acquisizione energetica tramite soleggiamento - Garantisce l'illuminazione naturale 	
	RV e CVV	RV	SISTEMA IMPIEGABILE
	Tutte	Sud, Est, Ovest: la schermatura andrà opportunamente conformata in funzione dell'esposizione ⁶⁶	ESPOSIZIONE
	Sempreverde o decidua (nel caso dei RV si ritiene che risulti sempre consigliabile quella decidua)	Decidua	TIPO DI FOGLIAZIONE

Tab.VI.33 – Matrice per la valutazione dell'impiego delle pareti a verde come elemento schermante della radiazione solare, in funzione delle stagionalità. La tabella illustra le caratteristiche prestazionali e d'utilizzo per i due sistemi di verticalizzazione vegetale, ossia rivestimenti a verde (RV) e chiusure verticali vegetate (CVV): la direzione prevalente del digramma è quella verticale. La prima colonna di sinistra è relativa a clima e stagioni; l'ultima a destra interessa le variabili tecnologiche del sistema.

⁶⁵ Tabella già presente in: BIT, EDOARDO, GIACOMELLO, ELENA, "L'integrazione fra sistemi di involucro e componenti vegetali per la mitigazione ambientale nel clima Mediterraneo", in bibl.

⁶⁶ Cfr. VI.2.3

VI.2.6. Variazione dell'umidità relativa dell'aria

Come visto nei paragrafi precedenti, l'azione biologica compiuta dagli organi delle piante le porta ad avere un'interazione dinamica col clima e con l'atmosfera. Grazie alle attività fisiologiche legate all'evapotraspirazione le specie vegetali riescono ad interagire, oltre che con la temperatura, con l'umidità relativa dell'aria. Fatto positivo specialmente per le fasce climatiche caratterizzate da climi caldi-secchi o aridi, tipiche ad esempio delle nazioni della fascia mediterranea. Il problema della scarsa presenza di vapore acqueo in atmosfera è inoltre proprio dei microclimi urbani, che solitamente presentano delle percentuali di umidità inferiori a quelle delle zone non urbanizzate, a causa del già citato fenomeno dell'isola di calore.

Le piante abbassano la temperatura ambientale grazie all'evapotraspirazione, trasformando l'energia termica in vapore acqueo: il contro-effetto dell'azione evapotraspirativa è un innalzamento dell'umidità relativa in atmosfera. L'aumento della umidità relativa è un fattore benefico nei climi caldi e secchi, poiché procura all'essere umano una percezione termica più bassa – e quindi maggiormente confortevole – di quella che è l'effettiva temperatura a bulbo secco⁶⁷ registrabile in un dato spazio. Per contro, l'innalzamento del livello di umidità relativa sarebbe un problema nei climi caldi e umidi, dove la percezione di calore verrebbe aggravata a causa di una percentuale di vapore acqueo che andrebbe ad attestarsi al di fuori dei normali livelli di comfort.

La variazione di umidità relativa ambientale, dovuta alla presenza di vegetazione, non è difficoltosa dal punto di vista della quantificazione – in botanica esistono delle tabelle che indicano per ogni differente specie vegetale la sua capacità di introdurre vapore in atmosfera, misurandola in grammi di acqua –, ma si rivela problematica per quel che ne riguarda l'utilizzo e il dimensionamento a fini progettuali. Si ritiene comunque che la conoscenza del fenomeno potrebbe essere utile nel sensibilizzare il progettista ad una progettazione tesa al maggior comfort possibile, e coadiuvarlo nel tentativo di migliorare le condizioni microclimatiche di un dato spazio sia esterno che interno.

Inoltre, per quel che riguarda tale specifica azione di condizionamento ambientale, entrano in gioco le effettive entità e dimensioni di uno spazio inverdito, in rapporto a quello da condizionare: la possibilità di modificazione dell'umidità relativa ambientale è infatti proporzionale alla dimensione dello spazio sia *condizionante* che *condizionato*. Risulterà perciò apprezzabile una variazione di umidità relativa nei casi di grandi aree verdi che agiscono in zone urbane; oppure nell'eventualità di piccole zone vegetate o alberate che agiscono in spazi confinati, come ad esempio nelle corti o all'interno di un edificio⁶⁸; oppure nel caso si utilizzassero chiusure inverdite in ambienti chiusi o semiaperti di ridotte dimensioni.

VI.2.7. Indirizzamento dei flussi ventosi

La pratica della disposizione di specie arboree e arbustive finalizzata al controllo o alla mitigazione di flussi ventosi, costituisce una delle modalità storizzate della disciplina bioclimatica per la modifica del microclima negli spazi aperti, con l'obiettivo dell'ottenimento del comfort. Gli spostamenti d'aria a

⁶⁷ La temperatura a bulbo secco è quella misurata da un termometro comune: uno di quelli che solitamente si posizionano all'esterno. Tali termometri sono detti termometri a bulbo. La misura della temperatura a bulbo secco è assolutamente indipendente dall'umidità presente nell'aria.

⁶⁸ Nel capitolo VII verranno trattate le implicazioni relative alla compenetrazione benefica tra edificio e natura.

velocità modeste (brezze) o alte (fenomeni ventosi) sono uno degli elementi microclimatici che maggiormente influenzano la percezione termo-igrometrica, incidendo sul comfort.

Il principio fisico che influenza i volumi d'aria è quello che chiome o cortecce, in funzione delle proprie caratteristiche superficiali e di configurazione formale, aumentano la rugosità aerodinamica del vento al suolo con la conseguente diminuzione del suo flusso. Gli elementi di una massa d'aria che risentono del contatto con gli apparati vegetali sono la velocità e la modifica del suo regime di flusso, che può passare da laminare a vorticoso o viceversa. Tale fenomeno è principalmente caratteristico degli agglomerati vegetali di dimensioni medio-grandi (ad esempio parchi urbani o corridoi ecologici), ma con le dovute proporzioni è pienamente rapportabile anche al singolo edificio.

I risultati ottenibili mediante una mirata ed opportuna collocazione delle specie vegetali in funzione della provenienza del vento, sono di tipologie differenti in base agli effetti desiderati. Essi possono diversificarsi in base alle stagioni, ed hanno l'obiettivo di escludere o includere, all'occorrenza, l'aria in movimento. Sono riassumibili in quattro categorie: *effetto barriera*, tipico delle stagioni invernali o dei climi freddi, quando si voglia bloccare un flusso ventoso a bassa temperatura che potrebbe provocare discomfort alle persone o raffreddare l'involucro edilizio; *effetto filtro*, quando il flusso ventoso debba essere accolto all'interno di un dato spazio ma non nella sua totale quantità volumica o velocità; *deviazione*, se l'obiettivo sia quello di variarne la direzione predominante; *incanalamento*, qualora la finalità sia quella di veicolare un flusso ventoso verso un dato punto nello spazio, magari variandone anche la velocità mediante lo sfruttamento dell'*Effetto Venturi*⁶⁹ (Fig.VI.34).

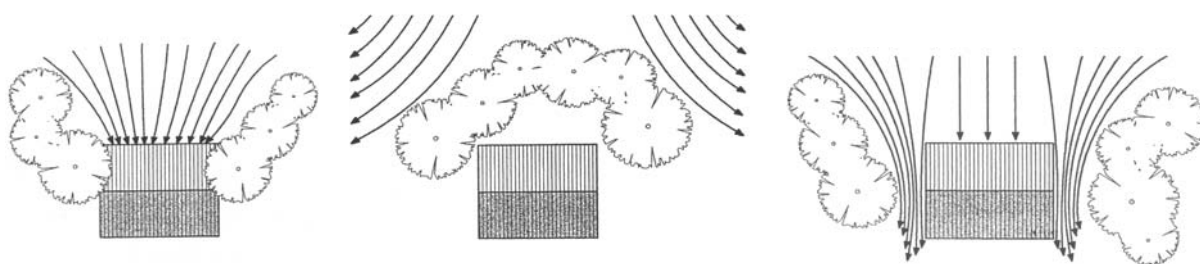


Fig.VI.34 – Esempi di utilizzo della vegetazione arborea come dispositivo di guida (a sinistra), deviazione (in centro) o incanalamento (a destra) del vento. (Rielaborazione da: SCUDO, GIANNI, OCHOA DE LA TORRE, JOSÉ MANUEL, op. cit., p.27)

Il principio dell'indirizzamento dei flussi ventosi, interessando solo a livello generico l'oggetto di ricerca, e cioè per quanto concerne l'impiego strategico delle specie vegetali all'interno del processo progettuale e architettonico, è stato volutamente solo introdotto all'interno del presente capitolo, rimandando per l'eventuale approfondimento al cospicuo apparato specialistico disponibile in letteratura.

⁶⁹ L'*Effetto Venturi* prende il nome dal suo scopritore Giovanni Battista Venturi, ed è quel principio fisico secondo il quale la pressione di una corrente fluida aumenta col diminuire della velocità. In base agli effetti di tale principio, un fluido in movimento – l'aria nel caso specifico – aumenta di velocità nel passaggio da una sezione più grande ad una minore.

VI.3. Vantaggi non prettamente climatici

Nella seconda parte del capitolo verranno presentati quelli che sono stati identificati come elementi benefici, ma *non prettamente climatici*, legati all'utilizzo della vegetazione naturale in ambito architettonico o per le chiusure edilizie. Entreranno nella seguente trattazione alcune argomentazioni legate ad usi diversificati delle piante in ambito sia edificatorio che urbano, ma con accezioni che differiscono dagli argomenti finora analizzati.

Verranno illustrate alcune possibilità prestazionali e non, riconducibili allo sfruttamento strategico della vegetazione ma divergenti dalle precedenti tematiche legate alla sola questione energetica. Si analizzeranno, quindi, le ripercussioni ambientali derivanti dal mirato impiego delle piante, e gli effetti benefici a cui l'essere umano può essere soggetto conseguentemente ad uno stile di vita maggiormente relazionato agli elementi naturali. Trattasi comunque di molteplici potenzialità e benefici tra loro anche molto diversificati, ed agenti sia alla piccola che alla grande scala, ma che, non essendo direttamente riconducibili alla gestione energetica, sono di difficile quantificazione.

VI.3.1. Controllo del rumore

I sistemi vegetali possono essere estremamente utili anche per la contribuzione all'aumento del comfort acustico negli spazi urbani. Un qualsiasi rumore, sotto forma di onda sonora, disperde la propria energia degradandosi per attrito e trasformandosi in calore quando incontra un ostacolo: le propaggini vegetali delle piante, composte da elementi quali rami, foglie, tronco, unitamente al substrato sul quale insistono, influenzano la quantità di energia smorzata e quindi contribuiscono al miglioramento della qualità acustica degli spazi confinati.

Come dimostrato da una ricerca dell'Università di Sheffield⁷⁰, in luoghi aperti con delimitazioni a riflessione sonora diffusa, il riverbero è molto più corto e l'attenuazione del suono è maggiore che in spazi aperti con delimitazione a riflessione geometrica. La tipologia di riflessione sonora dipende in gran parte dalle caratteristiche dei materiali che un suono incontra nel suo percorso. Ne consegue che «nel caso di facciate e pavimentazioni urbane su cui anche solo il 20% dell'energia incidente venga riflesso in maniera diffusa, il campo sonoro [...] è simile a quello risultante da delimitazioni a riflessione totalmente diffusa. Ciò significa che un incremento anche minimo della diffusione in una piazza, in cui le riflessioni sono per lo più speculari, può essere di grande beneficio»⁷¹. Questo comporta che la presenza di apparati naturalizzanti sulle facciate degli edifici o sul suolo aumenta la diffusione sonora, e la conseguente capacità di assorbimento superficiale da parte degli elementi confinanti gli spazi, riducendo così il rumore presente e percepito grazie ad una dispersione dei suoni⁷².

Le medesime considerazioni hanno condotto al concepimento delle barriere vegetate anti-rumore, molto presenti, ad esempio, nella rete autostradale nazionale. In tali tipologie di barriera acustica, la collaborazione sinergica tra elementi vegetali e pacchetto tecnologico composito contenente substrati e sottostrutture varie, garantisce delle buone caratteristiche di attenuazione sonora (Fig.VI.35 e Fig.VI.36).

⁷⁰ KANG, JIAN, ZHANG, MEI, Acoustic simulation and soundscape in urban squares, in bibl.

⁷¹ KANG, JIAN, "Paesaggio sonoro e comfort acustico negli spazi urbani aperti", in bibl., pp.60-61

⁷² KANG, JIAN, ibid.



Fig.VI.35 – A sinistra. Le barriere inverdite offrono buone caratteristiche di mitigazione acustica, in quanto possono contare sulla collaborazione sinergica tra le piante, la notevole massa garantita dal substrato, e le varie sottostrutture che li compongono. Inoltre, grazie alla presenza dei vegetali su entrambi i lati, permettono delle interessanti possibilità di inserimento paesaggistico.

Fig.VI.36 – A destra. Anche la tecnologia della terra armata garantisce apprezzabili doti di mitigazione acustica, contemporaneamente a delle buone possibilità d'integrazione paesaggistica.

Tale concetto è impiegabile anche nel caso delle chiusure verticali vegetate⁷³. Grazie alla complessa stratigrafia che le compone ed in funzione degli elementi e delle sottostrutture che le caratterizzano, esse possono fornire una considerevole contribuzione al miglioramento delle prestazioni di fono-isolamento e fono-assorbenza, sia per gli edifici che negli spazi confinati interni o esterni. In quelle tipologie, entrando in gioco tutta una serie di materiali e componenti diversi tra loro (ad esempio i substrati, le sottostrutture di ancoraggio, i vari strati termoisolanti, ecc.), è potenzialmente riscontrabile una possibilità di contribuzione alla qualità acustica spaziale: purtroppo però non sono attualmente riscontrabili in letteratura adeguati studi che mettano in evidenza le peculiarità acustiche di nessun sistema presente sul mercato. Lo stesso discorso non è invece valido per i sistemi convenzionali di rivestimento a verde in quanto, in seguito a delle misurazioni effettuate su una parete inverdita mediante piante rampicanti aggrappate direttamente alla superficie muraria, si è calcolato che essi possono «abbattere solo 1 dB dal livello sonoro prodotto da una sorgente distante 10 m»⁷⁴.

Infine, parametro non trascurabile nella sensazione di rumorosità relativa all'impiego della vegetazione negli spazi, è la modalità di percezione sonora (comunque soggettiva) legata al fruscio che le foglie producono qualora movimentate da un flusso d'aria. Tale fruscio apporta una contribuzione nel mascheramento della rumorosità percepita all'interno di uno spazio, in quanto il lieve rumore prodotto dalle propaggini vegetali in movimento – come accade anche per lo scorrere dell'acqua – è solitamente valutato positivamente dalle persone.

⁷³ Cfr. VII.2.1

⁷⁴ BELLOMO, ANTONELLA, op. cit., p.10 (citando a sua volta dati reperiti in BAUMANN, RUDI, *Begrünte Architektur*, Monaco, Callwey, 1985)

VI.3.2. Modifiche della composizione dell'aria e assorbimento delle polveri sottili

Le modalità in cui le specie vegetali interagiscono con l'atmosfera terrestre, giocando un ruolo attivo negli equilibri della composizione dell'aria, sono tutte imputabili alle caratteristiche fisiche e all'attività fisiologica delle piante. Le potenzialità benefiche ed ambientali derivanti dall'utilizzo dei sistemi vegetali possono essere suddivise, per quel che riguarda l'equilibrio atmosferico, in base al fatto che dipendano dalla loro fisicità (corteccia, rami e foglie: funzioni *passive*) o che derivino dalle attività che tali piante svolgono durante le normali prassi vegetative (funzioni *attive*). Alla prima categoria si potranno associare benefici come la filtrazione dei particolati solidi e inquinanti solitamente derivanti dall'attività antropica, mentre alla seconda afferiscono l'assorbimento di sostanze gassose inquinanti (Tab.VI.37), la fotosintesi clorofilliana che si traduce nella produzione di ossigeno conseguentemente alla sottrazione di CO₂ dall'atmosfera (Tab.VI.38), la «fissazione dei batteri dall'aria»⁷⁵, finanche alla possibilità di utilizzare la vegetazione come indicatore di sostanze inquinanti presenti in un dato luogo.

INQUINANTE	QUANTITÀ ABBATTUTA
Monossido di carbonio (CO)	2.500 µg/m ² ora
Cloro (Cl)	2.000 µg/m ² ora
Fluoro (F)	100 µg/m ² ora
Ossidi di Azoto (NO)	2.000 µg/m ² ora
Ozono (O ₂)	80.000 µg/m ² ora
PAN	2.000 µg/m ² ora
Anidride Solforosa (SO ₂)	500 µg/m ² ora
Ammoniaca (NH ₃)	400 µg/m ² ora

Tab.VI.37 – Riduzione di inquinanti in atmosfera nell'intorno della vegetazione. (Rielaborazione da: GERI, VINCENZO, *Progettare l'ambiente – Progettare nell'ambiente*, in bibl., p.385)

TIPO DI VEGETAZIONE	SUPERFICIE FOGLIARE (m ²) PER OGNI m ² DI SUPERFICIE
Erba (altezza di 3 cm)	6
Erba (altezza di 6 cm)	9
Prato con erba di altezza 60 cm	Fino a 225
Tetto d'erba non tagliato	Più di 100
Vite vergine in facciata (sp. 10 cm)	3
Vite vergine in facciata (sp. 20 cm)	5
Edera in facciata	11.8

Tab.VI.38 – Quantità di ossigeno prodotte da diversi tipi di inverdimento. (Rielaborazione da: GERI, VINCENZO, *Progettare l'ambiente – Progettare nell'ambiente*, in bibl., p.384)

⁷⁵ SCUDO, GIANNI, OCHOA DE LA TORRE, JOSÉ MANUEL, op. cit., p.39

Interessante è la capacità degli apparati fogliari di filtrare le polveri atmosferiche, sia direttamente che indirettamente⁷⁶. *Direttamente* in quanto le propaggini vegetali riescono ad intercettare e trattenere polveri o particolati sottili (meglio conosciuti con l'appellativo di *PM 10* o *PM 2.5* in funzione del loro diametro particellare) che si trovano nell'aria. Queste sostanze sospese⁷⁷, depositandosi sugli apparati delle piante (Fig.VI.39) ne rimangono intrappolate: col trascorrere del tempo e conseguentemente alle precipitazioni meteoriche i particolati catturati vengono dilavati e rilasciati a terra; una volta a contatto con la superficie del terreno sono da questo introiettati, perdendo così la loro pericolosità per l'essere umano che si manifesta esclusivamente per via respiratoria.

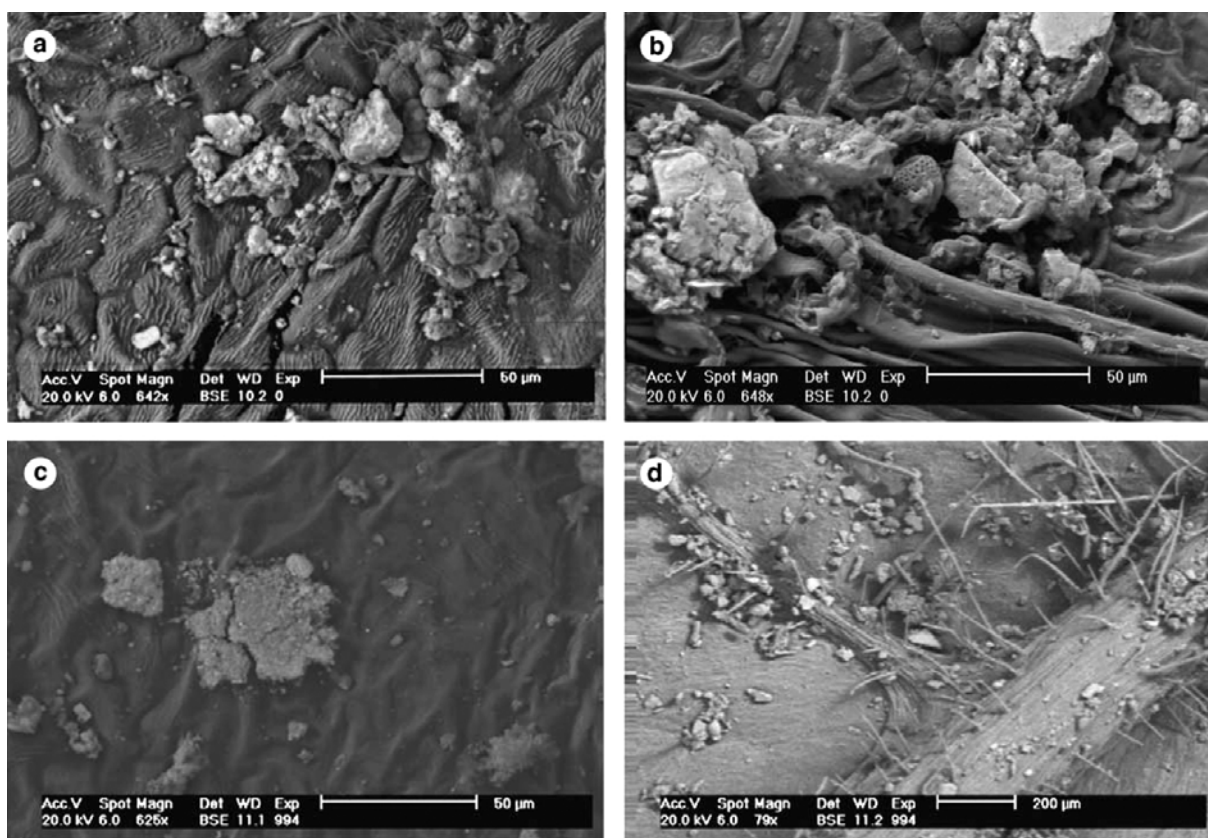


Fig.VI.39 – Fotografie al microscopio elettronico scattate presso il giardino botanico di Belgrado (Serbia), raffiguranti delle nano-particelle depositate su alcune fronde vegetali. Nelle due immagini in alto, da sinistra verso destra, sono rappresentate le superfici *adassiale* (pagina superiore della foglia) ed *abassiale* (pagina inferiore) di un *Aesculus hippocastanum*. Sotto, nella medesima direzione, le parti *adassiale* e *abassiale* di una foglia di *Corylus colurna*. L'immagine dimostra come gli apparati vegetali riescano ad intrappolare i particolati atmosferici. (Fonte: TOMAŠEVIĆ, M. *et al.*, “Characterization of trace metal particles deposited on some deciduous tree leaves in an urban area”, in *bibl.*, p.755)

Fattori discriminanti in merito alla capacità degli elementi vegetali di imprigionare i particolati, sono la tipologia, la dimensione e la forma. Le parti che influenzano la capacità di trattenere gli

⁷⁶ ABRAM, PAOLO, Giardini pensili – Coperture a verde e gestione delle acque meteoriche, in *bibl.*, p.61

⁷⁷ Il particolato atmosferico è costituito da sostanze di origine diversa allo stato solido o liquido (sabbia, sali, ceneri, polveri, fuliggine, sostanze vegetali, composti metallici, elementi come il carbonio o il piombo, ecc.) che derivano da processi di combustione e da prodotti di reazione dei gas. Tali sostanze, a causa delle loro dimensioni ridotte, rimangono sospese nell'atmosfera per un tempo variabile.

inquinanti sono: le superfici di impatto legnose (corteccia e rami) in relazione alla loro rugosità e spugnosità, la sommatoria delle aree fogliari, gli spazi interstiziali che si vengono a creare all'interno del volume della chioma, le caratteristiche fisiche e chimiche della superficie della foglia, e la *potenzialità stomatica* (intesa come capacità di assorbimento fogliare)⁷⁸.

Viste le qualità puramente fisiche che interessano tale capacità, è evidente come le piante sempreverdi possano vantare una maggiore efficienza temporale, poiché possono contribuire alla riduzione dell'inquinamento durante l'intero l'arco dell'anno. Per contro, è da considerare che le specie decidue presentano un altro vantaggio: le foglie cadendo a terra depositano con maggiore facilità nel terreno le polveri accumulate durante la stagione vegetativa, garantendo un più facile smaltimento del particolato da parte dei substrati.

La capacità di filtrazione atmosferica *indiretta* risulta conseguentemente alla capacità vegetale di accumulare minore radiazione solare rispetto ad una qualsiasi altra superficie minerale, nonché grazie alla naturale riflessione solare degli apparati fogliari: i tessuti vegetali presentano in tutti i casi minori temperature superficiali e radianti. Si viene perciò a creare un più basso quantitativo di moti convettivi localizzati in prossimità delle foglie, con una conseguente minor movimentazione aerea di particelle.

Contribuzione degli elementi arborei nella riduzione delle particelle sospese

Una ricerca condotta in Cina⁷⁹ si è posta l'obiettivo di misurare quanto dei filari alberati sempreverdi, posti ai due lati di una grande via di comunicazione nella città di Shanghai, potessero contribuire all'abbattimento del carico di particelle totali sospese (TSP). Tale studio volle inoltre comprendere quali siano i parametri che hanno maggior peso nella riduzione dei particolati.

Interessanti i risultati, che evidenziarono come gli alberi abbiano una effettiva ed apprezzabile azione nell'abbattimento degli inquinanti atmosferici. Il gruppo di ricerca cinese giunse alla conclusione che una "cintura verde" ai lati di una grande via di comunicazione inserita in una metropoli in forte espansione come Shanghai, gioca un ruolo notevole nella rimozione dei TSP. La percentuale totale di inquinanti rimossi è stata maggiore in estate ed autunno, mentre più bassa nelle due rimanenti stagioni (Fig.VI.40). Nel quantitativo di TSP rimosse giocano un ruolo importante la densità delle chiome (in percentuale direttamente proporzionale: ciò significa che più una chioma è densa maggiore sarà la sua contribuzione all'abbattimento delle TSP) e la rugosità della corteccia (in percentuale inversamente proporzionale: contrariamente a quanto si potrebbe forse pensare, una corteccia maggiormente rugosa si rivela meno efficiente sotto l'aspetto della rimozione delle particelle sospese). Lo studio in questione stimò che la proporzione ottimale d'inverdimento sia del 70-85% per quanto concerne la densità delle chiome, mentre del 25-33% per la rugosità delle cortecce.

⁷⁸ MONTACCHINI, ELENA, BOUVET, DANIELA, op. cit., p.55

⁷⁹ SHAN, YIN, JINGPING, CAI, LIPING, CHEN, ZHEMIN, SHEN, XIAODONG, ZOU, DAN, WU, WENHUA, WANG, "Effects of vegetation status in urban green spaces on particle removal in a street canyon atmosphere", *Acta Ecologica Sinica*, n.27, 2007, pp.4590-4595

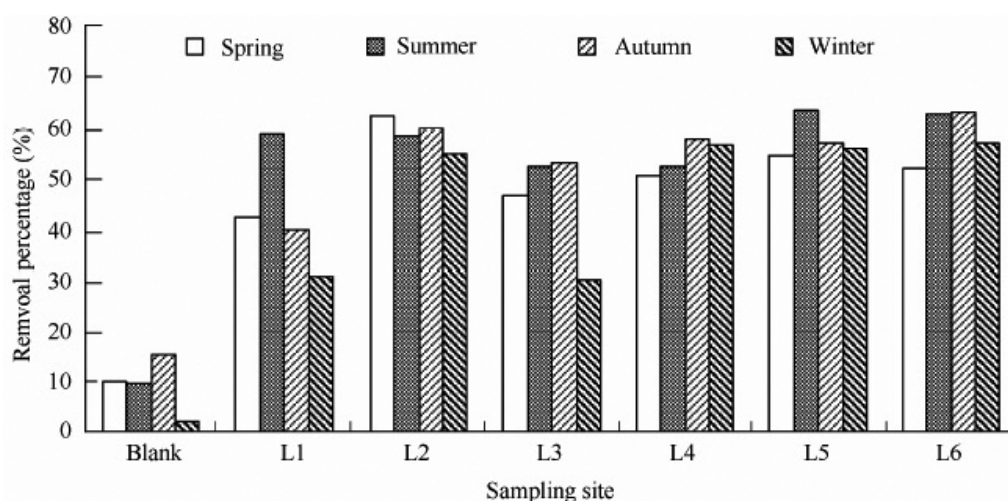


Fig.VI.40 – Percentuale di rimozione di TSP nelle differenti stagioni, misurate nelle varie stazioni di campionamento. Nella prima colonna a sinistra, i valori rilevati presso una stazione dove la vegetazione non era presente. (Fonte: SHAN, YIN *et al.*, “Effects of vegetation status in urban green spaces on particle removal in a street canyon atmosphere”, in *bibl.*, p.4593)

La conclusione del gruppo di ricerca fu che, «specialmente per quelle conurbazioni che presentano un limitato spazio urbano, senza quindi la possibilità di realizzarvi degli spazi verdi di grande scala, si è dimostrato come grazie alla presenza degli alberi vi si possano comunque apportare dei benefici ecologici ed ambientali.»⁸⁰

Un altro studio, questa volta europeo, ha dimostrato sostanzialmente i medesimi risultati. Misurazioni effettuate presso una statale Svizzera nel 1981, giunsero alla conclusione che una siepe di 1 m di altezza e 75 cm di spessore può ridurre del 50% il carico di piombo precedentemente rilevabile nell'aria, grazie all'effetto filtrante diretto e indiretto offerto dalle propaggini fogliari⁸¹.

Contribuzione vegetale alla diminuzione dell'inquinamento dell'aria

L'USDA, ossia il Servizio Forestale Americano, ha palesato come la vegetazione urbana possa contribuire in modo incisivo a migliorare la qualità dell'aria in città, depurandola da inquinanti di vario genere⁸² (O3, PM10, NO2, SO2, CO). Tale azione depurativa avviene, come visto, conseguentemente ad alcune attività garantite dalla vegetazione, quali il bloccaggio delle polveri imputabile all'azione di foglie e corteccia, e il miglioramento delle temperature che si ripercuote sulla salubrità atmosferica.

La ricerca dell'USDA ha preso in considerazione tutte le città degli Stati Uniti, provvedendo ad una stima sia quantitativa che monetaria del risparmio reso possibile grazie all'azione della vegetazione. Lo studio ha calcolato che conseguentemente all'attività del verde urbano attualmente presente nelle città d'America, si possono risparmiare mediamente 711.000 tonnellate annue di sostanze climalteranti, corrispondenti ad un risparmio medio annuale di circa 3,8 miliardi di dollari. La

⁸⁰ SHAN, YIN, *et al.*, *op. cit.*, p.4594

⁸¹ GERI, VINCENZO, *Progettare l'ambiente – Progettare nell'ambiente*, in *bibl.*, p.384

⁸² NOWAK, DAVID J., CRANE, DANIEL E., STEVENS, JACK C., “Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States”, *Urban Forestry & Urban Greening*, n.4, 2006, pp.115-123

conclusione del Servizio Forestale Americano fu, quindi, che un ottimale sistema di salvaguardia dell'igiene ambientale – che consente peraltro ingenti risparmi economici – è quello di incentivare il più possibile l'inserimento vegetale in ambito metropolitano (Tab.VI.41).

City	%tree cover	% air quality improvement				
		CO	NO ₂	O ₃	PM ₁₀	SO ₂
Atlanta, GA	32.9	0.002 (0.001–0.009)	0.5 (0.1–2.5)	0.7 (0.1–4.4)	0.7 (0.3–2.8)	0.7 (0.1–4.3)
Boston, MA	21.2	0.002 (0.000–0.006)	0.4 (0.0–1.8)	0.6 (0.1–3.4)	0.6 (0.1–1.8)	0.5 (0.1–3.4)
Dallas, TX	28.0	0.002 (0.001–0.008)	0.4 (0.1–2.2)	0.6 (0.1–3.9)	0.6 (0.2–2.4)	0.6 (0.1–3.8)
Denver, CO	26.0	0.001 (0.000–0.007)	0.2 (0.0–1.5)	0.3 (0.0–2.1)	0.4 (0.1–2.2)	0.3 (0.0–2.0)
Milwaukee, WI	19.1	0.001 (0.000–0.005)	0.3 (0.0–1.5)	0.4 (0.1–2.7)	0.4 (0.1–1.6)	0.4 (0.0–2.7)
New York, NY	16.6	0.001 (0.000–0.005)	0.3 (0.0–1.4)	0.4 (0.1–2.6)	0.5 (0.1–1.4)	0.4 (0.1–2.6)
Portland, OR	42.0	0.003 (0.001–0.012)	0.6 (0.1–2.7)	0.8 (0.1–3.7)	1.0 (0.3–3.5)	0.7 (0.1–4.0)
San Diego, CA	8.6	0.001 (0.000–0.002)	0.2 (0.0–0.7)	0.3 (0.0–1.4)	0.3 (0.1–0.7)	0.3 (0.0–1.4)
Tampa, FL	9.6	0.001 (0.000–0.003)	0.2 (0.0–0.8)	0.2 (0.0–1.4)	0.2 (0.1–0.8)	0.2 (0.0–1.4)
Tucson, AZ	13.7	0.001 (0.000–0.004)	0.1 (0.0–1.0)	0.1 (0.0–1.7)	0.2 (0.1–1.2)	0.1 (0.0–1.7)
Washington, DC	31.1	0.002 (0.001–0.009)	0.4 (0.2–2.3)	0.6 (0.1–3.9)	0.7 (0.2–2.6)	0.6 (0.1–3.9)

Tab.VI.41 – Stima della contribuzione percentuale nel miglioramento della composizione dell'aria, fornita dalla vegetazione presente in alcune città d'America. (Fonte: NOWAK, DAVID J. et al., op. cit., p.121)

Azioni fisiologiche delle piante nella riduzione degli inquinanti atmosferici

Nell'azione di miglioramento della qualità atmosferica entrano in gioco anche le proprietà fisiologiche delle piante. Infatti, oltre all'importante fenomeno della fotosintesi, col quale abbattano la CO₂ mentre producono ossigeno in una percentuale direttamente proporzionale alla superficie delle foglie, i vegetali rilasciano anche dei particolari composti organici volatili e naturali (VOC, *volatile organic compounds*⁸³) che svolgono delle azioni utili alla sopravvivenza della specie. I VOC sono delle sostanze sospese «che impartiscono il caratteristico profumo alla pianta e l'aiutano a sopravvivere, attraendo gli insetti impollinatori e proteggendola da condizioni ambientali sfavorevoli, quali temperature e intensità luminose eccessive»⁸⁴.

⁸³ Quelli appena citati sono VOC vegetali (e naturali), ma sono VOC anche tutte le sostanze sospese nell'atmosfera di ambienti esterni o interni, di qualunque natura esse siano.

⁸⁴ Intervista rilasciata dalla dottoressa Rita Baraldi al sito web <http://culturadelverde.imaginenetwork.com>

Uno studio condotto presso il CNR di Bologna (responsabile scientifico: dottoressa Rita Baraldi⁸⁵) ha evidenziato che i VOC⁸⁶ abbiano un ruolo determinante nella chimica atmosferica, contribuendo alla formazione e/o alla rimozione di ozono troposferico, presente negli strati più bassi dell'atmosfera in funzione della concentrazione di sostanze inquinanti antropogeniche (ad esempio traffico veicolare, processi industriali, riscaldamento degli edifici) ed in particolare degli ossidi di azoto (NO_x), contribuendo alla purificazione dell'aria. Per di più, la ricerca ha sottolineato come esistano delle specie vegetali più efficienti di altre nel rilasciare i VOC, e che si rivelano perciò maggiormente funzionali dal punto di vista della mitigazione ambientale, come l'orno (*Fraxinus ornus*), il biancospino (*Crataegus monogyna*) e iliglio selvatico (*Tilia cordata*). Una classificazione delle specie vegetali in base all'efficienza nel miglioramento delle condizioni dell'aria è tuttora in fase di aggiornamento, ma è evidente come tale caratteristica possa rivelarsi un valore aggiunto per l'inserimento delle piante in ambienti antropizzati ed inquinati, mirando magari ad una progettazione di spazi verdi – compresi quindi coperture e pareti vegetate – selezionando le specie da impiegare in base a precise esigenze di igiene ambientale⁸⁷.

La proprietà di riuscire a caricare negativamente gli ioni presenti nell'aria incide notevolmente sulla sensazione di comfort. In funzione delle cariche elettrostatiche presenti in atmosfera, l'aria tende a caricarsi positivamente o negativamente con conseguenze sulla percezione di comfort per l'uomo, che si trova maggiormente a proprio agio negli spazi con preponderanza di cariche di ioni negativi⁸⁸: è infatti largamente riconosciuto che per l'essere umano sia maggiormente confortevole una prevalenza degli ioni negativi rispetto a quelli positivi. Cariche ioniche positive che, peraltro, tendono ad essere sempre in maggioranza negli ambienti confinati, a causa dei materiali edilizi, dell'occupazione degli spazi da parte delle persone o a causa delle apparecchiature elettroniche presenti.

I vegetali hanno la caratteristica di contribuire alla ionizzazione dell'aria, sempre in funzione delle loro attività fisiologiche o vegetative e della loro composizione fisica. Infatti esse vengono largamente utilizzate all'interno di spazi confinati per la loro capacità di controllo sulla qualità dell'aria.

In un'attività progettuale che miri all'integrazione degli elementi naturali all'interno del progetto di architettura, andrà comunque sempre considerato che i sistemi vegetali, oltre a fornire un contributo per la purificazione dell'aria possono anche, per contro, risentire negativamente dell'inquinamento atmosferico al pari di un qualsiasi altro essere vivente. Per questo, essi potrebbero anche venire utilizzati come indicatore ambientale della salubrità di uno spazio⁸⁹, diventando un vero e proprio mezzo previsionale per la comprensione dell'eventuale presenza di sostanze inquinanti o pericolose in un dato ambiente.

⁸⁵ BARALDI, R., RAPPARINI, R., TOSI, G., OTTANI, S., *New aspects on the impact of vegetation in urban environment*. Poster scientifico, 2009. Documento redatto come rapporto dell'attività di ricerca sui VOC emessi dalle piante e da ecosistemi agrari-forestali", svoltasi presso l'Istituto di Biometeorologia del CNR di Bologna. Fonte: http://www.ibimet.cnr.it/Staff/baraldi/Baraldi%20BIMET%20CNRposter_%202009.ppt/view

⁸⁶ Al fine di fugare qualsiasi possibilità di fraintendimento, si precisa che quelli a cui ci si riferisce in questa sede sono esclusivamente i VOC prodotti dalle piante. Possono infatti essere definite VOC anche altre tipologie di sostanze sospese nell'aria, che derivano magari dalla presenza di microrganismi o batteri: anche quelle, essendo effettivamente dei *componenti organici volatili*, possono essere giustamente declinate come VOC, ma non sono di certo favorevoli alla qualità dell'aria e tanto meno benefici per le persone.

⁸⁷ Si rimanda al paragrafo VII.2.5 per l'applicazione alla scala architettonica degli argomenti qui descritti.

⁸⁸ Si pensi alla sensazione di comfort che si prova trovandosi in spazi aperti naturali, come ad esempio in un bosco o nelle vicinanze di una cascata. Tale sensazione benefica è dovuta proprio alla preponderanza degli ioni a carica negativa, che vengono emessi dalle piante o dall'acqua corrente.

⁸⁹ Cfr. NALI, CRISTINA, "Le piante e l'inquinamento dell'aria", in bibl.

VI.3.3. Conservazione della biodiversità

La biodiversità, o diversità biologica, è la «varietà di organismi viventi che abitano la Terra»⁹⁰ o una porzione circoscritta di un dato territorio. Tale concetto andrà quindi inteso come il macrogruppo composto da forme di vita animali e vegetali, presenti in tutti i differenti ambienti ed ecosistemi rilevabili nel nostro pianeta, come quelli marini, terrestri o dell'aria.

Una delle criticità ambientali in questo inizio di secolo è relativa alla costante perdita di biodiversità sull'intero pianeta, essendo questo concetto fortemente legato a quelli inerenti il clima, l'ecosistema globale, la sostenibilità. Solo recentemente si è iniziato a prendere seriamente in considerazione tale problematica, tanto che, durante la *Conferenza ONU su Ambiente e Sviluppo* tenutasi a Rio de Janeiro nel 1992, fu stilata una precisa *Convenzione sulla diversità biologica* (CBD) con l'obiettivo della sua salvaguardia a livello globale. In quella occasione venne deliberato che la diversità biologica consiste in «ogni tipo di variabilità tra gli organismi viventi, compresi, tra gli altri, gli ecosistemi terrestri, marini e altri acquatici e i complessi ecologici di cui essi sono parte; essa comprende la diversità entro specie, tra specie e tra ecosistemi» (CBD, art. 2). Negli ultimi 150 anni, causa l'industrializzazione e le contingenti problematiche ambientali, il massiccio sfruttamento delle risorse, l'alterazione del clima e degli habitat naturali, in tutto il mondo si sta registrando un costante deterioramento della biodiversità, che va a discapito della qualità della vita di persone e specie animali o vegetali⁹¹.

Le funzioni legate al concetto di biodiversità sono fondamentali per gli equilibri ambientali, sia alla scala medio-piccola che a quella globale, in quanto garantiscono il normale svolgimento delle attività terrestri. L'avvicendamento dei cicli biologici e stagionali, il mantenimento della complessità delle specie animali e vegetali presenti⁹². Inoltre vi si possono correlare dei benefici di vario tipo, come quelli economici (essa rappresenta una materia prima per l'agricoltura, la medicina e la farmacia, l'industria, ecc.); benefici ambientali dovuti al mantenimento della qualità degli ecosistemi, che consente all'uomo di fruire di servizi come l'aria pura, l'acqua pulita, la creazione e la protezione del suolo, il controllo di agenti patogeni e il riciclaggio delle scorie; e benefici ecologici, in quanto maggiore è la differenziazione genetica di una specie, maggiore sarà la capacità per la specie stessa di perpetuarsi. Vi sono poi i benefici imputabili alle caratteristiche estetiche delle risorse naturali e quelli derivanti da motivazioni etiche: il rispetto di ogni forma di vita in virtù della sua esistenza.⁹³

La perdita di biodiversità è massima a livello urbano e metropolitano, in quanto il territorio urbanizzato è quello maggiormente compromesso ed alterato dalle attività umane⁹⁴. In tali contesti le specie autoctone vegetali e animali non sono in grado di reperire luoghi favorevoli dove poter colonizzare ed esplicare le proprie normali attività di riproduzione, non riuscendo ad adattarsi. Ciò comporta un grave impoverimento nel numero delle specie riscontrabili; impoverimento che, specialmente per quel che concerne le piante, e contestualmente a quel che riguarda le potenzialità di mitigazione climatica ed ambientale da esse garantite, può provocare ulteriori scompensi o criticità.

⁹⁰ Fonte: <http://www.treccani.it>

⁹¹ La presenza di specie vegetali alloctone o invasive all'interno di una data area geografica si rivela una minaccia per la biodiversità: tale argomento è stato trattato nel paragrafo IV.2.1 all'interno del quarto capitolo.

⁹² Il tasso di perdita di specie selvatiche è drammaticamente aumentato a partire dall'Ottocento, e circa un quarto delle specie conosciute è oggi gravemente minacciato di estinzione. Da un tasso di estinzione naturale atteso di 3 specie l'anno si è passati, negli anni Ottanta del ventesimo secolo, ad un tasso di 1-4 delle specie ogni ora, con una perdita di circa 8.000-27.000 specie l'anno; flore e faune insulari sono più minacciate di quelle continentali.

⁹³ Fonte: <http://www.treccani.it>

⁹⁴ Cfr. IV.3

Spesso gli sconvolgimenti climatici e ambientali si ripercuotono pesantemente sulla biodiversità di un'area, procurando la scomparsa di alcune specie in favore di altre. All'interno di tale contesto si pone il problema dell'alloctonia: tale criticità consiste nel fatto che le specie autoctone sono messe in serio pericolo da quelle alloctone⁹⁵. Il derivante stato di non originalità ambientale, provocato dalle alterazioni climatico-ambientali, si ripercuote sul favoreggiamento dell'invasione da parte di specie non autoctone⁹⁶. Il problema dell'alloctonia è tanto più elevato all'interno di climi o microclimi alterati che, come visto in precedenza, sono tipici dei tessuti urbani o metropolitani a causa del fenomeno dell'isola di calore. Ulteriore aggravante, conseguente alla variazione climatica e di specie, è quello dell'"impoverimento dei suoli urbani": fattore imputabile, a sua volta, alla scarsa biodiversità⁹⁷.

Valutazione dello stato di biodiversità nella metropoli di Pechino

Una ricerca svolta in Cina⁹⁸ con l'obiettivo di investigare gli effetti dell'estensiva urbanizzazione caratterizzante nelle ultime due decadi la città di Pechino, ha dimostrato come all'interno di quel territorio, nel passaggio dalle aree periurbane della periferia a quelle del centro città, si possa registrare una notevole differenziazione nel numero e nella distribuzione delle specie vegetali presenti. La ricerca ha esaminato tre differenti regioni di Pechino (urbana, suburbana e periurbana): dai risultati dello studio emerge come nelle aree marginali meno urbanizzate prevalgano nettamente le specie autoctone, sia come numero totale che come densità; mentre nelle aree maggiormente urbanizzate, e specialmente in quelle a matrice edificatoria suburbana, il numero delle specie alloctone eguaglia praticamente quello delle specie native, anche in questo caso sia come numero totale che come densità (Fig.VI.42). Tale fatto, a detta dei ricercatori cinesi, si traduce nella dimostrazione di come le «le regioni urbane e suburbane soffrono maggiormente della perdita e della frammentazione di habitat dovuta ad uno sviluppo urbano sregolato, mentre le aree periurbane palesano un serio degradamento ambientale recato dal disturbo delle popolazioni locali e urbane.»⁹⁹ Il gruppo di ricerca suggerisce inoltre alcune strategie per la conservazione della biodiversità nelle tre regioni monitorate, riassumibili in: implementazione delle strutture e delle funzioni ecologiche degli spazi verdi nella regione urbana; massimizzazione della preservazione per gli ambienti naturali ancora esistenti nella zona suburbana, unitamente ad un restringimento del turismo rurale; la creazione di riserve naturali nelle aree periurbane. Le citate strategie dovrebbero inoltre agire parallelamente ad una serie di azioni di educazione pubblica, volta all'aumento della coscienza ambientale della popolazione.

⁹⁵ Le specie autoctone sono quelle tipiche e storicamente rilevabili in una data regione geografica. Tale concetto si contrappone a quello di alloctonia: le specie alloctone provengono da altri areali e – spesso a seguito dell'opera volontaria o involontaria dell'essere umano – sono state introdotte in un dato luogo solo in un secondo momento, trovandovi delle caratteristiche favorevoli per la sopravvivenza.

⁹⁶ Alcuni tipi di specie alloctone possono creare problemi a quelle autoctone, limitandone lo sviluppo o addirittura prendendone il sopravvento fino a farle scomparire. Un esempio di contrapposizione tra specie è quello delle coccinelle asiatiche che stanno prendendo il sopravvento su quelle europee. Le specie alloctone che si contrappongono in modo aggressivo a quelle autoctone sono dette invasive: tale argomenti sono stati trattati con maggiore precisione ai paragrafi IV.2.1 e IV.2.2

⁹⁷ Cfr. IV.3.2

⁹⁸ WANG, G., JIANG, G., ZHOU, Y., LIU, Q., JI, Y., WANG, S., CHEN, S., LIU, H., "Biodiversity conservation in a fast-growing metropolitan area in China: a case study of plant diversity in Beijing", *Biodiversity & Conservation*, n.16, 2007, pp.4025-4038

⁹⁹ WANG, G., JIANG, G., ZHOU, Y., LIU, Q., JI, Y., WANG, S., CHEN, S., LIU, H., op. cit., p.4025

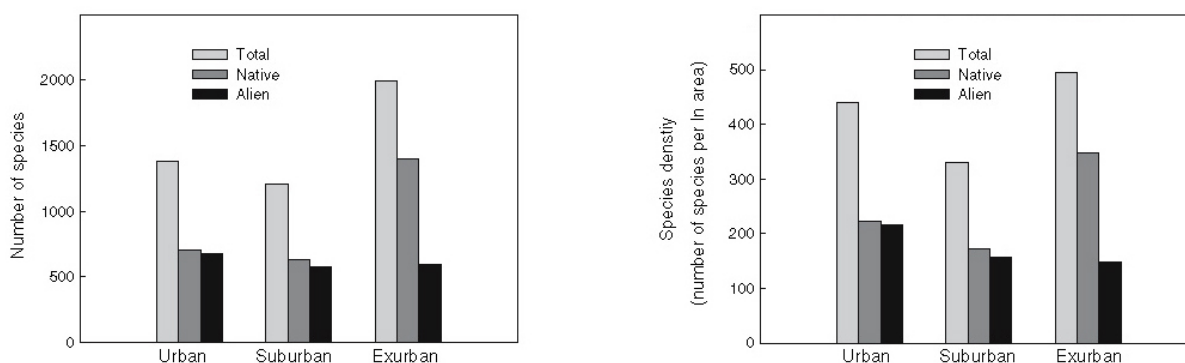


Fig.VI.42 – Nel grafico di sinistra è riportato il numero di specie rilevate nelle tre regioni monitorate della città di Pechino. In nero sono rappresentate le specie alloctone, in grigio scuro quelle autoctone e in grigio chiaro la sommatoria delle due. Nel grafico a destra sono invece illustrate le differenti densità di specie rilevate. (Rielaborazione da: WANG, G. et al., “Biodiversity conservation in a fast-growing metropolitan area in China: a case study of plant diversity in Beijing”, in bibl., p.4031)

In forza di tali conclusioni, è fondamentale che discipline come l'architettura e l'urbanistica si pongano il problema della conservazione delle specie, operando per la loro salvaguardia. A livello normativo internazionale si possono registrare dei tentativi in tal senso, anche se la loro applicazione pratica è tutt'oggi scarsa. Dopo la già citata firma del CBD da parte di 120 nazioni (dove i vari stati firmatari si impegnarono a conservare la diversità biologica del pianeta, promuovendo un uso sostenibile delle sue componenti e una condivisione equa dei benefici che derivano dall'utilizzazione delle risorse, attraverso un accesso appropriato alle risorse stesse e un idoneo trasferimento delle tecnologie rilevanti), la convenzione venne recepita dalla Comunità Europea tramite l'emanazione della direttiva *Habitat 92/43/EEC*; essa promuove iniziative dei paesi membri per la conservazione degli ambienti naturali e seminaturali, della flora e della fauna selvatiche. La direttiva *Habitat* prevede la creazione di una rete europea di zone protette, nota come *Rete Natura 2000*, che possa garantire il mantenimento ed eventualmente il ripristino di circa 200 habitat naturali, ripartiti in cinque regioni biogeografiche (continentale, mediterranea, alpina, atlantica e macaronesica), e proteggere 600 specie di animali o piante a rischio di estinzione in Europa. È palese, comunque, come tali azioni siano molto importanti dal punto di vista ideologico e d'immagine, ma non siano altrettanto incisive da quello pratico.¹⁰⁰

Le superfici vegetate di edifici (tetti e pareti a verde) possono diventare un luogo privilegiato nel favorire un *habitat* adeguato per specie vegetali e animali. Essi infatti, unitamente a spazi verdi e parchi, potrebbero configurarsi come spazio finalizzato al mantenimento della biodiversità in ambito urbano, e configurarsi come delle zone “puntiformi”, funzionali all'avvio di infrastrutture verdi che tendano a creare *corridoi e reti ecologiche*¹⁰¹. Inoltre «uno degli aspetti maggiormente interessanti dei

¹⁰⁰ Il 2010 è stato dichiarato dall'ONU “Anno internazionale della biodiversità”.

¹⁰¹ Il *corridoio ecologico* è un elemento del paesaggio che connette due o più aree di ecosistema naturale. Esso funge da *habitat*, e da canale per lo spostamento di animali o spore. Corrisponde inoltre alla zona entro cui avviene lo scambio genetico tra popolazioni vegetali e animali. Sono esempi di corridoi ecologici le fasce arboree ed arbustive che circondano i margini dei terreni coltivati, i sistemi ripari (ovvero la vegetazione delle fasce di pertinenza fluviale), le fasce arboree ed arbustive legate ad infrastrutture lineari (strade, ferrovie, canali artificiali) ed i corridoi lineari di vegetazione erbacea entro matrici boschive. Tale concetto, storicamente appartenente alle materie che si occupano dello studio dei sistemi naturali, sta venendo trasposto negli ultimi anni, grazie ai principi

tetti verdi, sia dal punto di vista architettonico che da quello ambientale, è la loro capacità di supportare la vita in situazioni che altrimenti si rivelerebbero aride e sterili: nelle aree densamente urbanizzate, dove le grandi superfici naturali tendono ormai a scomparire, questa diviene una funzione vitale. Infatti, non ci sono altre aree urbane dove si possa rilevare una competizione altrettanto bassa per il loro utilizzo e che, allo stesso tempo, siano altrettanto sotto-utilizzate.»¹⁰²



Fig.VI.43 – Esempio di *brown roof*. Si noti la composizione del substrato prevalentemente ghiaiosa, ed una flora vegetale tipicamente selvatica e molto diversa dalle coperture a verde convenzionali. (Fonte: <http://dustygedge.co.uk>)

Interessante esempio di come tali strutture edilizie potrebbero diventare dei “serbatoi di diversità” è quello dei cosiddetti *brown roofs* (Fig.VI.43). Essi consistono in particolari coperture a verde non vegetate dall’essere umano, ma lasciate alla colonizzazione spontanea da parte di piante, uccelli o invertebrati, al fine di agevolare la loro occupazione da parte di animali e piante. Questo perché specie vegetali e animali (autoctone) sono necessariamente collegate ed in equilibrio sia tra loro che con l’ambiente circostante, essendo fondamentali le une alle altre: gli animali traggono giovamento dalle piante ricavandone nutrimento e spazio per nidificare, mentre le piante si servono di insetti e uccelli per riprodursi (insetti e specie volatili servono alla funzione di impollinazione e trasporto dei semi delle piante, consentendo loro di riprodursi; gli invertebrati sono utili alle attività di arieggiamento e concimazione naturali del terreno). Inoltre, un’adeguata quantità di specie autoctone è fondamentale anche per l’auto-mantenimento della diversità biologica, in quanto le specie indigene sono utili alla

delle bioarchitettura, anche ai contesti urbani, al fine di aumentarne la biodiversità: più aree verdi collegate tra loro, e comunicanti a loro volta alle zone naturali che circondano una città, formano un corridoio ecologico. L’insieme di più corridoi ecologici compone una *rete ecologica*.

¹⁰² DUNNETT, NIGEL, KINGSBURY, NOEL, op. cit., p.43

delimitazione dell'insediamento delle specie invasive. I medesimi discorsi potrebbe essere fatti anche col Verde Verticale, soprattutto nell'eventualità si optasse per l'impiego in parete di specie vegetali autoctone.

La promozione della diversità specifica dovrebbe perciò diventare uno degli obiettivi preponderanti nell'attività di pianificazione urbanistica e architettonica, tentando di non commettere errori grossolani: il motivo per cui si è arrivati all'elaborazione della tipologia del *brown roof*, è che era diventato ormai tangibile il rischio che si potesse giungere al «monopolio mondiale delle coperture estensive piantumate a sedum»¹⁰³.



Fig.VI.44 – HUSOS e Francisco Amaro, *GBHNPCB – Casa-Taller Croquis, garden building with host and nectar plants for Cali's butterflies*, Cali (Colombia), 2008. L'edificio, adibito a residenza e studio di progettazione, vuole rappresentare la funzione di «biometro», fornendo dimora e cibo alle farfalle, la cui maggiore o minore presenza in un luogo rappresenta un indice per la misurazione della biodiversità. Nell'immagine di sinistra un elaborato di progetto; a destra la foto del manufatto. A detta del pool progettuale, il fabbricato, dopo due anni dall'inaugurazione, assolve pienamente allo scopo per cui è nato. (Fonte: http://www.husos.info/EN_EJHNC_text.html)

VI.3.4. Attenuazione dell'elettromagnetismo

L'atmosfera è costantemente pervasa da un elevatissimo numero di onde elettromagnetiche di molteplici nature e lunghezze d'onda. Oltre ai campi elettromagnetici naturali, esiste oggi un elevatissimo numero di campi elettromagnetici artificiali che costantemente pervadono la vita delle persone.

Il dibattito scientifico è molto attivo riguardo alla comprensione se tali campi possano rappresentare o meno un fattore di rischio per la salute umana, e la comunità scientifica risulta spaccata, essendo proporzionalmente suddivisa tra coloro che lo ritengono un rischio e quelli che sono convinti dell'opposto. È comunque difficilmente confutabile che oggi tutte le persone siano costantemente sottoposte ad una grande quantità di *elettrosmog* emesso dagli apparecchi elettrici, elettronici e meccanici che le circondano.

¹⁰³ DUNNETT, NIGEL, KINGSBURY, NOEL, op. cit., p.8

Come non è rilevabile una concezione uniformemente indirizzata verso l'eventualità che tale elettromagnetismo possa essere più o meno deleterio per la vita, non sono altrettanto rilevabili degli studi che confutino o rafforzino una volta per tutte tale convinzione.

Indeterminatezza che si ripercuote anche dal punto di vista normativo. Se fin dagli anni Settanta sono state prese delle contromisure sia sovranazionali (direttive CE) che nazionali e locali (normativa italiana, leggi regionali) finalizzate a prescrivere dei livelli massimi di esposizione umana, o delle distanze minime di fabbricazione dai soggetti grandi emettitori (ad esempio linee elettriche dell'alta tensione, antenne per la trasmissione radiotelevisiva, linee ferroviarie, ecc), tali norme sono comunque valutate come poco restrittive da parte di quella branca della scienza che sostiene che l'inquinamento elettromagnetico sia pericoloso. Visto l'alto numero di leggi e decreti che riguardano tali argomenti sotto tutti gli aspetti, ed i casi che ogni giorno possono riguardare la vita e l'esposizione delle persone, ci si limita in questa sede a citare solo alcuni casi a titolo di esempio.

La Regione Veneto ha emanato in data 17 luglio 1993 una legge che fissa a 150 m la distanza minima dei fabbricati dagli elettrodotti che superino i 380.000 Volt. Il D.M. 381/98 fissa a 6 V/m il limite di esposizione umana ad elettromagnetismo prodotto da ripetitori per la telefonia cellulare con permanenze superiori alle quattro ore, e a 20 V/m lo stesso limite con permanenza inferiori alle quattro ore. Come già enunciato, tali limiti risultano ancora poco restrittivi per quelle organizzazioni che si occupano di studiare la pericolosità dell'argomento: autorevoli associazioni come l'ICEMS (*International Commission for the Electromagnetic Safety*) e la IARC (*International Agency for Research on Cancer*) propongono come limiti di esposizione per l'interno delle abitazioni dei valori che si attestano sui 0,2 μ T per quanto riguarda il campo magnetico e 0,2 V/m per quelli elettrici.

La vegetazione in sé non ha un grande potenziale di abbattimento delle onde elettromagnetiche, se non per quel poco che può essere garantito dalla proprietà schermante delle parti fisiche che la compongono. Gli unici elementi che possono garantire un contributo positivo in tal senso sono i componenti tecnologici e i materiali che realizzano i vari sistemi di chiusura vegetata, e specialmente relativamente alle tipologie più evolute. Infatti, la disomogeneità materica delle superfici verticali e l'elasticità di alcune delle stratigrafie appartenenti a detti sistemi, possono fungere da barriera all'elettromagnetismo. Inoltre, saranno soprattutto quei sistemi che contengono dei considerevoli spessori di substrato a garantire un buon comportamento nell'attenuazione delle onde elettromagnetiche¹⁰⁴. Considerazioni queste che, seppur intuitive e sicuramente valide possono rappresentare solamente delle raccomandazioni di buon costruire in quanto, allo stato dell'arte scientifico, non è rilevabile un adeguato apparato di studi specifici che abbiano approfondito tali tematiche, pervenendo ad una quantificazione oggettiva dell'abbattimento elettromagnetico prodotto dai sistemi vegetali o da quelli di verde pensile, se si esclude un'unica ricerca eseguita in Germania¹⁰⁵.

¹⁰⁴ Si pensi alla dicitura di "messa a terra" utilizzata in elettronica per definire delle aree neutralizzanti il campo elettrico. Tale dicitura rappresenta esattamente il concetto che esprime, in quanto il terreno è un ottimo elemento schermante dell'elettromagnetismo. Infatti, il modo più efficiente per schermare le linee elettriche ad alta tensione consiste proprio nel loro interrimento.

¹⁰⁵ Uno studio eseguito presso l'Università tedesca di Kassel (responsabile scientifico prof. Gernot Minke) ha evidenziato come «una copertura a verde con 15 cm di spessore di substrato riduca le onde elettromagnetiche emesse dai telefoni cellulari comuni (1,9-2,7 GHz) per più del 99%». (Fonte: *SEIC Verde Pensile*)

VI.3.5. Produzione di biomassa

Per *biomassa* si intende «la massa della sostanza vivente, espressa come peso secco per unità di volume o superficie, prodotta in un determinato periodo di tempo da una popolazione. [...] Il termine biomassa viene usato anche per indicare il vasto gruppo di materie prime organiche (scarti agricoli, legno, cellulosa, ecc.) che hanno tutte in comune l'origine biologica e che possono costituire il substrato di processi fermentativi atti a ottenere prodotti di pregio (proteine, ecc.) o biogas»¹⁰⁶.

Oggi viene riservata particolare attenzione a tutte le possibili forme produttive che permettano di ottenere energia da origini non fossili, e comunque non convenzionali. Consci del fatto che un organismo vegetale presenti una produzione di biomassa direttamente proporzionale al proprio peso e alla volumetria, risulta d'obbligo in questa sede evidenziare il fatto che una parete a verde, essendo composta essenzialmente da specie vegetali di piccole dimensioni, possa offrire una produzione di materia organica secca limitata¹⁰⁷. Resta comunque interessante illustrare come tale tipologia di pareti possa comunque, una volta in opera, contribuire in qualche modo all'allontanamento, anche se solo in piccola percentuale, della dipendenza dall'energia fossile che caratterizza l'epoca attuale. Dalla normale manutenzione che una chiusura vegetata richiede, si ricaverebbe così la possibilità di non dovere affrontare solamente dei costi, ma anche l'opportunità di ricavare della sostanza vegetale di scarto che potrebbe essere destinata ad usi successivi.

I principali metodi di misura utilizzati in agronomia per determinare la *produttività primaria* di una superficie vegetata sono due¹⁰⁸: il *Metodo dell'assorbimento di CO2* ed il *Metodo del raccolto*¹⁰⁹. Essendo il primo un procedimento sperimentale che necessita di lavorazioni in loco ed analisi complesse, ci si limiterà ad esporre di seguito solamente il *Metodo del raccolto*, in quanto più semplice, empirico ed eseguibile direttamente sul campo durante le ordinarie lavorazioni manutentive.

VI.3.5.1. Il metodo del raccolto

All'inizio e alla fine del periodo vegetativo la massa vegetale viene raccolta, seccata e pesata, ottenendo così il valore della biomassa ai tempi t_1 e t_2 . La produzione per unità di tempo e per unità di superficie (indicata con la sigla DB) è data dalla differenza tra peso a secco "T1" e peso a secco "T2" delle parti vegetali raccolte e disidratate.

$$DB = T1 - T2$$

Bisognerebbe debitamente conteggiare le perdite per morte di tessuti vegetali (L), e di quelle dovute al consumo di biomassa vegetale da parte degli animali erbivori o insetti (C). Ecco allora che la

¹⁰⁶ Fonte: <http://www.treccani.it>

¹⁰⁷ Specie vegetali come quelle erbacee o arbustive, in virtù delle loro limitate dimensioni e soprattutto della scarsa materia legnosa che le compone, presentano una produzione di scarti vegetali molto minore rispetto a quella che potrebbero offrire delle specie arboree.

¹⁰⁸ Esistono anche altri metodi di misurazione della *produttività primaria*, comunque mai utilizzati per la stima della produttività di organismi vegetali. Si è preferito perciò limitarsi alla loro citazione solo in nota. Questi sono il *Metodo dell'ossigeno*, il *Metodo della biomassa*, il *Metodo del 14C*, il *Metodo della scomparsa dei materiali*. Fonte: <http://w3.uniroma1.it/ecologia/ENERGIA.PDF>

¹⁰⁹ FILESI, LEONARDO, *Dispense del corso di Botanica – Prima parte*, Università IUAV di Venezia, Facoltà di Architettura, Corso per le lauree specialistiche, Venezia, A.A. 2006-07, p.9

produzione primaria netta (PP) verrà ricavata dalla seguente formula, computante anche i sopradescritti fattori normalizzanti.

$$PP = DB+L+C$$

La valutazione della produttività primaria è quasi sempre fatta sulla biomassa epigea, trascurando quindi il volume ipogeo delle radici, che può costituire fino al 40% della biomassa totale nelle comunità erbacee.

VI.3.6. Benefici psicologici, sociali ed igienici nei confronti dell'essere umano

La vegetazione, oltre ad offrire delle notevoli qualità estetiche, comunque soggettive, presenta una serie di indubbi benefici sia igienici che psicologici nei confronti dell'uomo. Sebbene già a livello intuitivo sia possibile condividere quanto appena riportato – tutti, quando vediamo del verde in città o sostiamo in prossimità di elementi vegetali, possiamo percepire una sensazione inconscia di benessere (non dipendente solamente dalla componente climatica precedentemente descritta) – si ritiene opportuno rilevare come siano riscontrabili numerosi studi scientifici che si sono posti l'obiettivo di definire e valutare tali benefici.

Premessa l'oggettiva difficoltà di una computazione quantitativa dei “benefici umani” legati al godimento della vegetazione da parte delle persone, è possibile verificare come molte figure professionali che si occupano di scienze umane (psicologi, sociologi, ecc.) abbiano operato in passato mediante sperimentazioni che tentassero di fornire una definizione quanto meno qualitativa del fenomeno. Si pensi, per esempio, alle molte persone che in tutte le stagioni cercano riparo, tranquillità, e riposo nei sempre più risicati spazi verdi urbani, dimostrando come, a livello subconscio, l'essere umano sia attratto dall'elemento naturale in modo quasi primordiale.

Il presente paragrafo si pone l'obiettivo di riportare alcune ricerche, tra le molteplici rilevabili in letteratura, che in un passato recente si siano poste scientificamente il problema di capire come e perché l'uomo sia così attratto dalla vegetazione e quali benefici egli tragga dalla natura, tanto da mirare a livello sia inconscio che cosciente ad una sua continua ricerca. Gli studi di seguito descritti non saranno quindi rivolti esclusivamente alla vegetazione in parete, ma tenderanno di declinare i benefici forniti dalle piante nel loro complesso: ci si riferirà, quindi, a tutte le possibili forme naturali, come i parchi urbani, i boschi, ecc.

La vista sulla vegetazione come fattore favorevole alla diminuzione dei tempi di recupero ospedalieri

Fin dagli anni '80 si iniziarono a prendere in considerazione dal punto di vista medico le potenzialità benefiche legate ad una esposizione dell'essere umano agli elementi vegetali, e alle possibilità legate ad una fruizione più o meno prolungata degli spazi verdi da parte delle persone. Una ricerca condotta in America dallo staff di Roger Ulrich¹¹⁰, presso il Dipartimento di Geografia dell'Università del

¹¹⁰ ULRICH, ROGER S., “View through a window may influence recovery from surgery”, *Science*, n.224, 1984, pp.420-421

Delaware tra il 1972 ed il 1981, dimostrò come dei pazienti ospedalieri che possono godere dall'interno della propria stanza di degenza di una vista sul verde, presentino delle caratteristiche di recupero medico migliori di altri che non possono godere della medesima visuale. Infatti, durante un esperimento eseguito presso un ospedale della Pennsylvania, dove vennero messe sotto osservazione delle persone che avevano subito degli interventi chirurgici di colecistectomia, si notò che quelle che potevano godere di una vista costante sulla vegetazione, se confrontati a coloro che avevano la vista obbligata su un muro cieco di mattoni, presentavano «dei periodi di degenza postoperatoria più brevi, ricevevano valutazioni meno negative da parte del corpo infermieri, erano portati ad assumere dosi minori e meno potenti di analgesici, e dimostravano un numero minore di complicazioni post-operatorie»¹¹¹. La ricerca di Ulrich suggerì quindi, che la vista sugli elementi vegetali può presentare delle influenze benefiche sull'iter post-operatorio e di degenza delle persone malate o soggette a periodi di ricovero.

Esposizione al verde e problematiche salutari

Uno studio inglese¹¹² del 2008 evidenziò come le popolazioni esposte agli ambienti che godono di una più alta presenza di vegetazione, presentino un più basso grado di problematiche salutari, indipendentemente dallo status sociale. In tale occasione venne inoltre evidenziato che gli spazi verdi sono importanti dal punto di vista della salute umana e possono contribuire alla riduzione delle disuguaglianze socioeconomiche che, come risaputo e dimostrato, si ripercuotono sulla salute.

Partendo dalla considerazione scientificamente verificata che le percentuali di mortalità sono inversamente proporzionali alla levatura sociale, il gruppo inglese volle relazionare il livello di mortalità con la vita a contatto con la natura. Furono condotte delle indagini statistiche su tutta la popolazione inglese sotto l'età pensionabile (quasi 41 milioni di persone), mirando a comprendere come la vita a contatto con la vegetazione possa essere considerata una sorta di medicina preventiva, indipendentemente dallo stato sociale e dai livelli di reddito. Dalla ricerca si evinse che le disuguaglianze di salute relative ad un più basso livello economico sono minori nelle popolazioni che vivono in aree presentanti maggiori percentuali di vegetazione: ciò è rilevabile per tutte le cause di mortalità, ma si rivela più efficace per quelle legate a problemi circolatori e cardiovascolari. In altre parole, la proporzionalità tra minori redditi e maggiore mortalità è decisamente più bassa per quei soggetti che possono usufruire della natura.

Vista del verde e longevità delle persone

Un'interessante ricerca condotta dai dipartimenti di medicina dell'Università di Tokio¹¹³, relazionò la presenza di spazi verdi pubblici in prossimità delle aree residenziali della capitale giapponese, e la

¹¹¹ ULRICH, ROGER S., op cit., p.421

¹¹² MITCHELL, RICHARD, PAPHAM, FRANK, "Effect of exposure to natural environment on health inequalities: an observational population study", *Lancet*, n.372, 2008, pp.1655-1660

¹¹³ TAKANO T., NAKAMURA, K., WATANABE, M., "Urban residential environments and senior citizens' longevity in megacity areas: the importance of walkable green spaces", *J. Epidemiol. Community Health*, n.56, 2002, pp.913-918

longevità delle persone anziane. In base alla modalità statistica medica della *sopravvivenza quinquennale*¹¹⁴, lo studio condotto su un campione di 3.144 soggetti (nati negli anni 1903, 1908, 1913 e 1918), ha rilevato come le persone che possono godere della vicinanza di aree verdi fruibili, vivano mediamente di più di quelle che non possono beneficiare dello stesso parametro. Infatti, per gli anziani è importante non solo la presenza del verde (sottoforma di parchi urbani, giardini pubblici e privati, strade alberate e tutti i relativi fattori come minore inquinamento dell'aria e sonoro, maggiore sicurezza ambientale, presenza della luce solare diretta, ecc.), ma anche la possibilità di passeggiare o fare movimento, ed avere relazioni sociali. Vivere in aree che presentano spazi verdi fruibili influenza positivamente la longevità delle persone, indipendentemente da età, sesso, stato civile e socioeconomico.

Pianificazione paesaggistica, qualità della vita e salute umana

Una percentuale in forte crescita delle spese mediche registrate negli ultimi anni nelle società occidentali, è dovuto alle patologie riconducibili allo stress. Tale problema molto grave interessa tutta la popolazione sia adulta che giovane, indipendentemente dall'età e dallo status socioeconomico. Uno studio condotto in Svezia¹¹⁵ su 953 individui scelti a campione tra gli abitanti di nove città svedesi, volto a comprendere rapporti e modelli di utilizzo delle aree verdi urbane da parte delle persone, ha dimostrato che la pianificazione paesaggistica urbana può avere un notevole rilievo sulla qualità della vita, specialmente sotto l'aspetto della salute.

Dai risultati di tale lavoro è possibile notare come sia statisticamente significativa la correlazione inversa tra frequentazione di spazi verdi e numero di patologie da stress. Un maggiore contatto con gli spazi verdi (sia come tempo giornaliero medio, che come numero di visite settimanali) è correlabile ad un più basso livello di patologie mediche come esaurimenti nervosi, insonnia, attacchi di panico, depressione, ecc. Parametri come distanza dal verde, accessibilità alle zone naturali e la presenza o meno di giardini pubblici o privati in prossimità delle abitazioni, divengono quindi molto importanti per la salute pubblica. Perciò la pianificazione urbanistica, a detta del gruppo che ha condotto la ricerca, dovrebbe tenerne debitamente conto.

Verde e stress nei bambini

Basato su temi affini ai precedenti uno studio redatto negli USA¹¹⁶, volto a comprendere se la vegetazione possa giocare un ruolo nella limitazione delle fenomenologie da stress per i giovani. L'obiettivo di tale ricerca, condotta su 337 soggetti di età media di 9,2 anni, che vivevano in cinque comunità rurali dello stato di New York, fu quello di comprendere se spazi e parchi verdi nelle

¹¹⁴ In medicina vengono utilizzate delle "statistiche di sopravvivenza" per valutare l'efficacia di un dato trattamento medico, e possono essere a breve, medio o lungo termine, in funzione del numero di anni di durata dell'attività di osservazione. La sopravvivenza per un determinato trattamento "a cinque anni" è riferita alla percentuale di persone che sono vive dopo cinque anni dall'inizio di un dato trattamento medico o terapia.

¹¹⁵ GRAHN, PATRIK, STIGSDÖTTER, ULRICA A., "Landscape planning and stress", *Urban Forestry & Urban Greening*, n.2, 2003, pp.1-18

¹¹⁶ WELLS, NANCY M., EVANS, GARY W., "Nearby Nature: A Buffer of life stress among rural children", *Environment and Behavior*, n.35, 2003, pp.311-330

vicinanze dell'ambiente domestico possa moderare l'impatto dello stress nella vita psicologica dei ragazzi.

Anche gli esiti di questo lavoro hanno palesato come la natura possa essere considerata una medicina preventiva nell'attenuazione delle fenomenologie da stress puntuali o reiterate, ed in particolare di come l'impatto dello stress sui ragazzi sia inversamente proporzionale alla vicinanza delle loro abitazioni da ambienti naturali. Dai risultati elaborati dal gruppo americano emerge che per tutti i casi di patologie e fenomenologie rilevate (di livello basso, medio o alto in base al numero e all'entità caratterizzante ogni singolo soggetto monitorato) quelli che hanno la possibilità di vivere a contatto con zone verdi e naturali presentano dei livelli patologici minori in tutti i casi, rispetto a quelli che risiedono in zone diverse. Il *trend* opposto è invece rilavabile per quel che riguarda l'autostima dei bambini: essa è inversamente proporzionale alla distanza delle loro abitazioni dagli spazi naturali.

Vegetazione e beneficio sociale

Oltre alle opportunità legate alla medicina e alla salute delle persone, altra funzione importante rapportabile alla vita a contatto con la vegetazione è quella del beneficio sociale. La «crescente evidenza empirica indica che la presenza di aree verdi contribuisce in svariati modi alla qualità della vita: assieme a molteplici benefici ambientali ed ecologici, la natura urbana riporta importanti benefici sociali ed ecologici, arricchendo la vita umana di significati ed emozioni.»¹¹⁷ Infatti, se «la psicologia ambientale ha largamente indagato la capacità della vegetazione di sensibilizzare condizioni psicologiche instabili»¹¹⁸, sono reperibili in letteratura scientifica anche numerose altre esperienze che dimostrano come la presenza di alberi, piante e spazi verdi possa rappresentare un elemento di qualificazione urbana, ed aumentare gli aspetti di socialità intrinseca di un luogo migliorandone la qualità. Coloro che risiedono in ambienti maggiormente ricchi di vegetazione dimostrano mediamente «minori livelli di paura nei confronti del prossimo, un più basso tasso di inciviltà e dei comportamenti meno aggressivi e violenti»¹¹⁹, registrabili a livello generale con una riduzione media del crimine. Per di più, la presenza di alberi e piante è uno dei fattori chiave nella vitalità di un quartiere residenziale, in quanto essa «è relazionabile al maggiore o minore utilizzo degli spazi aperti, all'ammontare totale delle attività sociali, nonché alla proporzione tra utilizzi sociali e non-sociali che rende possibile.»¹²⁰

Una ricerca svizzera ha evidenziato il ruolo sociale della vegetazione urbana in relazione alla possibilità d'integrazione socioculturale, giungendo alla conclusione che «gli spazi verdi pubblici in contesto urbano costituiscono un importante fattore, per bambini e ragazzi, di creare amicizie e contatti interculturali, considerabili come un prerequisito per l'inclusione sociale»¹²¹.

¹¹⁷ CHIESURA, ANNA, "The role of urban parks for the sustainable city", *Landscape and Urban Planning*, n.68, 2004, pp.129-138

¹¹⁸ SCUDO, GIANNI, OCHOA DE LA TORRE, JOSÉ MANUEL, op. cit., p.38

¹¹⁹ KUO, FRANCES E., SULLIVAN, WILLIAM C., "Environment and crime in the inner city – Does vegetation reduce crime?", *Environment and Behavior*, n.33, 2001, pp.343-367

¹²⁰ SULLIVAN, WILLIAM C., KUO, FRANCES E., DEPOOTER, STEPHEN F., "The fruit of urban nature - Vital neighborhood spaces", *Environment and Behavior*, n.36, 2004, pp.678-700

¹²¹ SEELAND, KLAUS, DUBENDORFER, SABINE, HANSMANN, RALF, "Making friends in urban Zurich's urban forest and parks: The role of public green space for social inclusion of youths from different cultures", *Forest Policy and Economics*, n.11, 2009, pp.10-17

VI.3.6.1. Considerazioni a margine delle ricerche descritte

Nel precedente paragrafo, pur avendo preso in esame discipline – quelle sociali ed umane – che spesso presentano il limite della difficoltosa quantificazione dei risultati, risulta comunque palese come il beneficio rapportabile all'utilizzo della vegetazione in ambito urbano sia inequivocabilmente individuabile come un elemento che contribuisce alla qualità globale di vita e al comfort dell'uomo. Lasciando da parte i benefici climatologici precedentemente descritti, più vicini al settore scientifico-disciplinare della Tecnologia dell'architettura, sono emerse anche una serie di altre potenzialità benefiche imputabili alle piante, riassumibili in benefici di tipo medico, psicologico e sociale: questioni che giocano un ruolo importante nei confronti della modalità di vita umana.

Dai risultati riportati emerge quindi l'importanza della pianificazione urbanistica; questione peraltro rafforzata dal fatto che, spesso, anche le succitate ricerche – solo una selezione sintetica tra tutte quelle disponibili nelle varie pubblicazioni scientifiche mondiali – imputano un ruolo fondamentale alla pianificazione urbana e all'architettura in generale in quanto, alla luce delle considerazioni emerse, diviene evidente come la vegetazione sia fondamentale alla vita dell'uomo sotto molteplici aspetti. Presenza di vegetazione in ambito urbano che potrà essere garantita solamente da una buona e pertinente attività progettuale. Tali benefici conseguenti alla reintroduzione della vegetazione in ambito urbano, seppur diversi tra loro, sono comunque identificabili come dei guadagni economici da mancata spesa per la società in generale.

VI.3.6.2. Terapie legate all'utilizzo della vegetazione

Una volta comprese le possibilità benefiche e sociali esercitate dalla vegetazione nei confronti dell'uomo, è possibile introdurre un ulteriore passaggio evolutivo, prettamente contemporaneo, nel modo di concepire la natura.

Si possono oggi registrare alcune tipologie terapeutiche e discipline cliniche che contemplano gli elementi vegetali ed i loro sottoprodotti (giardini, orti, ecc) come una materia medica a tutti gli effetti. Tra queste si annoverano i *giardini terapeutici*, l'*ortoterapia*, i *giardini bioenergetici* e la *nature therapy*: esse vengono definite anche “terapie orientate alla natura” e prendono avvio dalla pratica della naturopatia¹²². Tali discipline si basano sulla stimolazione psicologica e fisiologica conseguente all'interazione tra uomo e natura¹²³.

Giardini terapeutici

I giardini terapeutici (*therapeutic gardens* in lingua inglese) sono degli spazi verdi specificamente progettati per assecondare i bisogni psichici, fisiologici e sociali delle persone che utilizzano tali spazi

¹²² Forma di medicina alternativa che sfrutta a fini terapeutici i soli fattori ed elementi naturali (calore, luce, aria, ecc.), evitando di fare uso di qualunque tipo di farmaco. Definizione della parola “naturopatia” tratta da Enciclopedia Treccani on-line: <http://www.treccani.it>

¹²³ Consci del fatto che le discipline citate nel presente paragrafo si collocano a metà fra prassi mediche assodate, scienze umane e filosofie non sempre scientificamente provate o provabili, si è deciso di riportare comunque, per completezza scientifica e metodologica.

come luogo di riabilitazione, e per coloro che li assistono durante il periodo di degenza o recupero dalla malattia. Tali ambienti sono di diversificate tipologie in funzione delle persone che dovranno ospitare, e possono non riferirsi esclusivamente a strutture come ospedali ed ospizi ma anche a luoghi privati. L'obiettivo principale di un giardino terapeutico è quello di incorporare flora e fauna benefiche per il malato, all'interno di un dato spazio aperto confinato, adeguatamente progettato e recante servizi o arredi opportunamente selezionati in base alla patologia delle persone da curare. L'impianto funzionale dei giardini potrebbe anche essere progettato per lo svolgimento di particolari attività dipendentemente dal tipo di malattia, inglobando quindi idonee strumentazioni terapeutiche o per utilizzi di rilassamento psicofisico del malato.

Esistono varie sottotipologie di *therapeutic gardens*, in funzione delle patologie che dovranno contribuire a curare, come i giardini per i malati del *morbo di Alzheimer*, i *healing gardens* riservati a persone affette da malattie acute o da patologie mediche non a pericolo di vita, giardini per la riabilitazione, *giardini di ristoro* per coloro che presentano scompensi psichiatrici, *senior community gardens* per gli ospizi di anzianità, *cancer gardens* per la riabilitazione da chemioterapia. I giardini terapeutici sono correntemente utilizzati sia in Italia che all'estero.



Fig.VI.45 – Esempio di giardino terapeutico realizzato presso la casa di riposo *St. Francis Country House* a Philadelphia, negli USA. (Fonte: <http://designforgenerations.wordpress.com>)

Ortoterapia

L'*ortoterapia* (*Horticultural Therapy*) è una terapia di derivazione anglosassone basata sugli assunti teorici della naturopatia. Il suo obiettivo è quello di migliorare lo stato di salute psicofisica degli individui mediante il contatto con la terra e con gli elementi vegetali naturali: essa consiste nella cura continuativa di piccoli appezzamenti di terreno, e contempla sia il giardinaggio che l'ortocoltura. Comprende le attività di giardinaggio e la coltivazione di piante ed ortaggi, con la finalità di combattere

le patologie derivanti da stress attraverso la stimolazione dei sensi e del tatto, dell'olfatto e della vista, tramite un rapporto attivo con la natura.

Così come gli animali utilizzati nella *pet therapy*, l'ortoterapia opera con della materia "vivente", quali sono le specie vegetali: le utilizza come medium per la cura di particolari disabilità o disagi (stress, depressione, ansia, tossicodipendenza, ecc). Anche gli spazi di pratica dell'ortoterapia vengono chiamati giardini terapeutici, con la differenza che in questo caso si tende a prevenire la nascita di patologie psicofisiche piuttosto che a curare. Gli assunti alla base di questa disciplina mirano a fare in modo che si possa trovare (o ritrovare) la fiducia nelle proprie capacità mediante l'atto di far vivere, crescere e curare un essere vivente, sviluppando un metodo di lavoro volto al conseguimento di un obiettivo rappresentato dalla crescita della pianta. L'ortoterapia, dunque, fornisce motivazioni e stimoli a persone in stato di difficoltà, e si prefigge di fornire un sostegno a coloro che soffrono di diverse patologie identificabili con differenti livelli di gravità. Importante, all'interno di questa disciplina, è anche il lavoro di gruppo, che può facilitare la socializzazione. Ulteriore aspetto positivo concerne il fatto che essa richieda uno sforzo fisico (anche se limitato), ed è dunque utile nei casi di astenia o nelle convalescenze.

Visto l'alto numero di ricerche che si stanno producendo sull'argomento in Canada, USA e Gran Bretagna, sta anche nascendo la figura dell'*ortoterapista* specializzato, figura professionale che si occupa della progettazione dello spazio naturale dove curare i pazienti: egli stabilisce le dimensioni ottimali e l'orientamento del parco, la scelta delle specie vegetali più adatte, e gli strumenti più adeguati da offrire ai pazienti in relazione alla loro specifica patologia. Le piante che meglio si adattano a tale disciplina sono in genere le piante da fiore e quelle aromatiche, che agiscono rispettivamente su vista e olfatto, mentre per stimolare il senso del tatto vengono impiegate particolari specie vegetali (ad esempio con foglie pelose).

Il giardino bioenergetico

Il giardino bioenergetico (*bioenergetic landscape*) è una disciplina nata di recente, che si basa su principi quali: verifica della compatibilità biologica delle specie vegetali con l'uomo, ricerca della più favorevole collocazione delle piante, diagnosi dello stato degli alberi e analisi delle cause biosferiche delle loro malattie, in modo da poter operare strategie finalizzate al loro risanamento¹²⁴. Tale disciplina è stata messa a punto presso il centro di ricerca *Archibo Biologica* di Anversa, ed è volta alla selezione delle specie arboree e floreali maggiormente benefiche per l'essere umano, mirando a disporle strategicamente nel giardino o nell'ambiente domestico confinato, con l'obiettivo di ottenere da esse il più alto beneficio biologico possibile.

Molte specie di piante possiedono proprietà terapeutiche e curative assodate, e i loro ricavati sono assunti dall'uomo sottoforma di preparati fitoterapici, medicinali o alimentari, i cui estratti vengono correntemente utilizzati anche in medicina per la preparazione di cure. A parte tali caratteristiche storicizzate e (più o meno) assodate, *sembrerebbe* anche che le piante possano essere impiegate per altri fini. La pratica del *bioenergetic landscape*¹²⁵ sfrutta gli elettromagnetismi naturali

¹²⁴ NIERI, MARCO, Bioenergetic Landscape – La progettazione del giardino terapeutico bioenergetico, in bibl.

¹²⁵ Pratica che comunque, lo si ribadisce, si basa su teorie difficili da provare scientificamente.

(emessi dai vegetali in maniera diversificata in funzione delle differenti specie), per trarne beneficio¹²⁶. Sulla base della considerazione che tutti i corpi riescono a ricevere o emettere energia sotto forma di onde elettromagnetiche, e di scambiarla con la biosfera e verso tutti gli altri corpi viventi, è nata la tecnica della progettazione bioenergetica, che punta a modificare il microambiente attraverso una precisa dislocazione sul terreno di piante favorevoli all'uomo, mirando a trarre dallo strategico posizionamento dei vegetali il massimo beneficio per le persone (Fig.VI.46).

In funzione delle caratteristiche e delle necessità del committente, unitamente alle peculiarità del contesto di progetto, il compito della progettazione bioenergetica sarà quello di pervenire ad un'ideale strutturazione spaziale mediante mirata selezione e posizionamento delle specie. Il tutto al fine di ottenere una configurazione paesaggistica ottimale che, sfruttando l'elettromagnetismo naturale prodotto da ogni specie vegetale, sia volta a massimizzarne il beneficio umano.



Fig.VI.46 – Esempio di parco pubblico bioenergetico progettato dall'architetto Marco Nieri a Castel Franco Emilia (MO). Le aree colorate intorno alle piante schematizzano l'area d'influenza elettromagnetica di ognuna. I diversi colori rappresentano le differenti modalità in cui ogni specie vegetale agisce nei confronti della fisiologia umana. In base a tale assunto ogni pianta presenterà delle caratteristiche differenti: ad esempio una specie come il tiglio avrà l'area di massima influenza nei confronti del sistema nervoso, il melograno sul sistema cardiocircolatorio, ecc. Una delle strategie progettuali adottate per massimizzare il beneficio nei confronti delle persone è stata quella di collocare le panchine di sosta nelle aree ritenute maggiormente benefiche. (Fonte: <http://www.archibio.it>)

Nature Therapy

L'ultima nata in ordine di tempo è la *nature therapy*. Trattasi di una metodologia multidisciplinare che si pone l'obiettivo di incorporare la natura all'interno delle strategie per il recupero psicologico di persone, specialmente giovani e bambini, affette da disabilità mentali o problemi di apprendimento.

¹²⁶ Per la misurazione dei differenti campi elettromagnetici emessi da ogni specie vegetale viene utilizzato uno strumento radioestetico denominato *Antenna Lecher*.

Essa propone un approccio innovativo alla metodologia con cui vengono condotte le convenzionali azioni terapeutiche mediche o psicologiche, indirizzando l'ambiente naturale non solamente come un luogo di svolgimento, ma come partner e medium dell'intero processo»¹²⁷. La differenza fra la *nature therapy* e quelle precedentemente descritte si basa sul fatto che l'ambiente naturale esterno non viene considerato meramente per le sue caratteristiche e ripercussioni psico-fisiologiche nei confronti delle persone, ma piuttosto per le sue potenzialità di stimolazione globale e temporale, unitamente alle possibilità educative nei confronti di soggetti che necessitino di sostegno o di recupero.

VI.3.6.3. Effetti cognitivi rapportabili al modo di percepire il colore verde: psicologia del colore

Argomento che merita un discorso a parte, tra quelli che intendono approfondire come la vista della vegetazione possa portare del beneficio alle persone, è quello che si riferisce alla psicologia del colore: il contestuale apparato teorico si pone l'obiettivo di studiare come i differenti colori e la loro combinazione possano avere delle influenze nei confronti dell'uomo. Tale pratica viene poi trasposta in ambito architettonico ed ergonomico nella ricerca dei colori più adatti in base al tipo di funzione a cui un dato oggetto o ambiente sarà destinato. La psicologia del colore è una disciplina complessa e sfaccettata, praticata da figure professionali specializzate, perciò ci si limiterà in questa sede ad introdurre solo alcune nozioni che possano creare un parallelismo con gli argomenti di ricerca.

Ciò che la psicologia del colore esprime in merito alle varie tonalità del colore verde, predominante nelle molteplici tipologie di specie vegetali, è pienamente rispondente a quanto visto nei due precedenti paragrafi. Il colore verde – come il blu e il viola – appartiene al gruppo dei cosiddetti colori *espansivi*, e dal punto di vista fisico possiede una percentuale di riflessione della luce pari al 48-75% nel caso delle tonalità di verde chiaro, e dell'11-25% per quello scuro. Le proprietà che la psicologia del colore gli attribuisce sono di essere un elemento cromatico neutro, rilassante, favorevole alla riflessione, alla calma e alla concentrazione. Perciò, in ambito architettonico, viene impiegato negli ambienti che necessitano di tali stimoli psicologici, ad esempio camere da letto e soggiorno, sia nelle normali abitazioni che in ambienti maggiormente "sensibili" come ospedali, ecc.

Sono interessanti anche le declinazioni mediche che interessano l'impiego del colore verde, e confortano largamente alcune delle proprietà vegetali illustrate in precedenza. Secondo i principi della cromoterapia – disciplina che fa uso del colore per la cura delle malattie – tutte le tonalità coloristiche hanno delle influenze sui diversi organi del corpo umano, ed esiste una corrispondenza tra i *chakra* (centri energetici fisiologici secondo la tradizione indiana) ed i colori. Il verde, in base agli assunti di tali filosofie, agisce sulla ghiandola pituitaria ed avrebbe positive influenze sui disturbi mentali ed emozionali gravi, o nei problemi alla vista. In cromoterapia viene impiegato per sostenere il sistema nervoso ed aiutare il cuore (grazie ai suoi effetti calmanti e armonizzanti), nel caso di mal di testa, nelle nevralgie e nelle febbri; è adoperato in tutte le proliferazioni anomale a livello cutaneo, nei tumori e come cura per la calvizie, mentre viene sconsigliato in caso di depressione o astenia. Gli vengono inoltre relegate proprietà disintossicanti, di antisettico, battericida ed elemento favorevole alla muscolatura.

¹²⁷ BERGER, RONEN, MCLEOD, JOHN, "Incorporating nature into therapy: a framework for practice", *Journal of Systemic Therapies*, n.25, 2006, pp.80-94. Per un approfondimento si veda anche BERGER, RONEN, Using contact with nature, creativity and rituals as a therapeutic medium with children with learning difficulties: a case study", *Emotional and Behavioural Difficulties*, n.11, 2006, pp.135-146

Il colore, infatti, non consente dei benefici esclusivamente grazie alla quota di radiazione solare che raggiunge il cervello passando per gli organi della vista. «È [...] universalmente riconosciuto che se il colore è visto solo attraverso gli occhi è sicuramente anche percepito attraverso i sensi. È stato infatti dimostrato che sarebbe impossibile per i non vedenti vivere sempre in cantina o in ambienti bui; loro si sentono diversamente a loro agio in una stanza illuminata o in una stanza non illuminata; non solo, ma “in un ambiente rosso reagiscono a stimoli esterni con molta agitazione a differenza di un ambiente azzurro (le proprietà del colore azzurro sono assimilabili a quelle del verde, *NdA*), dove reagiscono con molta calma”. Altro esempio, un cavallo continua a sudare ed è infastidito da un numero considerevole di mosche in una stalla dipinta di rosso, mentre si tranquillizza e non vi sono mosche nello stesso ambiente dipinto di blu.»¹²⁸

A conclusione del breve excursus finalizzato ad illustrare come la vegetazione possa giocare un ruolo apprezzabile per quel che concerne alcune sue modalità di condizionamento psicologico e benefico nei confronti dell'uomo, si pone l'accento sul fatto che il colore verde è quello preponderante nella vegetazione, interessando gli apparati fogliari delle piante, e spesso anche chioma e stelo nelle specie vegetali non arboree. Ciò giustifica la scelta operata di introdurre alcune considerazioni in merito al colore verde ed alle sue influenze sull'uomo. È altresì importante far comunque notare che, essendo le specie vegetali un elemento vivente sono soggette a delle variazioni cromatiche stagionali o nel corso della propria vita: cambiamenti che, ovviamente, si ripercuoteranno sulle modalità in cui i diversi soggetti percepiscono il colore degli apparati vegetali.

VI.3.7. Conservazione dell'integrità dell'involucro

Funzione supplementare svolta dalle superfici a verde è quella di proteggere le chiusure edilizie e le contestuali stratificazioni tecnologiche. L'uniformità di finitura superficiale conseguente alla realizzazione di un involucro vegetato si traduce in una diminuzione delle interruzioni e discontinuità delle superfici edilizie esterne: l'esecuzione di coperture e chiusure verticali a verde crea una superficie vegetale che, tramite la compresenza di piante e substrati, avviluppa completamente gli involucri architettonici e protegge gli strati sottostanti. Fatto interessante in quanto, col diminuire delle discontinuità di chiusura diminuiscono, di conseguenza, anche i punti sensibili della struttura, che sono quelli maggiormente attaccabili o passibili di deterioramento. Inoltre lo strato vegetale contribuisce alla conservazione ed integrità delle superfici perché le protegge dai raggi ultravioletti, dalle precipitazioni atmosferiche e dagli sbalzi di temperatura, contribuendo all'aumento della loro vita utile. Gli agenti atmosferici, giungendo a diretto contatto con le superfici edilizie, possono danneggiare le finiture o i componenti. Soleggiamento, pioggia battente, pressione del vento, neve e grandine, con l'andar del tempo possono portare a prematuro deperimento i materiali edilizi, mentre la protezione degli involucri mediante l'impiego della vegetazione può tradursi in un risparmio di risorse (economiche, energetiche, manutentive, ecc.) nel medio/lungo periodo.

L'ombreggiamento o la totale protezione dall'irraggiamento solare diretto, assicurati dalle propaggini delle piante, consentono di contenere le dilatazioni differenziali fra interno ed esterno,

¹²⁸ BRESCIA, PAOLO, “Progettare il colore”, p.130, in BERTAGNIN, MAURO, *Bioedilizia – Progettare e costruire in modo ecologicamente consapevole*, in bibl.

dovute alle relative disuguaglianze di temperatura superficiale tra le due facce di una chiusura edilizia. Come già accennato le pareti inverdite, grazie alle caratteristiche intrinseche della materia vegetale che le compone, mantengono durante la stagione estiva delle temperature superficiali nettamente inferiori rispetto a quelle non naturali. Per contro, le temperature rilevate durante l'inverno sono più elevate nei tessuti vegetali¹²⁹ rispetto a quelle dei materiali artificiali. Alcune sperimentazioni condotte su pareti inverdite tramite rivestimenti vegetali, hanno evidenziato come si possano registrare variazioni termiche medie che vanno dai -5 °C invernali contro i +30 °C estivi, nel caso di superfici inverdite, rispetto ai +60 °C in estate contro i -10 °C invernali, per le superfici opache che non presentino adeguati elementi schermanti¹³⁰. Altre esperienze che hanno dimostrato come uno strato di vegetazione posto in integrazione alle pareti possa rappresentare un elemento di normalizzazione dei differenziali termici tra le superfici esterna e interna di una chiusura, sono descritte nel paragrafo VI.2.5.1 all'interno di questo stesso capitolo.

Ulteriore criticità può dipendere dal fatto che l'azione prodotta dalle precipitazioni meteoriche, in combinazione alle pressioni ventose, potrebbero causare infiltrazioni di umidità negli strati interni alla parete. Tali infiltrazioni potrebbero anche tramutarsi, con l'andare del tempo, in fenomeni di accumulo umido o condensa interstiziale: nell'eventualità della scarsa aerazione delle stratificazioni interne, il persistere dell'umidità interstiziale potrebbe portare alla perdita di prestazioni termoisolanti. Con il trascorrere del tempo e l'eventuale perdurare del problema, inoltre, potrebbe anche giungere il deperimento di componenti e materiali.

In regime invernale, causa la reiterata discesa della temperatura dell'aria al di sotto dei 0 °C, i materiali con cui è realizzata una chiusura verticale potrebbero essere interessati dal fenomeno della gelività, col rischio, anche in questo caso, del degrado. Per tali motivi sarà di fondamentale importanza garantire adeguata ventilazione tra la faccia retrostante l'apparato vegetale e quella superficiale della chiusura esterna: cosa che, solitamente, viene eseguita distaccando di qualche centimetro la superficie di supporto della vegetazione da quella fisica della chiusura.

VI.3.8. Regimazione e depurazione dell'acqua meteorica

In seguito alla crescente percentuale di suoli urbanizzati causati dall'intensa edificazione, una delle criticità urbane oggigiorno riscontrabili è quella della difficoltà di smaltimento delle acque piovane, col risultato sempre più ricorrente di allagamenti di strade o alloggi, e dell'erosione ambientale superficiale. La realizzazione di edifici, strade, parcheggi e piazze, il conseguente interrimento dei fossati che in passato delimitavano le vie pedonali o carrabili, la sempre minor presenza di aree verdi che possano far penetrare l'acqua nel terreno per percolazione o eventualmente funzionare da bacino scolmatore d'emergenza, sta portando le precipitazioni meteoriche a rappresentare un problema, specialmente nel caso di piogge forti o prolungate come quelle che negli ultimi anni sono in continua ascesa. Cospicui acquazzoni che non potendo più contare sulla suddetta rete infrastrutturale di elementi d'emergenza per l'eliminazione e lo stoccaggio delle precipitazioni in eccesso, portano la totalità dell'acqua piovana ad essere gestita tramite il sistema fognario, costringendo la rete pubblica di evacuazione fluidi ad un lavoro straordinario e per il quale spesso non è concepita.

¹²⁹ Nel caso si impieghino specie sempreverdi.

¹³⁰ BELLOMO, ANTONELLA, op. cit., p.9

La vegetazione, grazie alle proprie caratteristiche fisiologiche che gli permettono di accumulare, trattenere, utilizzare e restituire l'acqua, può rappresentare un elemento funzionale alla limitazione del problema (Fig.VI.47). Le tecnologie del verde pensile forniscono una serie di indubbi vantaggi riguardo alla possibilità di regimazione idrica globale, ma soprattutto per quella urbana. Infatti, in funzione di strati vegetali e substrati di coltivo presenti, tetti e pareti verdi possono essere considerati degli ottimali elementi di gestione idrica passiva.

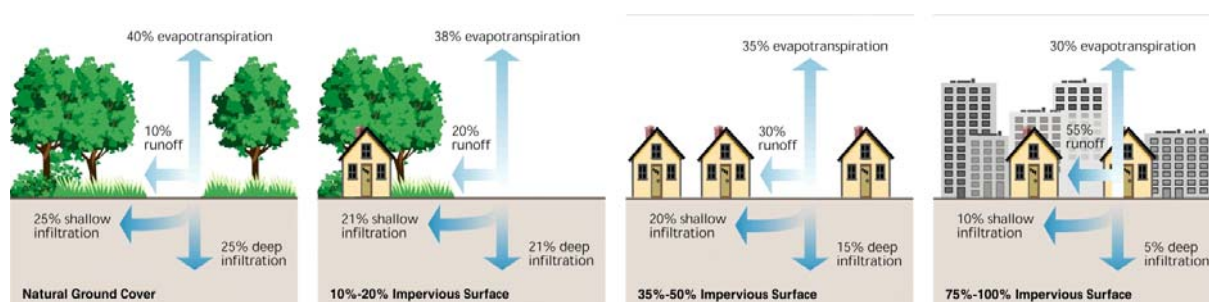


Fig.VI.47 – Schema della relazione intercorrente tra la percentuale di superficie urbana artificiale e la conseguente capacità di regimazione idrica. Si può notare come a maggiori percentuali di aree minerali corrispondano minore portata di infiltrazione nel terreno, nonché una più bassa quantità di vapore acqueo re-immesso in atmosfera mediante processi evapotraspirativi. (Rielaborazione da: *FISRGW – Federal Interagency Stream Restoration Working Group, USA*)

La quantità di precipitazioni idrometeoriche dipende dalla zona geografica, dalla durata e dalla frequenza, e può in alcuni casi produrre seri problemi alla gestione urbana dell'acqua in eccesso. Le specie vegetali impiegano una considerevole dose di acqua (sia liquida che sottoforma di vapore) per l'espletamento delle proprie attività fisiologiche, reimmettendone poi una percentuale nell'aria mediante i già illustrati processi evapotraspirativi. Tutte queste azioni indispensabili alla vita della pianta utilizzano una considerevole quota d'acqua che, perciò, non andrà a gravare sul sistema di smaltimento fognario.

Ulteriore quota di ritenzione idrica è fornita dai substrati, che contribuiscono così a diminuire il carico di picco in fognatura. I substrati, durante le precipitazioni, si imbibiscono di liquido in quantità direttamente proporzionale allo spessore ed alle intrinseche caratteristiche ritenitive differenti per ogni materiale. I materiali che possono formare un substrato per l'impianto di specie vegetali non sono infatti tutti uguali, ma la loro capacità di ritenzione idrica varia notevolmente in base a peso specifico, spessore, porosità, materia argillosa eventualmente presente, mix compositivo, ecc.

In Tab.VI.48 è dimostrato come una maggiore presenza di substrato e vegetazione possa garantire, a parità di precipitazioni, più alti livelli di ritenzione idrica: per *runoff* si intende la quantità di liquido rilasciata dalla copertura conseguentemente ad un evento piovoso. Dalla tabella si evince come piante e substrato abbiano delle buone caratteristiche di ritenzione (la differenza tra il solaio spoglio e quello contenente ghiaia è solo del 4%, mentre tra il solaio spoglio e la copertura a verde con 15 cm di substrato il differenziale è di oltre il 40%); è inoltre comprensibile come già con esigui spessori di substrato si possa contribuire notevolmente alla ritenzione idrica totale, fino quasi a dimezzarla nel caso dello spessore di 15 cm. Tali dati sono riferiti ad una sperimentazione eseguita in Michigan (USA) nel 2003, durata sei settimane ed attuata nel periodo compreso fra la fine dell'estate e l'inizio dell'autunno.

TIPO DI COPERTURA	RUNOFF (mm)	RUNOFF (%)
Standard (con estradosso "a vista")	665	81
Standard con 50 mm di ghiaia	636	77
A verde con 50 mm di substrato	409	50
A verde con 100 mm di substrato	369	45
A verde con 150 mm di substrato	329	40

Tab.VI.48 – Influenza di substrato e vegetazione nella percentuale totale di regimazione idrica: confronto tra alcune tipologie diverse di copertura piana. (Rielaborazione da: DUNNETT, NIGEL, KINGSBURY, NOEL, *Planting Green Roofs and Living Walls*, in bibl., p.59)

Le succitate caratteristiche ritenitive appartengono a tutte le tipologie di verde pensile¹³¹, ma è indubbio come tale peculiarità, soprattutto per questioni di geometria, sia fortemente appannaggio delle coperture. Inoltre, se per le coperture a verde esiste un discreto numero di studi o sperimentazioni scientifiche che abbiano palesato la capacità dei tetti verdi nel limitare il deflusso di liquido conseguente alle precipitazioni, non accade altrettanto per le pareti vegetate. La colpa di tale mancanza è sicuramente da imputarsi al debito di età che queste ultime pagano nei confronti dei giardini pensili, unitamente alla poca normalizzazione tecnologica e legislativa che, invece, non riguarda le coperture a verde, che possono contare su un apparato normativo cospicuo e maturo¹³².

Comunque, se nel caso delle pareti a verde non si può attualmente contare su degli studi che forniscano dei dati quantitativi, si possono fare, se non altro, delle considerazioni qualitative. Ossia, se il miglioramento delle prestazioni di ritenzione idrica è da addebitarsi all'azione sinergica di substrati e vegetali, è possibile affermare che se il tetto verde può garantire una ritenzione idrica massima, le pareti verdi possono invece offrirne una media (nei casi del verde parietale evoluto, grazie alla forte presenza di substrati che questo solitamente presenta), o bassa per quanto riguarda i rivestimenti vegetali che presentano solo pochi punti "di contatto" col terreno. Altre valutazioni potrebbero essere eseguite in merito ai vantaggi o svantaggi che le pareti a verde possono garantire, se raffrontate alle coperture. I fattori positivi del verde parietale rispetto a quello orizzontale consistono nel fatto che le superfici edilizie verticali sono mediamente maggiori di quelle orizzontali (si veda la Fig.VII.3); inoltre, la presenza di propaggini vegetali e fogliari è mediamente più elevata in una parete verde rispetto ad una copertura. Gli svantaggi sono invece che la verticalità delle chiusure favorisce l'evacuazione del liquido, e che questa è soprattutto in funzione della presenza più o meno accentuata di substrato: substrati che, quasi sempre, nelle pareti vegetate sono reperibili in presenza percentualmente minore che nelle coperture.

Come detto, esistono numerose esperienze a dimostrazione di come le coperture a verde siano molto più prestanti, da questo punto di vista, rispetto a quelle che non presentano vegetazione. I parametri che mettono in evidenza la maggiore o minore ritenzione idrica di un sistema di copertura

¹³¹ L'aggettivo "pensile" verrà qui utilizzato mediante il suo significato più generale, e cioè gli si attribuisce il sinonimo di «staccato da terra» (Definizione da <http://www.treccani.it>). Per "tipologie di verde pensile" si intende quindi, in questo specifico contesto, la sommatoria di tutte le tecnologie di inverdimento degli involucri, e cioè sia parietale che delle coperture.

¹³² Come ad esempio la normativa *FLL - Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau*, di derivazione germanica, e la recente UNI 11235:2007 in Italia.

sono: la massima capacità di ritenzione idrica, la permeabilità, il coefficiente di deflusso e il coefficiente di deflusso annuo.

Il parametro più importante, che identifica percentualmente la maggiore o minore capacità di un materiale edilizio (o della stratigrafia compositiva di un sistema) di trattenere l'acqua in funzione della ritenzione idrica, è il coefficiente di deflusso. Esso viene indicato in letteratura col simbolo "ψ" ed espresso mediante un valore compreso tra 0 e 1. Sistemi che presentino un valore di ψ più alto, potranno vantare una maggiore efficienza dal punto di vista della regimazione idrica (Fig.VI.49).

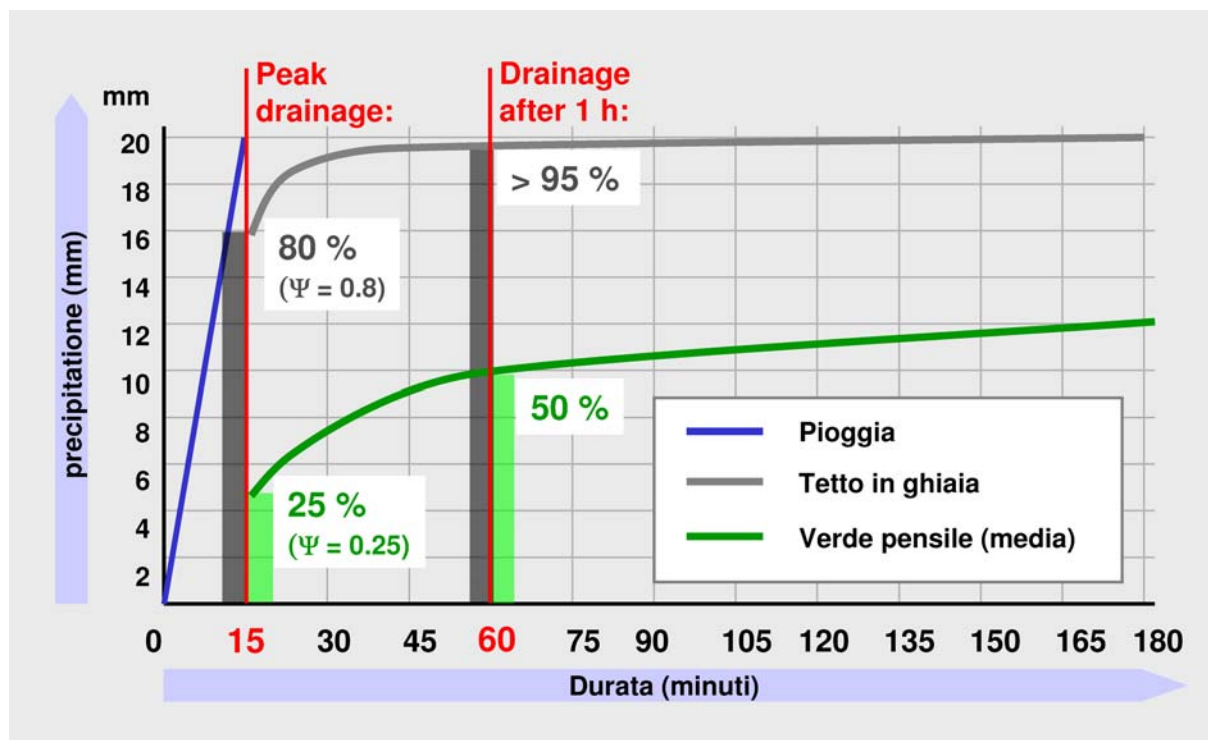


Fig.VI.49 – Il grafico mette a confronto due diversi tipi di deflusso. In verde la curva della ritenzione idrica di una copertura a verde; in grigio quella di un tetto piano in ghiaia. Entrambe sono confrontabili con la curva blu, che rappresenta una precipitazione atmosferica durata 15 minuti con un carico di pioggia massimo pari a 20 mm. È evidente come la copertura a verde abbia delle prestazioni ben più alte rispetto al tetto in ghiaia. (Rielaborazione da: *Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Veitsöchheim*)

Anche il dato della ritenzione idrica annuale è importante. In forza di tale proprietà, relativa sia al parametro ψ che alle proprietà fisiologiche vegetali (dipendentemente dalla quantità di acqua che le piante riescono a "consumare" in un anno), si potrà contare su un doppio vantaggio: prima di tutto un risparmio di acqua potabile, grazie al fatto di non dover bagnare le piante; secondariamente perché, con un'oculata ed opportuna selezione delle specie si potrebbe giungere ad una progettazione ottimizzata nei confronti della regimazione idrica.

In seguito ad alcune misurazioni effettuate nella città di Karlsruhe in Germania, su una copertura a verde estensivo realizzata con 7 cm di substrato (Fig.VI.50), emerge chiaramente come, soprattutto nei mesi caldi (maggio-agosto) che presentano la maggiore piovosità annuale, la quantità di acqua effettivamente rilasciata dalla copertura sia quasi nulla, con una capacità di ritenzione annuale che si attesta sul 57%. Infatti, a fronte di una piovosità annuale totale di 720 mm, la copertura in esame ne

ha rilasciati solamente 310, e soprattutto nei mesi freddi. Il fatto che il differenziale maggiore si sia registrato nel periodo più caldo dell'anno (luglio-agosto) è dovuto al fatto che in tale lasso di tempo, proprio in funzione delle alte temperature atmosferiche, le piante necessitano di una maggiore dose di acqua per svolgere le proprie attività fisiologiche.

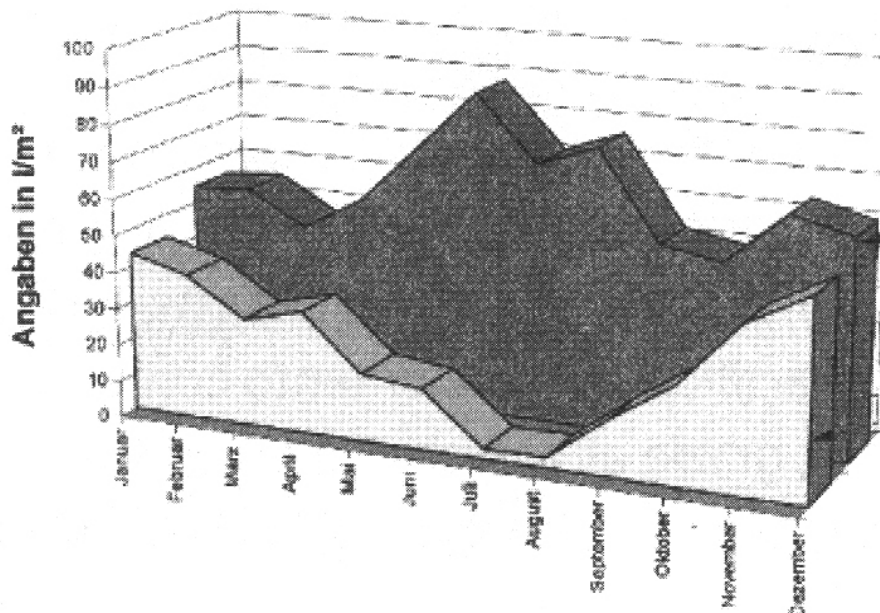


Fig.VI.50 – Nel grafico è illustrata la capacità di ritenzione idrica annuale di una copertura a verde estensivo. La curva più scura descrive l'andamento della piovosità sui dodici mesi, quella chiara rappresenta la quantità d'acqua effettivamente rilasciata dalla copertura. Interessante notare come proprio nei mesi maggiormente piovosi e caldi, la quantità d'acqua rilasciata sia minore: ciò è dovuto alle caratteristiche fisiologiche e fisiche di vegetazione e substrati. (Rielaborazione da: ABRAM, PAOLO, *Giardini pensili – Coperture a verde e gestione delle acque meteoriche*, in bibl., p.58)

La limitazione del *runoff* garantito dalle tecnologie di verde pensile, non è migliore solo dal punto di vista quantitativo ma anche da quello qualitativo. Le stratigrafie più esterne di chiusure inverdite verticali e superiori garantiscono un pre-trattamento dell'acqua. Sia i substrati che le specie vegetali possono fungere da ottimale sistema di depurazione¹³³: le prime grazie agli effetti fisiologici già visti all'interno del paragrafo intitolato *Modifiche della composizione dell'aria ed assorbimento delle polveri sottili*; mentre il terreno di coltivo presenta delle buone peculiarità filtranti, che riescono a trattenere polveri e particolati atmosferici. Tutto ciò non dimenticando che una progettazione poco accurata di tetti e pareti a verde potrebbe invece favorire il risultato opposto, ossia l'inquinamento idrico.

Gli elementi che arrecano problemi all'acqua di *runoff* sono di due tipi: l'uno derivante da stimoli esterni (inquinamento atmosferico e piogge acide) e l'altro conseguente alla composizione stratigrafica propria del verde pensile, o ai fertilizzanti utilizzati per l'integrazione nutritiva delle piante.

I nutrienti artificialmente apportati ai sistemi vegetali sono sostanzialmente di due tipi: organici e di derivazione chimica. Entrambi potrebbero creare dei problemi conseguenti al rilascio di sostanze

¹³³ La vegetazione è da lungo tempo utilizzata come sistema di depurazione dell'acqua: esistono diverse tipologie di fitodepurazione, in funzione sia delle specie vegetali impiegate che della tecnica di esecuzione del sistema: cfr. VII.2.6

nell'acqua (ad esempio nitrati, nel caso dei fertilizzanti "a rilascio rapido" comunemente impiegati in agronomia; o fosforo, spesso ceduto dai substrati ricchi di compost impiegati in tetti e pareti verdi). Nutritivi organici o chimici che, specialmente nelle tecnologie del verde parietale che utilizzano sistemi di *coltivazione fuori suolo*, possono essere molto consistenti: tali inquinanti andrebbero poi a gravare sul sistema fognario che, quantomeno, dovrebbe essere debitamente concepito anche per la limitazione di questa ulteriore criticità.

Perciò, quando la qualità dell'acqua in uscita dal verde pensile sia importante (ad esempio in funzione di un suo riutilizzo) solitamente si tende a consigliare fertilizzanti "a lento rilascio" e/o substrati poveri di compost¹³⁴. Inoltre, nel caso in cui l'acqua venga re-immessa all'interno di circuiti domestici, anche il suo colore sarà un aspetto da non sottovalutare. Il liquido di *runoff*, benché qualitativamente migliore di quello in uscita dalle tipologie convenzionali di copertura, tende ad assumere un colore giallastro derivante dalla sua percolazione attraverso i substrati: fatto che potrebbe rappresentare un limite oggettivo al riutilizzo da parte di un possibile utente. Tale problematica andrà perciò debitamente conteggiata, veicolando il liquido di *runoff* verso un sistema fitodepurativo o di depurazione convenzionale¹³⁵. Fitodepurazione che, alla luce delle tecnologie oggi disponibili, potrebbe addirittura essere direttamente integrata alle chiusure verticali: l'azienda spagnola *Vivers Ter* ha recentemente brevettato la parete verde *Babylon*, le cui piante e la particolare conformazione tecnologica possono funzionare come sistema fitodepurativo¹³⁶.

VI.3.9. La compensazione ambientale

L'attività di edificazione è legata alla perdita di suolo naturale tramite una proporzionalità diretta. Perdita di suolo che presenta una serie di ripercussioni sociali, climatiche ed ambientali per tutti i motivi passati in rassegna nel presente capitolo. Tali considerazioni permettono di affermare che la scomparsa di suolo e vegetazione (intesa come la sommatoria di flora e fauna) non sia un fattore benefico per la vita dell'uomo. Ma purtroppo non può che accadere altrimenti, soprattutto vagliando tale dato alla luce delle recenti stime dell'Organizzazione delle Nazioni Unite che indicano come entro l'anno 2050 il mondo sarà abitato da circa 8,9 miliardi di persone, la gran parte delle quali residenti in agglomerati di tipo metropolitano.

Se l'edificazione è sicuramente l'attività a cui debba essere maggiormente imputata la perdita degli elementi ecosistemici, è palese come sia proprio questo comparto produttivo il primo che dovrebbe adottare dovute precauzioni a riguardo. Le modalità in cui i settori dell'architettura e dell'urbanistica possono evolversi da questo punto di vista non sono molte, e tutte si rifanno ai modelli proposti dallo sviluppo sostenibile: le nuove edificazioni dovrebbero essere ridotte al minimo prediligendo il recupero dell'esistente, utilizzando materiali il più ecologici possibile e preservando il suolo naturale.

Le tipologie di verde pensile e verticale sono quelle che offrono la migliore possibilità di *compensazione ambientale*, in quanto ad ogni superficie vegetale sottratta mediante l'attività edificatoria si potrebbe sopperire tramite l'introduzione di nuove superfici a verde, vegetando le chiusure verticali o superiori degli edifici (Fig.VI.51).

¹³⁴ DUNNETT, NIGEL, KINGSBURY, NOEL, op. cit., p.60

¹³⁵ DUNNETT, NIGEL, KINGSBURY, NOEL, ibidem

¹³⁶ Tale argomento verrà trattato con maggiore precisione nel prossimo capitolo: cfr. VII.2.6

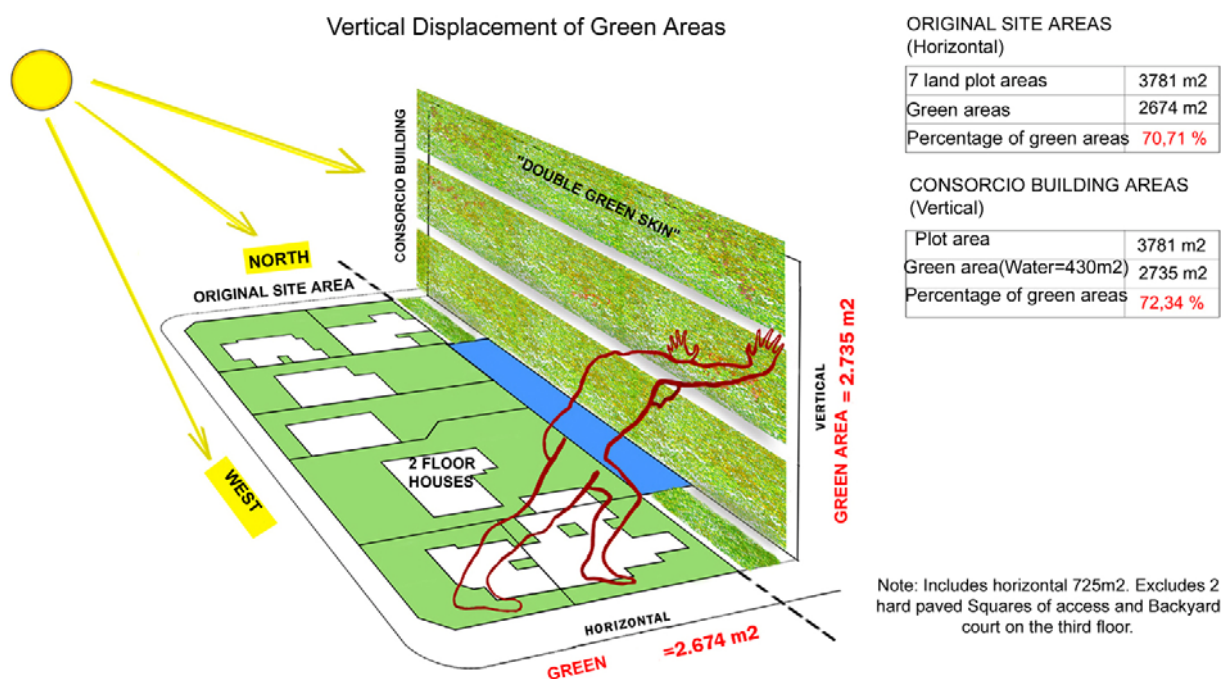


Fig.VI.51 – Questa immagine elaborata dall’arch. Enrique Browne riflette bene il concetto di compensazione ambientale. Nella progettazione dell’edificio *Consortio* di Santiago del Chile venne riportata in facciata, mediante l’ausilio del Verde Verticale, una superficie vegetale addirittura superiore a quella perduta a causa dell’edificazione. Si veda la contestuale Scheda Progetto al capitolo III. (Fonte: Enrique Browne y Arquitectos Asociados)

Questo tipo di sensibilità è riscontrabile in numerose parti del mondo, dove grazie ad alcune sperimentazioni (che inizialmente sembravano estemporanee o eccessivamente ambientaliste ma poi si sono rivelate fondate), si iniziò ad esigere che le superfici naturali negate dall’attività edificatoria venissero “restituite” mediante la realizzazione di tetti o pareti verdi. In alcune città europee e mondiali viene sollecitata la creazione di coperture a verde, sia per le nuove edificazioni che nelle attività di recupero edilizio, mediante incentivi economici, urbanistici o sgravi fiscali, soprattutto per motivazioni legate a gestione idrica e mantenimento della biodiversità. Tali pratiche derivano da nazioni come Germania, Svizzera, Giappone o nord America, e stanno iniziando solo recentemente a prendere piede anche in Italia¹³⁷.

Emerge quindi come gli involucri verdi – definizione che racchiude sia coperture a verde che pareti vegetate – abbiano importanti funzioni di rinaturalizzazione urbana dai punti di vista naturalistico, climatico, sociologico, ricreativo ed estetico. Bisogna porre attenzione al fatto che, però (soprattutto per quanto concerne le pareti vegetate, ma in minor entità anche le coperture), queste non dovranno in nessun caso essere considerate come un elemento *sostitutivo* delle aree verdi: il rischio già emerso in alcuni casi è che in nome della speculazione edilizia si tenda a considerare il verde parietale come un surrogato di parchi urbani o aree verdi¹³⁸.

¹³⁷ Si rimanda al paragrafo II.9 per una descrizione delle politiche finalizzate alla promozione della rinaturalizzazione cittadina.

¹³⁸ Si pensi alle vicissitudini e polemiche che hanno recentemente investito la giunta comunale di Milano, quando fu sacrificata l’area verde di *Parco Sempione* in favore di nuova consistente edificazione. Una delle risposte fornite dall’amministrazione cittadina come replica alle accuse mosse da numerosi gruppi e associazioni, fu che



Fig.VI.52 – Germán De Sol, *Hotel Remota*, Patagonia (Chile), 2008. Esempio di compensazione ambientale: la copertura dell'edificio ospita la stessa vegetazione autoctona circostante, in modo da restituire all'ecosistema naturale tutta la superficie negatagli mediante l'edificazione. (Fonte: <http://www.archdaily.com>)



Fig.VI.53 – Mindscape, progetto di *Rooftop Farm*. Lo studio giapponese Mindscape ha presentato questa proposta per invadire i tetti della città di Tokio, prevedendo di trasformarli in spazi agricoli. (Fonte: KURANISI, MIKIO, "I paesaggi di Mindscape", in bibl., p.53)

una consistente parte delle aree naturali eliminate sarebbero state reintegrate mediante l'inserimento di "boschi verticali" nei nuovi edifici. *Bosco verticale* è anche il nome di due grattacieli che andranno ad insistere proprio su quella parte di territorio una volta conclusa l'edificazione.

VI.4. Fonti di riferimento

In questo ultimo paragrafo verranno citati i riferimenti sia bibliografici che derivanti dalla consultazione di pagine *web*, utilizzati nella redazione del capitolo. Tutti i titoli qui segnalati saranno riportati anche nella *Bibliografia e sitografia generale*, reperibile nelle pagine finali della ricerca.

VI.4.1. Bibliografia tematica

1. ABRAM, PAOLO, *Giardini pensili – Coperture a verde e gestione delle acque meteoriche*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2004, pp.239
2. ALESSANDRO, S., BARBERA, G., SILVESTRINI, G., “Stato dell’arte delle ricerche concernenti l’interazione energetica tra vegetazione e ambiente costruito”, *Quaderno 13*, CNR – Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per l’edilizia e il risparmio energetico, CNR-IEREN, Palermo, 1987
3. ARIAUDO, FEDERICA, CORGNATI, STEFANO, FRACASTORO, GIAN VINCENZO, RAIMONDO, DANIELA, “Verso un edificio con pelle verde – Il ruolo del verde nel controllo microclimatico”, *CASA & CLIMA*, n.17, gennaio-febbraio 2009, pp.66-72
4. ARIAUDO, FEDERICA, CORGNATI, STEFANO, FRACASTORO, GIAN VINCENZO, RAIMONDO, DANIELA, “Cooling load reduction by green walls: results from an experimental campaign”, *Atti del 4th International Building Physics Conference*, Istanbul, Turchia, 15-18 giugno 2009
5. ARIAUDO, FEDERICA, FRACASTORO, GIAN VINCENZO, “Il verde parietale come elemento di controllo dei carichi termici”, *Il Progetto Sostenibile*, n.15, 2007, pp.56-65
6. ARIAUDO, FEDERICA, FRACASTORO, GIAN VINCENZO, “Il verde parietale e i suoi aspetti architettonici e fisico-tecnici” pp.77-90 in CHIUPPANI, ANNA ELISA, PREST, TATIANA, *La progettazione del verde per il controllo microclimatico*, Monfalcone, EdicomEdizioni, 2008
7. BELLOMO, ANTONELLA, *Pareti verdi – Linee guida alla progettazione*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2003, pp.155
8. BERGER, RONEN, MCLEOD, JOHN, “Incorporating nature into therapy: a framework for practice”, *Journal of Systemic Therapies*, n.25, 2006, pp.80-94
9. BERGER, RONEN, “Using contact with nature, creativity and rituals as a therapeutic medium with children with learning difficulties: a case study”, *Emotional and Behavioural Difficulties*, n.11, 2006, pp.135-146
10. BERTAGNIN, MAURO, *Bioedilizia – Progettare e costruire in modo ecologicamente consapevole*, Edizioni GB, 1996, pp.320
11. BIT, EDOARDO, GIACOMELLO, ELENA, “L’integrazione fra sistemi di involucro e componenti vegetali per la mitigazione ambientale nel clima Mediterraneo”, pp.6, in GERMANÀ, MARIA LUISA (a cura di), *Permanenze e Innovazioni nell’architettura del Mediterraneo – Materiali del VI Seminario OSDOTTA*, 2011 (in corso di pubblicazione)
12. CECCHERINI NELLI, LUCIA, “Schermature per esterno”, pp.81-109, in SALA, MARCO (a cura di), *Schermature solari*, Firenze, Alinea, 2000
13. CHIESURA, ANNA, “The role of urban parks for the sustainable city”, *Landscape and Urban Planning*, n.68, 2004, pp.129-138

14. D.Lgs. del 19 agosto 2005, n. 192 – *Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia*
15. D.Lgs. del 29 dicembre 2006, n. 311 – *Disposizioni correttive ed integrative al D.Lgs. agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia*
16. DI, H. F., WANG, D. N., "Cooling effect of ivy on a wall", *Experimental heat transfer*, n.12, 1999, pp.235-245
17. DUNNETT, NIGEL, KINGSBURY, NOEL, *Planting Green Roofs and Living Walls*, London, Timber Press, 2008, pp.328
18. FRONTERO, PAOLO, "Le isole di calore urbane", pp.259-261, in BARUCCO, MARIAANTONIA, TRABUCCO, DARIO, (a cura di), *ARCHITETTURA_ENERGIA – Un'indagine su complesso rapporto tra la professione dell'architetto e la questione energetica*, Monfalcone, EdicomEdizioni, 2007
19. GERI, VINCENZO, *Progettare l'ambiente, progettare nell'ambiente*, Milano, Il Sole 24 Ore/Pirola, 2002, pp.926
20. GRAHN, PATRIK, STIGSDOTTER, ULRIKA A., "Landscape planning and stress", *Urban Forestry & Urban Greening*, n.2, 2003, pp.1-18
21. HOYANO, AKIRA, "Climatology uses of plants for solar control and the effects on thermal environment of a building", *Energy and Buildings*, n.11, 1988, pp.181-199
22. IP, K., LAM, M., MILLER, M., "Bioshaders for sustainable buildings", in *CIB World Building Congress 2004, 02-07/05/2004*, Toronto, Ontario, Canada
23. IPCC, *Climate Change 2007: Synthesis Report – Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment*, Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)], Geneva, IPCC, 2008, pp.104
24. KANG, JIAN, "Paesaggio sonoro e comfort acustico negli spazi urbani aperti", pp.55-62, in ROGORA, ALESSANDRO, DESSI, VALENTINA (a cura di), *Il comfort ambientale negli spazi aperti*, Monfalcone (GO), EdicomEdizioni, 2005, pp.152
25. KANG, JIAN, ZHANG, MEI, "Acoustic simulation and soundscape in urban squares", *Proceedings of the 10th International Congress on sound and vibration*, Stockholm, Sweden, luglio 2003
26. KUO, FRANCES E., SULLIVAN, WILLIAM C., "Environment and crime in the inner city – Does vegetation reduce crime?", *Environment and Behavior*, n.33, 2001, pp.343-367
27. KURANISI, MIKIO, "I paesaggi di Mindscape", *Nemeton*, n.1, aprile 2009, pp.52-53
28. LAM, M., IP, K., MILLER, M., "Development of bioshaders for office buildings in the United Kingdom", *CIB Student Chapters International Symposium, Innovation in Construction and Real Estate*, The Hong Kong Polytechnic University, settembre 2003
29. MASOTTI, SIMONE, "Soluzioni verdi", *Arketipo*, n.21, marzo 2008, pp.112-113
30. MITCHELL, RICHARD, PAPHAM, FRANK, "Effect of exposure to natural environment on health inequalities: an observational population study", *Lancet*, n.372, 2008, pp.1655-1660
31. NALI, CRISTINA, "Le piante e l'inquinamento dell'aria", *L'architettura naturale*, n.1, giugno 1998, pp.53-55
32. NIERI, MARCO, *Bioenergetic Landscape – La progettazione del giardino terapeutico bioenergetico*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2009, pp.256
33. NOWAK, DAVID J., CRANE, DANIEL E., STEVENS, JACK C., "Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States", *Urban Forestry & Urban Greening*, n.4, 2006, pp.115-123

34. PAPADAKIS, G., TSAMIS, P., KYRITSIS, S., "An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buildings", *Energy and buildings*, n.33, 2001, pp.831-836
35. PERON, FABIO, "Vegetazione e ambiente costruito: aspetti termoisolativi", pp.62-95, in TATANO, VALERIA (a cura di), *VERDE: naturalizzare in verticale*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli Editore, 2008
36. POLI, TIZIANA, FIORI, MATTEO, GATTONI, LUCA, ZAPPALÀ, DANIELE, DAGNA, PARIDE, "Il respiro della città. L'influenza dell'involucro verde sulle variazioni microclimatiche nell'area metropolitana milanese," pp.479-488, in *Artec, L'involucro edilizio*, atti del convegno ARTEC 2007 – Ancona 22-24/11/2007
37. RUROS – REDISCOVERING THE URBAN REALM AND OPEN SPACES, *Progettare gli spazi aperti nell'ambiente urbano: un approccio bioclimatico*, Edito da: C.R.E.S. – Centre for Renewable Energy Sources, 2004, pp. 61 (tr. it. a cura di SCUDO, GIANNI, DESSÌ, VALENTINA, ROGORA, ALESSANDRO)
38. SCUDO, GIANNI, "La vegetazione domestica e il controllo del microclima", *L'architettura naturale*, n.1, giugno 1998, pp.25-35
39. SCUDO, GIANNI, OCHOA DE LA TORRE, JOSÉ MANUEL, *Spazi verdi urbani – La vegetazione come strumento di progetto per il comfort ambientale negli spazi abitati*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2003, pp.223
40. SEELAND, KLAUS, DUBENDORFER, SABINE, HANSMANN, RALF, "Making friends in urban Zurich's urban forest and parks: The role of public green space for social inclusion of youths from different cultures", *Forest Policy and Economics*, n.11, 2009, pp.10-17
41. SHAN, YIN, JINGPING, CAI, LIPING, CHEN, ZHEMIN, SHEN, XIAODONG, ZOU, DAN, WU, WENHUA, WANG, "Effects of vegetation status in urban green spaces on particle removal in a street canyon atmosphere", *Acta Ecologica Sinica*, n.27, 2007, pp.4590-4595
42. SIRAGUSA, LUCA (a cura di), *Prestazioni energetiche dei sistemi di inverdimento verticale*, Università IUAV di Venezia, ArTec – Archivio delle Tecniche e dei materiali per l'architettura e il disegno industriale, documento on-line disponibile all'indirizzo <http://www.iuav.it/SISTEMA-DE/Archivio-d/approfondi/progettare/00-indice-energetiche.pdf>, pp.40
43. STEC, W.J., VAN PAASSEN, A.H.C., MAZIARZ, A., "Modelling the double skin facade with plants", *Energy and buildings*, n.37, 2005, pp.419-427
44. SULLIVAN, WILLIAM C., KUO, FRANCES E., DEPOOTER, STEPHEN F., "The fruit of urban nature - Vital neighborhood spaces ", *Environment and Behavior*, n.36, 2004, pp.678-700
45. TAKANO T., NAKAMURA, K., WATANABE, M., "Urban residential environments and senior citizens' longevity in megacity areas: the importance of walkable green spaces", *J. Epidemiol. Community Health*, n.56, 2002, pp.913-918
46. TOMAŠEVIĆ M., VUMKIROVIĆ Z., RAJSIĆ S., TASIĆ M., STEFANOVIĆ B., "Characterization of trace metal particles deposited on some deciduous tree leaves in an urban area", in *Chemosphere*, n.61, 2005, p.753-760
47. TUCCI, FABRIZIO, "Sistemi tecnologici per la schermatura bioclimatica dall'irraggiamento solare", pp.225-273, in *Involucro ben temperato – Efficienza energetica ed ecologica in architettura attraverso la pelle degli edifici*, Firenze, Alinea, 2006
48. TUCCI, FABRIZIO, *Thomas Herzog e Fabrizio Tucci – P.d.Z. "Lunghezzina 2" (progetto vincitore)*, "L'architettura naturale", n.27, giugno 2005, pp.10-17
49. ULRICH, ROGER S., "View through a window may influence recovery from surgery", *Science*,

n.224, 1984, pp.420-421

50. WANG, G., JIANG, G., ZHOU, Y., LIU, Q., JI, Y., WANG, S., CHEN, S., LIU, H., "Biodiversity conservation in a fast-growing metropolitan area in China: a case study of plant diversity in Beijing", *Biodiversity & Conservation*, n.16, 2007, pp.4025-4038
51. WELLS, NANCY M., EVANS, GARY W., "Nearby Nature: A Buffer of life stress among rural children", *Environment and Behavior*, n.35, 2003, pp.311-330
52. ZAIYI, LIAO, NIU, J. L., *Study on thermal function of ivy-covered walls*, 6th International IBPSA Conference, 1999

VI.4.2. Sitografia tematica¹³⁹

- <http://www.ibimet.cnr.it>
Portale dell'Istituto di Biometeorologia del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR).
- <http://w3.uniroma1.it/ecologia>
Pagina web appartenente all'Università *La Sapienza* di Roma, Dipartimento di Ecologia Ambientale, area Bioecologia.
- <http://www.iuav.it/homepage/artec>
Laboratorio *Artec* dell'Università IUAV di Venezia: spazio fisico e multimediale dedicato all'«Archivio delle tecniche e dei materiali per l'architettura e il disegno industriale».
- <http://www.archdaily.com>
Archdaily è la rivista on-line di architettura più visitata al mondo.
- <http://culturadelverde.imagelinenetwork.com>
Cultura del verde è un portale web multidisciplinare (architettura, tecnologia, paesaggistica, agricoltura, agronomia, ecc) che mira a offrire «un panorama completo delle soluzioni, delle notizie e degli approfondimenti sul mondo del verde» tramite «un motore di ricerca in cui sono raccolti articoli, informazioni e pubblicazioni».
- <http://dustygedge.co.uk>
Sito di Dusty Gedge: egli è un «consulente in flora e fauna selvatiche, esperto in coperture a verde».
- <http://www.husos.info>
Sito web dello studio ispanico-colombiano *HUSOS*, fondato dagli architetti Diego Barajs e Camilo Garcia.
- <http://www.archibio.it>
Sito web dedicato alla pratica del *bioenergetic landscape* (giardino bioenergetico).

¹³⁹ Ultima visita ai siti web di seguito citati: venerdì 18 febbraio 2011.



VII. Elementi d'innovazione tecnologica e culturale che interessano la pratica della verticalizzazione vegetale

Nella sezione finale della ricerca si mira a comprendere quale possa essere la tendenza evolutiva futura, nel breve/medio periodo, delle tecnologie oggetto di studio. Sviluppo che allo stato dell'arte contemporaneo può essere identificato mediante un duplice filone, riguardante sia i miglioramenti sistemici intrinseci² relativi alle varie *funzionalizzazioni*³ specifiche che tali tecnologie possano permettere, sia gli innovativi sviluppi edilizi e progettuali derivanti dal fatto che l'impiego delle tecnologie del verde può marcare profondamente le risultanti formali del fabbricato che le ospita.

Le modalità evolutive appartenenti al primo citato gruppo interesseranno le chiusure vegetate mediante uno sviluppo identificabile con il sempre maggiore affinamento sistemico e tecnico, offrendo alla parete a verde la possibilità di acquisire funzioni sempre più precise ed innovative che ne giustifichino, di conseguenza, un utilizzo più pertinente e maggiormente specialistico in base al contesto ambientale o funzionale d'inserimento. Ciò al fine di evidenziare come il sistema tecnologico della chiusura vegetata possa essere pienamente sfruttato e ben impiegato soprattutto se associato a precisi scopi funzionali che risulterebbero invece impossibili per altre tipologie di facciata; in altre parole, l'impiego di una chiusura edilizia integrante su di sé la vegetazione naturale permette di relegare la tecnologia studiata ad un campo progettuale e funzionale che gli è totalmente proprio, ed al quale solo essa potrebbe fornire opportuna risposta esclusivamente in forza del fatto di contenere in superficie un apparato a verde composto da vegetazione e substrati.

Anche gli sviluppi edilizi e morfologici recati dalle specificità di un sistema tecnologico del genere risultano importanti. Operare mediante degli elementi vegetali sulle superfici edilizie di chiusura significa variare profondamente, in tutto o in parte, quelli che sono i paradigmi compositivi e figurativi da sempre fondanti la disciplina architettonica, inserendovi una nuova materia di progettazione integrata che combina edificio e natura, con ovvie ed importanti ripercussioni sul modo di concepire la *facciata* dell'edificio, la sua risultante finale e la sua funzionalità.

L'obiettivo del presente capitolo sarà quindi quello di delineare ed esplicitare, come stadio finale del lavoro di ricerca proposto, gli sviluppi scientifici e tecnici, assodati o *di confine*, della tecnologia delle chiusure verticali vegetate; in modo da evidenziare gli stadi più avanzati ed interessanti che investono l'oggetto di studio, con lo scopo non secondario di poter fungere da base scientifica di partenza per eventuali sviluppi di ricerca futuri.

VII.1. Sviluppi progettuali e morfologici resi possibili dall'integrazione fra vegetazione e architettura

Le attuali modalità globali di concepire il rapporto fra l'essere umano e la natura⁴, e le inedite possibilità costruttive stanno rendendo possibili non solo nuove possibilità tecnologiche o sistemi

¹ L'immagine della pagina precedente ritrae un dettaglio delle chiusure verticali del padiglione dell'India presso l'Expo di Shanghai 2010. (Fonte: Giovanni Zannoni)

² Legati cioè alla parete verde come sistema tecnologico.

³ Il significato del termine *funzionalizzato* è stato descritto in apertura di ricerca: cfr. paragrafo I.5.

⁴ Tali argomenti sono stati trattati nei capitoli I e II.

costruttivi, ma stanno anche registrando inedite ripercussioni morfologiche e figurative all'interno dell'insieme delle varie materie che compongono la disciplina dell'architettura. Gli aspetti paradigmatici legati alle tematiche della sostenibilità, che in un primo momento hanno condotto alla nascita di edifici sempre più verdi nella *sostanza* (minor consumo energetico e delle risorse in tutto, o quasi, il ciclo di vita di un manufatto) hanno come risvolto consequenziale e secondario quello di modificare anche le prassi progettuali della pratica architettonica, con risultato che oggi numerosi edifici tendono a diventare sempre più verdi anche nella *forma*.

Grazie all'azione sinergica tra le citate istanze culturali ed i più contemporanei risvolti della tecnica architettonica, il manufatto edilizio tende ad oggi ad operarsi in una commistione sempre più decisa con l'ambiente naturale, col risultato che si possa sempre più spesso assistere ad un'ibridazione fra quei due sistemi ambientali – esterno e interno – che le normative tecniche relative al settore disciplinare della Tecnologia dell'Architettura avevano sempre considerato come distaccate. «La richiesta di nuovi valori ecologici mette in moto una rincorsa virtuosa alla sostenibilità, assottigliando le differenze teoriche e pratiche fra il fare architettura, paesaggio e pianificazione. Creando un modo nuovo e interdisciplinare di fare progettazione [...] riscoprendo la natura, i suoi cicli e le sue regole. Per trovare nuove risposte alle problematiche del reale»⁵.

La presenza di sistemi tecnologici quali coperture a verde, rivestimenti vegetali, chiusure vegetate sta negli ultimi anni aumentando fortemente, e tali tecnologie, solo fino a pochi anni fa considerate quasi delle sperimentazioni architettoniche estemporanee o comunque di nicchia, oggi diventano all'ordine del giorno, tanto che addirittura alcune municipalità o regioni le rendono obbligatorie per legge⁶. L'edificio tende ad incorporare con sempre maggiore frequenza apparati vegetali o di *tecnonatura*⁷, tanto che una relazione simbiotica tra fabbricato e spazio naturale diviene sempre più forte e convenzionale: l'architettura sta divenendo – anche se sarebbe forse meglio dire che sta ritornando ad essere – un elemento biotico.

Architetture e spazio urbano registrano oggi la tendenza ad essere rivestiti e penetrati da apparati o superfici vegetate, in un passaggio senza soluzione di continuità dalla piccola, alla media, alla grande scala di applicazione. Ne deriva quindi che una delle previsioni sicuramente futuribili riguarda la possibilità che anche la conurbazione, in un passaggio di scala ulteriore, possa venire interessata in un futuro prossimo da una sorta di “regressione ambientale” dove la presenza vegetale tenda ad aumentare anziché diminuire, controvertendo la tendenza degli ultimi due secoli. Dove possa essere la vegetazione questa volta ad invadere gli spazi metropolitani, e dove magari le *croste urbane*⁸ citate in apertura di ricerca possano venire magari riassorbite dall'ecosistema. Tale riassorbimento naturale non sarà però sicuramente interessato da elementi ecosistemici puramente naturali, ma esso non potrà che essere mediato dalla tecnologia; da una tecnologia però a totale servizio dell'ecosistema, quindi un'ibridazione positiva come risultante evolutivistica dei progressi tecnologici oggi in atto, e che possa mirare al raggiungimento di quelli che al momento sono solo i primi stadi della nuova pratica progettuale definita come *vegetectura*⁹.

⁵ FABRIS, LUCA MARIA FRANCESCO, *Tecnatura: progetti per la rivoluzione ambientale*, in bibl., p. quarta di copertina.

⁶ Cfr. II.9

⁷ Definizione desunta da Luca M. F. Fabris, ad indicare quelle realizzazioni architettoniche in cui vi sia una spiccata compenetrazione e complementarità fra apparato vegetale e tecnologico. Cfr. FABRIS, LUCA MARIA FRANCESCO, op. cit.

⁸ Cfr. I.1

⁹ La definizione di *vegetectura* (dall'inglese *vegitecture*) sottende tutte quelle concretizzazioni progettuali – assolutamente contemporanee ma che affondano le proprie radici in molteplici sperimentazioni del passato – in

VII.1.1. La tendenza alla compenetrazione fra edificio e vegetazione come indicatore del mutamento paradigmatico nella relazione architettura/natura

Una volta compresi ed associati i benefici non soltanto figurativi o compositivi ma anche ambientali e microclimatici¹⁰ inerenti alla presenza di vegetazione in ambienti aperti e confinati, si rileva come una delle tendenze dell'architettura contemporanea sia quella di ricreare una spiccata commistione fra architettura e natura negli ambienti interni degli edifici. Tale prassi è sicuramente da lungo tempo riscontrabile ma le tecniche della modernità permettono a questa pratica di superare dei confini tecnologici che in passato si rivelavano limitanti per lo sviluppo di tale modalità progettuale. Infatti, se fin da secoli addietro era abbastanza usuale l'inserimento di superfici naturali o esemplari vegetali all'interno dell'opera architettonica con lo scopo sia dell'abbellimento di uno spazio che con quello di sfruttarne il beneficio microclimatico, tali sperimentazioni erano comunque sempre frenate dalle implicazioni tecnologiche e strutturali necessarie per attuare questa pratica.



Fig.VII.1 – A sinistra. *Alcazar* di Siviglia (Spagna). Come da prassi dell'architettura mediorientale tradizionale, in questo spazio semi-aperto l'integrazione fra architettura, vegetazione (arborea, rampicante, arbustiva) ed acqua serve non solo all'abbellimento dello spazio ma anche per beneficiare delle valenze microclimatiche apportate dal verde.

Fig.VII.2 – A destra. Peter Koch, ampliamento del padiglione danese presso i Giardini della Biennale di Venezia, 1959. Gli edifici con destinazioni d'uso non convenzionale sono stati tra i primi a tentare un dialogo con gli elementi della natura: dalla foto si evince come il tetto del manufatto sia stato costruito – complice anche la sensibilità ambientale della direzione della Biennale – intorno ad un albero pre-esistente, quindi nel totale rispetto delle specie arboree del parco. Inglobare gli elementi della natura all'interno di spazi architettonici “intermedi” è stato il primo passo verso la compenetrazione fra architettura e paesaggio.

cui vi sia un forte connubio relazionale fra edificio ed elementi paesaggistici o naturali. Tale denominazione è dunque volutamente generica, volta ad indicare un filone di ricerca e non un particolare aspetto costruttivo o sistema tecnologico.

¹⁰ Ossia tutti quelli descritti nel capitolo precedente.



Fig.VII.3 – Sverre Fehn, padiglione dei Paesi Nordici presso i Giardini della Biennale di Venezia, 1961. Fehn è uno dei maestri nell'integrazione fra architettura e paesaggio naturale; in questo caso l'architetto norvegese non solo ha studiato una particolare conformazione per la connessione trave-pilastro in modo che potesse ospitare un platano pre-esistente (immagine di sinistra), ma ha anche sviluppato l'intero spazio interno utilizzando come fulcro visivo i tre alberi precedentemente riscontrabili in loco (vista dell'interno, a destra). Si noti la similitudine di tale azione progettuale con quella descritta nell'immagine precedente (cfr. Fig.VII.2), anche alla luce del fatto che i due progetti sono stati concepiti contemporaneamente da due architetti provenienti entrambi dalla penisola scandinava.

Limitazioni tecnologiche che impedivano ad esempio di portare acqua o vegetazione ai piani interni elevati da terra di un qualunque edificio, o a quelle relative al deflusso del liquido irriguo, oppure al fatto che massicce dosi di terreno avrebbero richiesto un iper-dimensionamento strutturale. I moderni progressi della scienza e della tecnica, non solo in campo architettonico ma anche agronomico e impiantistico¹¹, rendono possibile una notevole libertà progettuale per quel che concerne la strategia progettuale della compenetrazione fra edificio e paesaggio.

Inglobare la vegetazione all'interno di un manufatto architettonico significa per l'essere umano non solo poter godere dei benefici visuali e psicologici conseguenti alla convivenza con le piante, ma anche poter beneficiare dell'azione di climatizzazione naturale e della purificazione dell'aria messe passivamente in gioco dagli organismi vegetali nell'espletamento delle proprie attività metaboliche. Per tali motivi, e conseguentemente alla citata mutazione dei paradigmi concettuali che interessano le modalità di comprensione e interpretazione dei dettami legati alla progettazione sostenibile, si possono registrare con sempre maggiore frequenza – anche se comunque risultano tutt'oggi ancora limitate dal punto di vista numerico – delle sperimentazioni progettuali che impieghino le varie declinazioni della vegetazione come materia progettuale, inglobandola all'interno di spazi architettonici confinati (da Fig.VII.4 a Fig.VII.6) o incastonando intensivamente logge e spazi verdi semiaperti sulle facciate di organismi edilizi. Fare ciò non significa ovviamente operare delle scelte architettoniche di tipo prettamente compositivo o formale, ma richiede una preparazione culturale multidisciplinare

¹¹ Si pensi alla coltivazione idroponica ed alla fertirrigazione, che permettono di ottimizzare lavorazioni e risultati agricoli diminuendo gli spessori di substrato e le richieste nutritive delle piante.

nonché la necessità di ponderare in modo preciso ed attento tutta una serie di conseguenze legate all'opzione di portare la vegetazione all'interno dei confini del manufatto architettonico.



Fig.VII.4 – A sinistra. Behnisch Architekten, *Istituto di Ricerca Forestale e Naturale*, Wageningen (Paesi Bassi), 1998. Il cortile interno all'edificio contiene una grande quantità di specie vegetali erbacee, arbustive, arboree e rampicanti, che ricevono la radiazione luminosa loro necessaria attraverso la copertura totalmente vetrata. Come visibile nell'angolo in basso a destra dell'immagine, sono presenti anche alcune vasche d'acqua: la compresenza di vegetazione, acqua ed esseri umani contribuisce a ricreare un ecosistema negli ambienti confinati dell'edificio. (Fonte: GAUZIN-MÜLLER, DOMINIQUE, *L'architecture écologique*, in bibl., p.219)

Fig.VII.5 – A destra. Hans Hollein, *Vulcania Theme Park*, Saint-Ours-Les-Roches (Francia), 2002. Anche in questo caso la fusione fra architettura e vegetazione naturale è accentuata, e le piante, seppur inserite all'interno, riescono a vegetare normalmente. Si noti anche in questo caso l'abbondante presenza di luce naturale garantita dalle ampie finestre presenti: come visto nei capitoli precedenti, condizione essenziale alla vita vegetale è proprio quella della disponibilità luminosa. (Fonte: PAVARINI, STEFANO, "Il grande cono – Vulcania Theme Park", in bibl., p.60)

Seppur la conduzione della materia vegetale nello spazio edilizio confinato porti con sé degli indubbi vantaggi, risulta altrettanto palese come tale azione richieda l'integrazione edilizia di adeguati sistemi tecnologici funzionali alla vita delle piante, nonché di una certa attenzione verso tutti quegli aspetti manutentivi e gestionali visti nei capitoli precedenti. Fattori che oltre a pesare sull'aumento dei costi costruttivi, gestionali e dell'energia incorporata nel fabbricato, ne aumenteranno anche le potenziali criticità in sede progettuale o esecutiva. Per di più, andrà sempre debitamente conteggiato il fatto che qualora si aumentino le specie presenti in un dato luogo aumenteranno anche proporzionalmente le relazioni e possibili problematiche (intraspecifiche o interspecifiche¹²) intercorrenti fra di esse, nonché l'attenzione, la cura e le energie – anche economiche – da investire nell'impianto.

¹² Le relazioni *intraspecifiche* interessano comunità vegetali della stessa specie, mentre quelle *interspecifiche* si riferiscono a specie diverse all'interno del medesimo spazio o appezzamento.



Fig.VII.6 – A sinistra. Behnisch Architekten, *Genzyme Center*, Cambridge (USA), 2003. Spazi sia interni che semiaperti dell’edificio, a terra o ai vari piani dello stesso, contengono un alto numero di presenze vegetali (arboree, arbustive ed erbacee) puntuali o in gruppi; il tutto è completato dalla presenza di vasche e fontane d’acqua. Tali elementi naturali servono non solo a rendere lo spazio confinato maggiormente vivibile, ma anche a modificare il microclima. (Fonte: <http://inhabitat.com/genzyme-center>)

Fig.VII.7 – A destra. Renzo Piano Building Workshop, padiglione *Bolla* presso il Porto Antico di Genova, 2001. In questo caso la compenetrazione fra edificio e natura è portata al limite: il fabbricato ospita al proprio interno la riproduzione dell’ecosistema della foresta tropicale pluviale, con tanto di esemplari sia animali che vegetali tipici di tale bioma. I fini che hanno animato la realizzazione di tale manufatto sono comunque inversi rispetto a quelli finora declinati in quanto, nel caso specifico, è l’edificio a consentire un beneficio alle piante ivi contenute tramite l’effetto filtro-barriera creato dalle chiusure trasparenti o dagli impianti tecnologici.

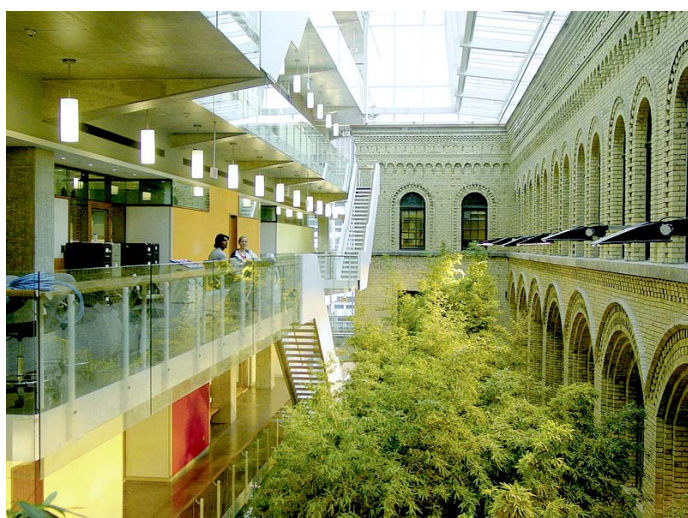


Fig.VII.8 – Behnisch Architekten, *TDCCBR*, Toronto (Canada), 2006. L’edificio, facente parte del campus universitario, è pervaso a tutti i piani da numerosi cortili interni vegetati. L’elevato numero di progetti appartenenti a Behnisch Architekten e riportati in questo paragrafo, configurano lo studio tedesco come il più importante in materia d’integrazione progettuale fra natura e architettura. Dalle due immagini qui riportate si noti come la materia vegetale contribuisca a modificare la percezione spaziale dei vari atri interni. (Fonte: <http://www.archnewsnow.com/features/Feature197.htm>)

La tecnica progettuale descritta trova le proprie matrici tecniche e formali in certe sperimentazioni dell'antichità, seppur possa oggi contare su delle innovazioni tecnologiche che ne permettono, oltre che delle inedite possibilità tecniche, anche delle indiscusse evoluzioni formali. Se fin da tempi lontani si comprese che inserire esemplari vegetali (unitamente a certe dosi d'acqua per provvedere alla loro vita) in ambienti confinati o semi-aperti potesse conferire dei benefici microclimatici al relativo spazio d'insistenza (Fig.VII.1), le generazioni del passato dovettero comunque scontrarsi con la difficoltà di condurre dei grandi esemplari vegetali e le relative quote di terreno naturale in ambienti confinati o comunque lontani dalla quota di campagna, con la conseguenza che spesso i benefici non valessero l'investimento: motivo che ha sicuramente limitato l'espansione storica del fenomeno.

Inoltre, risulta necessario evidenziare che tale tecnica – sia passata che contemporanea – è ben diversa da quella di collocare dei vasi di piante all'interno di spazi architettonici, seppur non possa che essere considerata una sua evoluzione. Questo perché nelle modalità descritte in questo paragrafo si tratta di ricreare all'interno di uno spazio confinato un sistema integrato ed ibrido che possa permettere la vita ad estensioni di vegetazione dimensionalmente anche molto grandi, e quindi di un ecosistema naturale che possa portare un certo beneficio all'essere umano; mentre lo scarso quantitativo di verde associabile a qualche presenza puntuale in vaso non potrebbe recare il medesimo servizio.

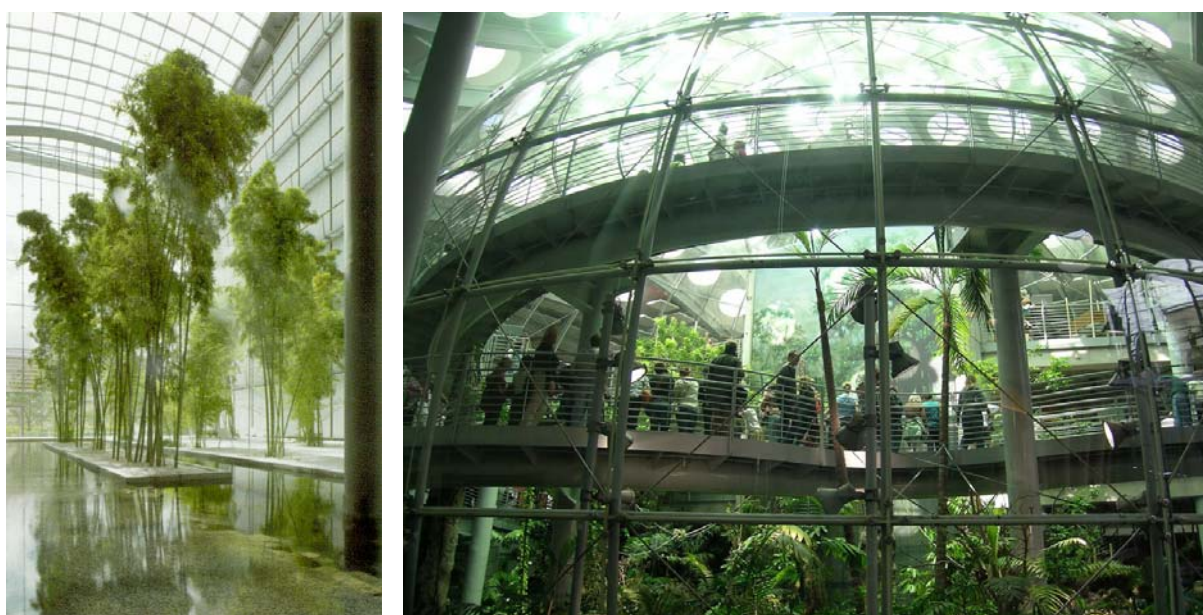


Fig.VII.9 – A sinistra. Ingenhoven Architekten, *Centro di aviazione Lufthansa*, Francoforte (Germania), 2006. L'edificio presenta dieci corti interne completamente racchiuse dall'involucro architettonico: ognuna di queste è trattata come un parco e contiene un alto numero di specie vegetali e vasche d'acqua. Nell'immagine qui riportata sono visibili alcuni esemplari vegetali di bambù. (Fonte: MINGUZZI, GIANLUCA, *Architettura sostenibile – Una scelta responsabile per uno sviluppo equilibrato*, in bibl., p.133)

Fig.VII.10 – A destra. Renzo Piano Building Workshop, ampliamento della *California Academy of Science*, San Francisco (USA), 2008. Gli interni del fabbricato sono popolati da un altissimo numero di esemplari vegetali e animali, al fine di riprodurre l'habitat di altre regioni della Terra. Si noti la somiglianza di questo progetto con quello di Fig.VII.7, redatti entrambi dallo stesso architetto. (Fonte: <http://www.friscokids.net/2010/06/deal-of-day-california-academy-of.html>)



Fig.VII.11 – Sou Fujimoto, *House N*, Oita (Giappone), 2008. In chiusura di paragrafo si riporta un esempio *low-tech* d'integrazione architettura/natura. Questa casa privata è composta da tre involucri dello stesso materiale che si contengono l'un l'altro come fossero delle scatole cinesi. L'involucro più interno contiene i vari vani dell'abitazione, quello intermedio rappresenta le chiusure vere e proprie dell'edificio, mentre il guscio più esterno coincide col confine del lotto e quindi delimita lo spazio semiaperto di pertinenza. Tra il secondo e il terzo involucro (foto di destra) vi è il cortile dell'abitazione: un giardino roccioso dove presenziano alcuni esemplari arborei. Si notino le forature presenti anche sulla copertura dell'involucro più esterno, in modo da uniformare la conformazione delle chiusure. (Fonte: <http://www.archdaily.com>)

VII.1.2. L'involucro architettonico tende a diventare un elemento completamente vegetato

Ulteriore modalità che interessa la pratica progettuale nella sua continua evoluzione verso la vegetalizzazione interessa l'interezza dell'involucro edilizio¹³. Se come visto in precedenza è possibile affermare che superfici e porzioni vegetate stanno invadendo con sempre maggiore frequenza tetti e facciate di manufatti architettonici, è altrettanto vero che è oggi possibile riscontrare una pratica del tutto nuova: accade infatti sempre più spesso che l'involucro architettonico tenda a diventare un elemento *completamente* ricoperto di vegetazione naturale. In altre parole, se agli albori delle contemporanee tecniche per l'inverdimento di tetti e pareti questi tendevano ad essere impiegati solo su porzioni edilizie limitate, essi hanno conosciuto nel tempo, grazie all'affinamento della scienza e della tecnica, un sempre maggiore aumento della superficie effettivamente vegetata o vegetabile. Aumento quantitativo che ha permesso il passaggio da piccole o modeste porzioni invadite fino alle più recenti modalità che permettono di vegetare *interi* tetti o pareti, anche se di notevoli dimensioni. Ulteriore tendenza evolutiva consiste nel fatto che, una volta che chiusure verticali e superiori a verde si siano potute utilizzare simultaneamente nel progetto, queste sono riuscite a trovare una congiunzione tecnologica reale in corrispondenza dell'attacco al cielo dell'edificio, fino a ricreare una continuità fra tetto e parete vegetata.

¹³ Col termine *involucro* si intende, in questa sede, la sommatoria delle chiusure verticali e superiori di un edificio, anche nel caso in cui una particolare conformazione volumetrica non le renda facilmente distinguibili.

Accade quindi che lo sviluppo della tecnica e delle modalità progettuali abbia permesso di passare *dalla parete (o copertura) a verde all'involucro completamente vegetato*. Involucro totalmente inverdito che dal punto di vista formale e concettuale è senz'altro considerabile come un'evoluzione dell'edificio ipogeo, semanticamente interpretabile mediante una sua progressiva fuoriuscita dal terreno fino a diventare prima un edificio parzialmente interrato, e poi un manufatto completamente fuori terra ma che è riuscito a trattenere sulla propria pelle edilizia un certo quantitativo di substrato e vegetazione.

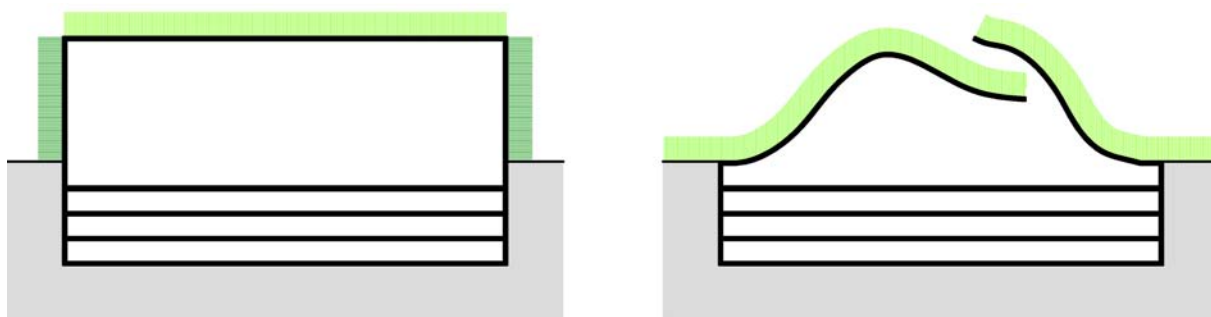


Fig.VII.12 – Le sezioni schematizzate rappresentano le due modalità oggi esistenti per realizzare involucri completamente vegetati, qualora si voglia agire esclusivamente sulle tecnologie di chiusura. A sinistra è rappresentato un involucro inverdito mediante la collaborazione di due sistemi differenti, ossia copertura a verde (col colore più chiaro) e parete vegetata (verde scuro). Il disegno a destra raffigura invece un involucro inverdito impiegando esclusivamente la tecnica della copertura a verde (intensiva e/o estensiva, sempre in verde chiaro): esso, rispetto al caso precedente, permette una maggiore uniformità di chiusura ma, causa le peculiarità di tale tecnologia, non potrà mai raggiungere la totale verticalità.

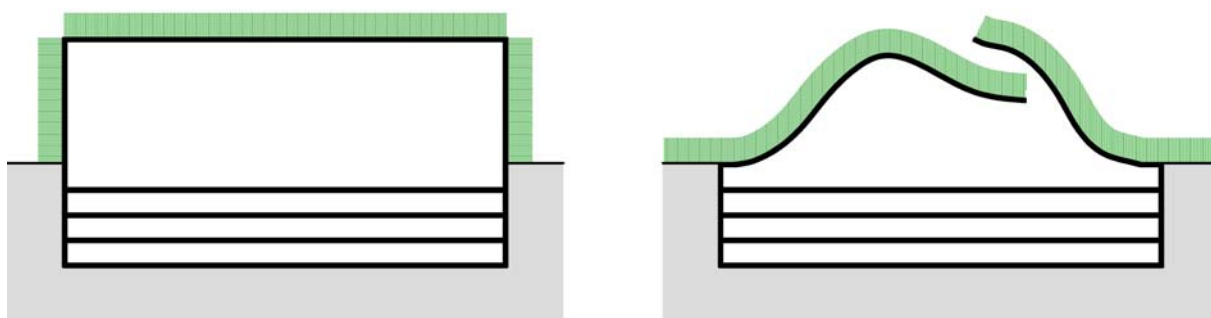


Fig.VII.13 – Lo schema rappresenta quello che dovrebbe rappresentare uno sviluppo tecnologico che all'attuale stato dell'arte non esiste, ossia la possibilità di realizzare un involucro completamente vegetato – di qualunque morfologia o spazialità esso possa essere – mediante l'impiego di *una sola* tecnologia valida sia per le coperture che per le chiusure verticali (cfr. Fig.VII.12). Non essendo oggi rilevabile nel mondo un sistema che permetta quella versatilità, tale possibilità sarà da considerarsi come un obiettivo tecnologico al quale mirare mediante la ricerca scientifica e/o l'implementazione di prodotto.

L'evoluzione architettonica in atto, caratterizzante in modo sempre più frequente e deciso il passaggio da involucri *parzialmente* vegetati verso superfici edilizie *completamente* vegetate, rende possibile riscontrare, all'interno dell'odierna pratica edificatoria, due tipologie costruttive differenti.

Ponendo l'attenzione su quelle che sono le prassi edilizie ricorrenti è rilevabile come tali involucri completamente vegetati siano realizzati esclusivamente mediante due differenti modalità, riassumibili nei seguenti raggruppamenti:

- involucri vegetati concretizzati grazie alla combinazione di tetto e pareti a verde, ma attuati ognuno con le proprie differenti tecnologie e metodologie esecutive (Fig.VII.12: immagine di sinistra). Non esistendo ancora una tecnologia che possa essere utilizzata in entrambi i casi (e che riesca a garantire il mantenimento delle caratteristiche funzionali tipiche di ognuna¹⁴) si rende necessario agire mediante la citata combinazione tecnologica (Fig.VII.14 e Fig.VII.15);
- involucri verdi caratterizzati da forme architettoniche più o meno complesse (mai verticali ma al massimo tendenti alla verticalità conseguentemente ad una pendenza accentuata), o come edificio parzialmente ipogeo¹⁵ i cui involucri – obliqui od orizzontali – si prolungano dal/nel terreno per andare ad integrarvisi senza soluzione di continuità (Fig.VII.12: immagine di destra). Tali tipologie di edificio sfruttano le tecnologie di tetto a verde, normalmente riscontrabili sul mercato, per la realizzazione di superfici edilizie – totalmente o in parte – inverdite, dove le chiusure verticali e superiori non sono chiaramente identificabili o distinguibili (Fig.VII.17 e Fig.VII.18).



Fig.VII.14 – Vector Architects, *CR Land Guanganmen Showroom*, Pechino (Cina), 2008. L'involucro edilizio è completamente inverdito tramite l'impiego combinato di tecnologie per chiusure verticali vegetate e di coperture a verde estensivo. Si veda la contestuale Scheda Progetto al paragrafo V.3. (Fonte: <http://www.archdaily.com>)

¹⁴ Per "caratteristiche funzionali tipiche" si intendono quelle maggiormente qualificanti di ognuno dei due sistemi tecnologici (tetto o parete) in questione: esse consistono nella praticabilità per le coperture, e nella caratterizzazione d'immagine per le facciate. Ciò significa che sarebbe possibile utilizzare dei sistemi per l'inverdimento parietale anche in copertura, ma nessuno di quelli oggi esistenti riuscirebbe a garantire la praticabilità per le persone; allo stesso modo sarebbe possibile l'impiego di sistemi di copertura a verde anche in facciata, ma ciò richiederebbe una modifica al sistema tramite l'aggiunta di sottosistemi ulteriori (cfr. Fig.II.48 e Fig.II.49), in modo che la struttura risultante possa garantire il non ribaltamento di substrati o altri apparati dovuto all'attrazione di gravità.

¹⁵ Gli edifici totalmente ipogei non rientrano nella classificazione qui proposta, in quanto non presentano delle chiusure verticali o tendenti alla verticalità.



Fig.VII.15 – A sinistra. Tschumi Architects, M+V Merlini & Ventura: *M2 Metro Station*, Losanna (Svizzera), 2008. La copertura inverdita del terminal risvolta su sé stessa fino a vegetare anche una porzione della parete: le due chiusure presentano comunque delle tecnologie d'inverdimento diverse, l'una per la copertura e l'altra per la facciata. Interessante la composizione vegetale, realizzata tramite fasce orizzontali di specie diverse. (Fonte: <http://blog.ebookers.ch/fr/wp-content/uploads/2009/03/100d1751.jpg>)

Fig.VII.16 – A destra. Tschumi Architects, M+V Merlini & Ventura: *M2 Metro Station*. Veduta di controcampo. Dalle due foto si comprendono le grandi potenzialità architettoniche recate dalla sinergia compositiva nell'utilizzo simultaneo di coperture a pareti a verde, soprattutto in contesti fortemente urbanizzati. (Fonte: <http://www.dra2.ch/img/pictures/342.jpg>)



Fig.VII.17 – MIII Architecten, *Environmental Education Center*, Hoorn (Paesi Bassi), 2003. L'edificio semi-ipogeo presenta un involucro vegetato che si innalza dal terreno senza soluzione di continuità: la tecnologia d'inverdimento è quella della copertura a verde intensivo. Interessante la similitudine formale e "tecnologica" con l'edificio del periodo mesolitico riportato in Fig.II.2. (Fonte: JODIDIO, PHILIP, *Green architecture now!*, in bibl., p.227)



Fig.VII.18 – ACXT, *Technology Interpretation Center*, Derio (Spagna), 2009. Il manufatto è quasi totalmente ipogeo e le sue uniche emergenze all'esterno sono le due "piramidi-lucernaio". Una delle due piramidi è vegetata sui due lati, mediante il risvolto dell'inverdimento presente sulla collina artificiale venutasi a creare conseguentemente alla costruzione dell'edificio. ACXT non dichiara nulla di preciso a riguardo però, da uno studio degli elaborati disponibili, si presume che l'inverdimento non sia in questo caso realizzato tramite tecnologie convenzionali, ma si tratti piuttosto di erba sintetica: ciò non nega comunque che tale modalità progettuale possa essere replicata senza particolari problemi anche impiegando sistemi che prevedano vegetazione naturale. (Fonte: <http://www.archdaily.com>)

Una categoria a parte, che rappresenta una via del tutto innovativa nella ricerca della commistione fra vegetazione e architettura, è quella che impiega contemporaneamente tutte – o quasi, a seconda dei casi – le forme possibili d'integrazione fra edilizia e vegetazione, nella ricerca di realizzare dei manufatti che si palesino come un'ibridazione fra elementi costruiti e naturali: tali architetture si presentano quindi come dei luoghi di continuità fra ambiente naturale esterno e spazio architettonico *rinaturalizzato*¹⁶. Tale categoria, seppur rientri solo tangenzialmente all'interno degli argomenti del presente studio, si presenta comunque come particolarmente interessante per le sue ricadute tecnologiche e formali, nei confronti della forte movimentazione della pratica architettonica odierna verso un'inedita modalità di concepire l'integrazione fra edilizia e architettura del paesaggio. Se le chiusure verticali vegetate sono il sub-sistema edilizio sicuramente più avanzato sotto l'aspetto della tecnologia intrinseca e sistemica, per contro, l'interessante modalità "*middle-tech*" in cui progettisti della levatura di Ken Yeang o Stefano Boeri (Fig.VII.19 e Fig.VII.20) agiscono in alcune delle loro sperimentazioni più recenti, è prevedibile che possa trovare numerose imitazioni o rivisitazioni in un futuro prossimo, contribuendo forse a creare un nuovo stile progettuale.

¹⁶ La modalità in cui all'interno del presente lavoro viene interpretato il concetto di *rinaturalizzazione* è stata descritta in apertura di ricerca: cfr. paragrafo I.5.



Fig.VII.19 – A sinistra. T.R. Hamzah & Yeang, *Editt Tower*, Singapore: progetto vincitore di un concorso bandito nel 1998. Gli spazi semiaperti di logge esterne e terrazzi, le corti interne e le coperture dell'edificio ospitano un elevato numero di esemplari arborei di varie specie e dimensioni, impiantati su numerose superfici a verde "orizzontale" ai vari piani dell'edificio. Il tutto nell'obiettivo di ottenere una sorta di continuità vegetale col parco che attornia l'insediamento, anch'esso progettato dallo studio di Hamzah & Yeang. (Fonte: http://static.worldarchitecturenews.com/news_images/10548_1_EDITTeyelevel.jpg)

Fig.VII.20 – A destra. Stefano Boeri Architetti, *Bosco Verticale*, Milano, 2007: attualmente in costruzione. Le logge presenti a tutti i livelli dell'edificio ospitano un mix composto da verde orizzontale (coperture e giardini pensili), verticale (sia rivestimenti vegetali che chiusure vegetate) e specie arboree di varie grandezze. La vegetazione non è quindi realmente integrata all'involucro edilizio, ma mediante l'utilizzo combinato dei vari sistemi a verde si ottiene una zona semiaperta di mediazione fra gli ambienti esterni e interni, definibile come "spazio verticale verde". (Fonte: http://www.urbanfile.it/public/Skymino/05313_Isola_Urbanfile_0.jpg)

VII.1.2.1. Potenzialità e criticità relative agli involucri totalmente vegetati

Seppur la pratica di vegetare totalmente un involucro architettonico porti con sé delle potenzialità formali e funzionali assolutamente degne di nota (si pensi, ad esempio, alla possibilità di accedere alla totalità degli involucri di un edificio), tale sistema, in forza sia della presenza vegetale che delle particolarità tecnologico-costruttive che lo interessano, presenta anche delle indubbie caratteristiche intrinseche in termini di vantaggio tecnologico inerente al suo impiego. Vantaggi positivi che saranno comunque controbilanciati da alcune criticità a cui le attività di ricerca e sviluppo, o di implementazione sistemica, dovranno sopperire col tempo.

L'uniformità di finitura superficiale conseguente alla realizzazione di un involucro completamente vegetato si traduce in una diminuzione delle interruzioni e discontinuità delle superfici edilizie esterne. Fattore importante in quanto, col diminuire delle discontinuità di chiusura si riducono, di conseguenza, anche i punti vulnerabili della struttura; punti sensibili che sono in tutti i casi quelli maggiormente

attaccabili o passibili di deterioramento. Inoltre, lo strato vegetale che ricopre le chiusure edilizie contribuisce (in maniera direttamente proporzionale al suo spessore ed al suo indice di copertura fogliare¹⁷) alla conservazione e all'integrità delle superfici, poiché le protegge dai raggi ultravioletti, dalle precipitazioni atmosferiche e dagli sbalzi di temperatura superficiale, concorrendo all'aumento della loro vita utile. Per contro, il fatto di avere delle chiusure edilizie ricoperte dalle piante e dai substrati organici o inorganici fondamentali alla loro sopravvivenza renderà necessario un sovradimensionamento delle strutture portanti se si considera che, soprattutto in condizione di saturazione idrica, queste potrebbero risultare molto pesanti, con un derivante aumento delle problematiche di staticità nel caso di carichi accidentali (neve, vento, sisma) agenti sul manufatto.



Fig.VII.21 – VenhoevenCS, *Sportplaza Mercator*, Amsterdam (Paesi Bassi), 2006: vista da Nord-Est. L'involucro edilizio è completamente vegetato mediante l'impiego combinato di tecnologie per la realizzazione di muri vegetali e di coperture a verde estensivo. Si veda la contestuale Scheda Progetto al paragrafo V.3. (Fonte: <http://pouhou.aminus3.com/image/2009-01-18.html>)

Come evidenziato nei capitoli precedenti le proprietà sinergiche messe in gioco dalla collaborazione fra vegetazione e substrato contribuiscono ad aumentare l'efficienza energetica complessiva di un fabbricato. Questo permetterebbe, almeno in via teorica e a parità di classe energetica, una diminuzione della quantità sia dell'isolamento termico che, soprattutto, della massa termica relativa a tetto e pareti¹⁸, permettendo così di registrare un risparmio economico in fase esecutiva o gestionale. Si tenga conto, per contro, dell'effettiva difficoltà nel determinare con sufficiente precisione tale contribuzione migliorativa della resistenza e dello sfasamento termici, in

¹⁷ Cfr. VI.2.4

¹⁸ In quanto la massa volumica relativa a vegetazione e substrati garantisce una buona inerzia termica al pacchetto tecnologico di chiusura, soprattutto nel caso in cui la modalità d'impianto non sia di tipo *soiless* e lo spessore del substrato sia considerevole.

quanto tali tipologie di finitura vegetale risentono molto dell'oscillazione delle condizioni climatiche e del tasso idrico rilevabile nei substrati.



Fig.VII.22 – Buchner & Bründler, padiglione svizzero presso l'Expo di Shanghai 2010. La continuità tra i prospetti interni e la copertura a verde del padiglione crea un *unicum* materico e formale. I due sistemi tecnologici (chiusura verticale e superiore) presentano comunque tecnologie differenti: le pareti inverdite sono realizzate tramite un sistema modulare prevegetato, mentre la copertura praticabile consta di un sistema d'inverdimento semi-intensivo. (Fonte: Giovanni Zannoni)

Sempre in tema di contribuzione al rendimento sia energetico (interessante cioè l'edificio) che microclimatico (cioè del suo intorno immediato), la questione che ad un aumento delle superfici edilizie caratterizzate da vegetatura corrisponde, in modo pressoché proporzionale, un accrescimento della qualità ambientale interna ed esterna; *interna* in quanto coperture e pareti a verde, come precedentemente illustrato, contribuiscono alla qualità climatica degli spazi confinati; *esterna* poiché le qualità fisiologiche delle piante favoriscono la mitigazione microclimatica, fornendo un apporto positivo all'abbattimento del fenomeno dell'isola di calore, unitamente al miglioramento delle qualità igienico-sanitarie degli ambienti.

In particolari contesti, abbinati a determinate scelte progettuali o compositive, l'aumento delle superfici vegetate potrebbe corrispondere ad un accrescimento degli spazi fruibili esterni all'edificio (Fig.VII.17 e Fig.VII.18). Il vantaggio di tale possibilità corrisponde ad un miglioramento non solo funzionale ma anche tecnologico e manutentivo dell'involucro: infatti, tutte le parti praticabili di un manufatto, specialmente se corrispondenti alle chiusure verticali o di copertura, diventerebbero facilmente ispezionabili col vantaggio della loro manutenibilità senza l'ausilio di particolari strutture aggiuntive o specifici meccanismi, permettendo così di registrare una sensibile diminuzione dei costi durante la fase gestionale.

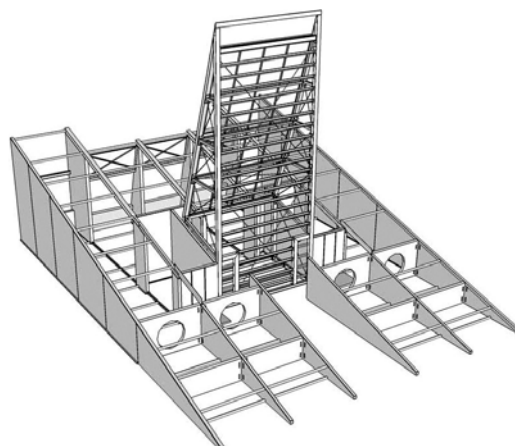


Fig.VII.23 – Luis de Garrido, *GreenBox*: prototipo di edificio realizzato in occasione della fiera *Construmat*, Barcellona (Spagna), 2009. Questa sperimentazione si pone l’obiettivo d’indagare nuove forme di edificazione sostenibile, sia dal punto di vista costruttivo-tecnologico che della fruibilità interna. Come visibile dalla foto di sinistra gli involucri risultano quasi completamente vegetati mediante l’impiego combinato di tecnologie per l’inverdimento pensile e parietale. La conformazione esterna del manufatto risulta pendente, così che la copertura possa porsi in continuità col paesaggio naturale circostante. A destra un’assonometria che illustra il sistema costruttivo realizzato in C.A. prefabbricato e acciaio per le strutture in elevazione, e legno per le coperture. (Fonte: http://www.arquimaster.com.ar/galeria/obra101_green_box.htm#planos)



Fig.VII.24 – A sinistra. Claus Hermansen Arkitekten, casa per vacanze, Dyngby (Danimarca) 1999. Un caso particolare di *involucro completamente vegetato* è quello eseguito tramite rivestimenti a verde (cfr. capitolo III): nel caso riportato, tutte le chiusure verticali e superiori dell’edificio sono avvolte da una rete metallica in acciaio COR-TEN che funge da struttura di mediazione con le murature. Durante la bella stagione l’edificio si ricopre di una vegetazione caducifoglia di edera rampicante finalizzata alla schermatura solare delle chiusure opache e trasparenti. (Fonte: CAILLE, E., “Le végétal: maison d’été à Dyngby, Danemark”, in bibl., p.104)

Fig.VII.25 – A destra. Ricovero attrezzi nella campagna trevigiana (TV): l’esterno dell’edificio è completamente invaso da piante rampicanti decidue. La similitudine formale e tecnologica tra questo manufatto e quello dell’immagine precedente è evidente: l’unica differenza tra i due consiste nel sottosistema di supporto alla vegetazione, che quest’ultimo non possiede.

La possibilità di contare su un’unica finitura superficiale per la totalità dell’involucro comporterebbe inoltre il vantaggio della diminuzione nel numero di lavorazioni o attività interessanti le

chiusure esterne durante le operazioni manutentive. Ciò implicherebbe peraltro una quantità inferiore di figure professionali coinvolte e minori tipologie di lavorazioni differenti, con una derivante facilità previsionale per quel che concerne la fase gestionale. Per contro, considerati i costi elevati che ancora oggi interessano le tecnologie d'inverdimento, si dovrà debitamente conteggiare il fatto che un aumento delle superfici a verde si traduce in un accrescimento dei costi globali dell'involucro¹⁹, ed anche in un aumento nel numero delle attività annuali di operazioni ordinarie, qualora si scelgano delle specie vegetali dalle alte necessità manutentive.

VII.2. Sviluppi funzionali per il sistema tecnologico della chiusura verticale vegetata

In base alle considerazioni finora introdotte nella trattazione della ricerca si evince come le chiusure a verde²⁰ non risultino essere un sistema tecnologico sostenibile in assoluto, ma possano esserlo solo relativamente a certe condizioni d'impiego che ne giustificano l'utilizzo; quindi un utilizzo *mirato* come reale discriminante della sostenibilità potenzialmente messa in gioco dal sistema tecnologico della chiusura a verde. Il discorso è invece leggermente differente coi sistemi di rivestimento vegetale in quanto essi, grazie alla loro bassa tecnologia sistemica intrinseca (quindi altrimenti esprimibile attraverso una minore energia incorporata) risultano maggiormente sostenibili in tutte le diverse condizioni possibili, soprattutto conseguentemente ad un'opportuna selezione delle specie vegetali (decidue o sempreverdi, indigene o naturalizzate) in funzione delle caratteristiche microclimatiche e del contesto d'inserimento. Tali considerazioni derivano dal fatto che le pareti a verde, possedendo in superficie un apparato vegetale in integrazione²¹ o in appoggio²² alla chiusura edilizia possono contare su un elemento collaborativo importante e che le diversifica, peraltro, da tutte le altre tipologie di chiusure verticali oggi esistenti.

Quindi un apparato a verde composto da vegetazione e substrato che, come visto nel capitolo precedente, può apportare all'organismo edilizio o allo spazio architettonico in cui si trovi una serie di ripercussioni positive e preziosissime per gli attuali standard di sostenibilità e di comfort. Prestazioni energetiche e comfort che, comunque, nel caso delle tecnologie oggetto di studio saranno spesso garantite o demandate anche ad apparati o sottosistemi potenzialmente energivori – sotto l'aspetto costruttivo o procedurale – e che proprio per tale motivo richiederanno la massima attenzione durante la fase progettuale, in modo che l'opera dell'architetto possa riuscire a garantire la scelta di una specifica tipologia di apparato o di elemento solo e soprattutto in funzione dell'obiettivo progettuale da perseguire.

Ne deriva perciò che proprio le specificità e gli sviluppi funzionali più recenti del sistema oggetto di ricerca risulteranno importanti ed imprescindibili, in quanto soltanto un mirato impiego di un particolare apparato o elemento in funzione di un preciso obiettivo da perseguire (e quindi anche di un'altrettanto precisa funzione desiderata) sarà quello che riesce a garantire un impiego ottimale e *realmente* sostenibile di questo tipo di tecnologie. Nel progressivo affinamento delle conoscenze e dell'implementazione di prodotto – tuttora comunque solo agli inizi e perciò passibile di sviluppi

¹⁹ Tale discorso è valido soprattutto se si paragonano i sistemi d'inverdimento parietale o di copertura a tecnologie del tutto convenzionali.

²⁰ Intendendo la dicitura "chiusura a verde" come sommatoria di chiusure vegetate e muri vegetali, o di tutte le possibili declinazioni tecnologiche e di specie vegetali che le interessano.

²¹ Nel caso di chiusure verticali vegetate e muri vegetali.

²² Per quel che concerne i rivestimenti a verde.

ulteriori – si sono comprese alcune possibilità funzionali o potenzialità che i sistemi a verde svolgono meglio di altri proprio grazie alla *finitura* vegetale che inglobano. Inediti sviluppi funzionali resi possibili grazie alla presenza di vegetazione o substrati, o conseguentemente alla loro azione combinata, alcuni dei quali anche particolarmente innovativi ed importanti.

Nei paragrafi a seguire verranno passati in rassegna i casi maggiormente interessanti che riguardino la possibilità di un impiego *funzionalizzato* della chiusura a verde. Innovative classi e tipologie di applicazione che, come spesso accade nel settore edilizio, potranno anche non essere nettamente delimitate, ma potrebbero invece anche sovrapporsi o interessare più casistiche contemporaneamente. Funzionalizzazioni, applicazioni e classi prestazionali che però, a scopo puramente tassonomico e per mirare ad una maggiore chiarezza espositiva e critica, verranno comunque trattate separatamente.

VII.2.1. Riqualificazione edilizia e ambientale, attenuazione acustica, mitigazione microclimatica

La tecnologia dell'inverdimento parietale, vista la complessità sistemica relativamente bassa che la caratterizza, permette di essere considerata all'occorrenza mediante una duplice via interpretativa. Essa, infatti, potrebbe essere considerata solo come un componente edilizio di facciata qualora debba venire giustapposta in integrazione ad una chiusura esistente da riqualificare; o invece come un sistema tecnologico vero e proprio nel caso di nuova edificazione. Duplice condizione che permette ai sistemi oggetto di studio una grande versatilità sia nei casi di nuove costruzioni che per quel che concerne il *retrofitting* architettonico, in quanto la contestuale modalità costruttiva a secco e le sue pratiche di assemblaggio relativamente semplici permettono di considerarla alla stregua di una qualsiasi altra tecnologia struttura/rivestimento.

Le qualità ambientali e climatologiche della vegetazione, e l'indiscutibile valore figurativo intrinseco permettono di configurare questi sistemi come un ottimale strumento progettuale per le riqualificazioni edilizie, sia che si tratti della declinazione tecnologica più semplice dei rivestimenti a verde che di quella maggiormente complessa delle chiusure verticali vegetate. Riqualificare una parete edilizia mediante il sistema del Verde Verticale significa sostanzialmente integrare un manufatto esistente mediante una serie di stratigrafie aggiuntive (più o meno complesse dipendentemente dal fatto che si tratti dell'una o dell'altra tecnologia), dotando la chiusura esistente, o la sua risultante tecnologica conseguente ad alcune lavorazioni preparatorie²³, dei vari sottosistemi primari o secondari che si rendono necessari (Fig.VII.26 e Fig.VII.27).

Altra condizione fondamentale all'impiego di una parete a verde nel recupero edilizio è quella che, nel luogo in cui si vada ad intervenire, vi sia la disponibilità di spazio per l'integrazione della chiusura esistente tramite la collocazione ed il montaggio delle varie stratigrafie tecnologiche supplementari (come ad esempio sottostrutture di mediazione o supporto ai vari apparati d'inverdimento, strati di tenuta ed antiradice, impianti tecnologici, ecc). Nel caso dei rivestimenti a

²³ Ad esempio tramite la rimozione delle stratificazioni tecnologiche ritenute inopportune o non più funzionali, o mediante delle lavorazioni di cantiere tese alla risoluzione di tutte le eventuali incongruità tecniche reciproche fra i vari strati tecnologici, che potrebbero condurre a delle problematiche interstiziali future o a dei malfunzionamenti riguardo al comportamento della chiusura.

verde anche il luogo fisico d'impianto – ossia il volume di terreno necessario alle radici²⁴ – potrebbe rivelarsi una criticità da non sottovalutare. Qualora alla base della parete non sia possibile realizzare uno scavo, o la qualità del terreno urbano non si riveli all'altezza delle necessità d'impianto²⁵ si renderà necessario operare mediante vasche di terreno o fioriere che possano provvedervi. Problematiche e criticità comunque relativamente semplici da gestire e che, invece, grazie all'utilizzo di questi sistemi riescono a garantire un'apprezzabile qualità estetica al manufatto, unitamente ad elevate doti di rinaturalizzazione urbana ed efficienza energetica e ambientale.



Fig.VII.26 – A sinistra. Stephen Alton, *W Hotel Midtown*, Atlanta (USA), 2008. La chiusura verticale vegetata misura una superficie di circa 60 m² ed è stata collocata a posteriori sulla facciata dell'albergo tramite l'integrazione della parete pre-esistente col pacchetto tecnologico d'inverdimento. (Fonte: <http://gsky.com/projects/w-midtown-atlanta>)

Fig.VII.27 – A destra. Kari Katzander e Mingo Design, *PNC Financial Service Group*, Pittsburgh (USA), 2009. La chiusura vegetata consta di una superficie complessiva di 218 m², ed è stata collocata a posteriori su un manufatto pre-esistente: l'installazione è realizzata tramite 604 pannelli prevegetati delle dimensioni di 60x60 cm, contenenti 24 piante ciascuno. Si noti il marchio della ditta riprodotto con le piante nella parte bassa della chiusura, nonché le apprezzabili variazioni cromatiche ottenibili tramite un'attenta selezione delle specie vegetali. (Fonte: <http://www.lushe.com.au>)

Ulteriore considerazione riguarda gli aspetti prestazionali. Se, come visto, il sistema del rivestimento vegetale si dimostra ottimale dal punto di vista della schermatura solare ma meno interessante per quel che concerne inerzia e resistenza termica del pacchetto tecnologico, la questione è esattamente opposta con le chiusure vegetate. Esse sono infatti spesso composte da stratigrafie molto strutturate e complesse, e da consistenti spessori relativi o globali, con conseguenti sensibili miglioramenti nelle prestazioni energetiche del pacchetto tecnologico. Inoltre, come dimostrato in Fig.VI.31, una tecnologia simile a quella delle pareti ventilate ne consentirebbe

²⁴ Cfr. III.2.2

²⁵ Cfr. IV.3.2

un'ulteriore possibilità di miglioramento prestazionale del pacchetto di chiusura, tramite l'inserimento nell'intercapedine di strati coibenti²⁶.



Fig.VII.28 – Johanna Roßbach, muro vegetale presso la *European Environment Agency (EEA)*, Copenhagen (Danimarca), 2010. In occasione dell'anno mondiale della biodiversità, la facciata della sede danese della EEA è stata integrata tramite una chiusura vegetata – la prima all'esterno in Danimarca – che, mediante l'impiego di circa 5.000 piante annuali, ripropone il disegno della mappa dell'Unione Europea. Il sistema d'inverdimento consta di una griglia metallica connessa alle chiusure dell'edificio pre-esistente, ospitante a sua volta dei feltri sintetici che fungono da substrato d'impianto. Il tutto è servito da un sistema automatizzato di fertirrigazione. Si pensi al beneficio non solo estetico e di rinaturalizzazione urbana che tale elemento può garantire, ma anche alla contribuzione nell'abbattimento dell'inquinamento acustico di una città come Copenhagen. (Fonte: <http://www.flickr.com/photos/45497914@N05>)

Anche la questione dell'attenuazione acustica potrebbe assumere valenze degne di nota. Se è già stato descritto come un rivestimento a verde offra una mitigazione dell'onda sonora tutto sommato limitata²⁷, è possibile affermare che tale dote spetti invece, in maniera maggiore, alle chiusure vegetate grazie ai vari sottosistemi e componenti che concretizzano il pacchetto tecnologico. Il succitato concetto della possibile aggiunta di stratigrafie coibenti è pienamente valido anche in questo caso, in quanto la possibilità della mitigazione acustica si basa su concetti – singoli o combinati – come massa volumica ed "effetto massa-molla-massa". La prima caratteristica che contribuisce all'innalzamento del potere fonoisolante di un qualsiasi elemento architettonico è quindi proprio la sua massa totale, che collabora all'abbattimento della trasmissione dell'onda sonora da un punto all'altro dello spazio in modo pressoché proporzionale al proprio peso. Ciò si somma all'altro effetto importante per le prestazioni acustiche di una parete, ossia l'"effetto molla": esso gioca un ruolo importante per la neutralizzazione dei cosiddetti *ponti acustici*, quindi nella trasmissione sonora che avviene tramite vibrazione.

²⁶ Cosa che comunque non risulterebbe del tutto impossibile, anche se molto più difficoltosa e dispendiosa, anche coi rivestimenti vegetali nel caso in cui si operi tramite un isolamento a cappotto poi intonacato, posto fra la chiusura esistente e la struttura a supporto dell'apparato vegetale.

²⁷ Cfr. VI.3.1

Le chiusure vegetate, e soprattutto quelle dotate di una certa massa volumica (che dipende principalmente dall'entità e dallo spessore del substrato che contengono), potrebbero quindi fornire delle apprezzabili doti di abbattimento acustico: grazie alla massa garantita da substrati ed eventuali altri apparati o sottosistemi, e conseguentemente all'“effetto molla” e di disgregazione dell'onda sonora fornita sia dalla vegetazione superficiale che dalle altre parti non rigide del sistema, esse potrebbero contribuire alle prestazioni di fonoisolamento e fonoassorbimento dell'edificio o dello spazio che le ospita.



Fig.VII.29 – A sinistra. Green Fortune, Muro vegetale presso il *Stockholm City Office*, Stoccolma (Svezia) 2010. La chiusura vegetata è stata installata su una parete pre-esistente durante alcuni lavori di ristrutturazione edilizia. (Fonte: <http://www.greenfortune.com>)

Fig.VII.30 – A destra. Muro vegetale sulla 86esima strada, New York (USA), 2010. Conseguentemente ad un cambio di destinazione d'uso, sulla facciata dell'edificio è stata realizzata l'installazione vegetale. (Fonte: <http://www.apartmenttherapy.com/uimages/ny/2008-08-16greenwall2.jpg>)

Visto che tra l'apparato a verde e quello di chiusura esiste solitamente una certa distanza, l'effetto di mitigazione acustica potrebbe essere ulteriormente accentuato grazie a due differenti modalità. La prima consiste semplicemente nella possibilità di introdurre del materiale fonoisolante nell'intercapedine; mentre l'altra riguarda prettamente la fase di progettazione esecutiva dell'opera architettonica: in sede di realizzazione, mirando ad ottenere la maggior disgiunzione possibile tra apparati d'inverdimento e chiusura esistente, mediante l'inserimento di adeguati materiali resilienti, si riuscirebbe a minimizzare il ponte acustico dall'esterno verso l'interno, innalzando così il potere fonoisolante della chiusura.

Purtroppo, allo stato dell'arte attuale, gli elevati costi dei sistemi di chiusura vegetata non ne consentono un utilizzo *funzionalizzato* alla sola mitigazione acustica, in quanto risulterebbe non conveniente dal punto di vista economico impiegare tali tecnologie per una funzione che potrebbe

essere risolta anche mediante altre vie meno dispendiose. Tale possibilità funzionale andrà perciò semmai considerata come un valore aggiunto assommabile ad altri impieghi, come ad esempio, appunto, quello di una riqualificazione edilizia che porti con sé anche un aumento delle prestazioni sia di efficienza energetica che acustica del manufatto sul quale si vada ad agire²⁸.

Il discorso appena concluso relativamente alle caratteristiche di attenuazione acustica, riguarda anche le potenzialità di mitigazione microclimatica verso gli spazi esterni prospicienti ad edifici che presentino degli apparati superficiali a verde. Se come visto nel capitolo precedente risulta fuor di dubbio che la presenza di elementi vegetali possa garantire una sensibile contribuzione al miglioramento delle condizioni di comfort per lo spazio immediato esterno interessato dalla vegetazione²⁹, è possibile ammettere che un'ulteriore funzionalizzazione d'impiego per le pareti a verde riguardi la scelta di un sistema di chiusura vegetata anche in funzione del possibile condizionamento microclimatico.

Ciò sarebbe sicuramente vero, anche se vale ancora una volta la suddetta considerazione monetaria della non convenienza economica alla base della scelta di una tale tipologia sistemica in funzione della climatizzazione verso l'esterno: tale proprietà potrà semmai essere considerata indubbiamente come un valore aggiunto, ma sicuramente non potrà rappresentare un obiettivo primario di progetto, in quanto quella funzionalità potrebbe essere perseguita anche in questo caso in altro modo, mediante sistemi maggiormente economici.

La questione è invece diversa, come discusso nel sesto capitolo, per le condizioni ambientali interne: in tal caso, la considerevole contribuzione energetica e microclimatica offerta da detti sistemi, soprattutto in regime estivo e per i climi temperati o caldi, ne avalla pienamente la scelta come elemento di mitigazione microclimatica a favore del comfort.

VII.2.2. La chiusura vegetata come interfaccia di comunicazione

Se l'impiego di una tecnologia a verde nel progetto può sicuramente provocare degli indubbi vantaggi a livello figurativo e prestazionale, risulta comunque importante evidenziare come l'utilizzo di tali sistemi possa anche consentire lo sfruttamento della chiusura vegetata come medium di comunicazione. Infatti, all'interno di una cultura architettonica e di un mercato edilizio sempre più protesi alla ricerca dell'efficienza energetica e del risparmio delle risorse, anche l'immagine architettonica che l'edificio porta di sé verso l'esterno assume un carattere indiscutibilmente importante. Negli ultimi anni, con l'avvento sempre più marcato degli aspetti di sostenibilità come vera discriminante della maggiore o minore qualità edilizia, la possibilità di veicolare un'immagine *green* verso l'esterno – quindi di sostenibilità non solo nella sostanza ma anche nella forma – è sicuramente diventata un indicatore della maggiore o minore possibilità che un progetto abbia di avere successo.

Da tale questione deriva sicuramente anche il grande successo che le tecnologie del verde stanno raccogliendo con sempre maggiore frequenza nell'ultimo periodo, tanto che, come già si è avuto modo di enunciare in precedenza, tali sistemi stanno passando in solo pochi anni da sconosciuti a largamente associati, e non solo dal punto di vista della cultura architettonica d'élite ma anche sotto

²⁸ Oltre a quelli riportati, ulteriori esempi di recupero edilizio eseguito con le tecniche del Verde Verticale sono visibili al paragrafo III.4.2 e nella Scheda Progetto intitolata *Caruzzo & Associati* al paragrafo III.6.

²⁹ Contribuzione, comunque, sempre di difficile quantificazione.

l'aspetto dell'offerta di mercato e della normale pratica edilizia di medio livello. Se quindi all'attuale stato dell'arte il marketing legato all'immagine edilizia può essere pienamente considerato come uno dei fattori fondanti della qualità architettonica in senso globale, le facciate a verde risultano sicuramente una delle tecnologie maggiormente funzionali dal punto di vista della diffusione di messaggi in tal senso. Questo perché la possibilità di comunicazione veicolata tramite un'insegna vegetale si attesta su due livelli comunicativi diversi, l'uno *implicito* e l'altro *esplicito* (Fig.VII.31).



Fig.VII.31 – A sinistra. Grassland, *Grass Letters*. Trattasi di una linea di insegne commerciali realizzate mediante l'impiego di manti erbosi viventi: esempio dell'utilizzo della vegetazione come medium di comunicazione a due livelli, sia implicita (legata cioè alla sola presenza dell'elemento naturale) che esplicita, in quanto ripropone le fattezze di un marchio commerciale. (Fonte: <http://www.grassland-site.com>)

Fig.VII.32 – A destra. L'installazione pubblicizza la nuova linea di scarpe *Adidas Grün*, e ripropone a scala gigante – l'opera è alta circa due metri e mezzo, per sei di lunghezza – le fattezze morfologiche ed il colore della scarpa stessa. (Fonte: <http://www.brainpickings.org>)



Fig.VII.33 – A sinistra. Installazione vegetale di Edina Tokodi. L'artista ungherese è diventata celebre per le sue opere murali interamente eseguite con specie muscinali (muschi) viventi. (Fonte: <http://www.woostercollective.com/mossgirl.jpg>)

Fig.VII.34 – A destra. Edina Tokodi: logo parietale per l'azienda nordamericana *D&A*. Una volta che Tokodi ha conosciuto la fama internazionale, i suoi lavori hanno iniziato a prestarsi anche a favore di ditte e marchi commerciali. Si precisa che l'installazione raffigurata rappresenta solo una parte di un'opera maggiore che ha interessato tutti gli interni di un negozio della ditta. (Fonte: <http://www.flickr.com/photos/inhabitat/2462994048>)

Implicito in quanto la scelta stessa di impiegare una tecnologia che inglobi la vegetazione su sé, quindi integrando gli elementi della natura su un apparato contestuale – la chiusura edilizia – che storicamente ha potuto interagire solo rarissimamente volte con gli apparati vegetali, dimostra implicitamente una certa volontà tesa alla ricerca della sostenibilità da parte della committenza. Dall'impiego di una chiusura vegetata deriva quindi il messaggio della ricerca della maggiore commistione possibile con gli elementi della natura, e perciò della volontà di minimizzazione dell'impatto ambientale da parte di una qualunque figura che opti per tali opzioni architettoniche. Una sorta, quindi, di *green marketing*, che sfrutta la presenza del verde come elemento di palesamento e diffusione delle idee di colui che l'abbia scelto.

Ma il messaggio legato alle chiusure vegetate potrebbe però essere contemporaneamente anche esplicito, quindi derivante da un'attività che veda l'utilizzo delle piante per ricreare loghi e marchi commerciali. Infatti la vegetazione, con tutte le sfumature rese possibili dalle innumerevoli specie vegetali autoctone o alloctone esistenti, permette l'ottenimento di diversificati cromatismi nella realizzazione di veri e propri disegni vegetali (Fig.VII.32 e Fig.VII.34)³⁰. Da tale considerazione deriva perciò la possibilità di usare le varie specie vegetali, e le tecniche più contemporanee per l'integrazione fra edificio e vegetazione per comunicare dei messaggi espliciti e definiti³¹.



Fig.VII.35 – Saia, Barbarese e Topouzanov Architects: vista notturna del padiglione canadese presso l'Expo di Shanghai 2010. Esempio di come la chiusura vegetata sia in questo caso trasformata in un elemento di comunicazione tramite l'inedito inserimento di alcune luci al LED sulla superficie a verde. (Fonte: Giovanni Zannoni)

³⁰ Anche la facciata del *PNC Financial Service Group* di Pittsburgh (USA) impiega la medesima strategia di comunicazione: cfr. Fig.VII.27.

³¹ In merito alle modalità che le chiusure dell'edificio hanno di tramutarsi in mezzo d'interazione comunicativa esplicita o implicita, statica o dinamica, si veda: BIT, EDOARDO, et al., *Il progetto dell'interfaccia architettonica – Tecnologie per la definizione della frontiera*, in bibl.

VII.2.3. Impiego a favore della regimazione idrometeorica

Il problema della gestione e del contenimento urbano delle sempre più cospicue precipitazioni meteoriche è in costante ascesa su tutto il pianeta, sia sotto l'aspetto quantitativo che qualitativo: ciò significa che non solo le precipitazioni sembrano risultare tendenzialmente più forti rispetto ad un tempo ma anche che il loro andamento stagionale non rispetta più le medie storiche, con la conseguenza che risulta assai difficoltosa una loro previsione su base stagionale e che il ricorso storico di eventi catastrofici non dimostra più la frequenza pluriennale media che presentava in passato³². Tale questione è sostanzialmente attribuibile, come visto nel paragrafo VI.3.8, ai cambiamenti climatici in corso e ad un'inadeguata o poco corretta pianificazione urbanistica. Motivazioni queste che, entrambe, relegano al settore delle costruzioni sia grosse colpe che l'obbligata necessità di sobbarcarsi il tentativo di correggerle.

La vegetazione in generale, e le tecnologie del verde nello specifico, hanno delle grandi potenzialità in merito, in quanto assommano contemporaneamente sia la possibilità di continuare con l'opera edificatoria – seppur necessariamente con maggiore attenzione e pertinenza rispetto al passato – che quello di poter contribuire a delimitare il problema. Considerato che lo spessore di substrato e vegetazione, nonché la loro azione combinata contribuiscono a ritardare nel tempo la re-immissione delle acque piovane all'interno dei vari circuiti di deflusso, risulta palese come una più alta percentuale di chiusure a verde – e soprattutto una loro progettazione più attenta – possano giocare un ruolo chiave nella gestione di tale criticità ambientale.

Se la presenza vegetale sia la costante obbligata per tutte le tecnologie d'inverdimento possibili, e la sua variazione percentuale di spessore o copertura fogliare sia tutto sommato trascurabile da sistema a sistema, risulta evidente come il vero elemento importante per la ritenzione idrica di una superficie sia il substrato. Esso, con le proprie capacità di ritenzione idrica ed in modo proporzionale allo spessore totale, si rivela come il vero elemento selettivo della maggiore o minore capacità di regimazione idrometeorica di un sistema tecnologico.

Impiegare una tecnologia di chiusura vegetata oltre che per le proprie doti figurative o microclimatiche, anche per la sua possibilità di contribuzione alla regimazione idrica diviene quindi un aspetto particolarmente interessante per la progettazione architettonica in quanto – come dimostrato dall'attuale tendenza normativa nazionale e internazionale³³ – esso potrebbe rivelarsi come un elemento differenziante e di valore aggiunto di un progetto (da Fig.VII.36 a Fig.VII.39). Ne consegue perciò che qualora si intenda impiegare una parete a verde *anche* in funzione di tale capacità sistemica intrinseca, risulterà opportuno incanalare la selezione tecnologica o morfologica in funzione delle caratteristiche sia del substrato (capacità di ritenzione idrica del materiale, spessore dello strato di coltivo) che delle piante, scegliendo queste ultime anche in funzione delle proprie necessità fisiologiche e nella ricerca di un loro equilibrio con la piovosità media stagionale o annuale del luogo.

³² Si pensi ad esempio a quello che accade in Italia negli ultimi anni, dove le emergenze ambientali imputabili al maltempo si susseguono da Nord a Sud con grande frequenza.

³³ Cfr. II.9



Fig.VII.36 – Triptyque, *Harmonia 57*, San Paolo (Brasile): vista aerea (a sinistra) e dettaglio delle chiusure verticali (a destra). Le pareti esterne dell'edificio a destinazione d'uso mista (abitazioni e uffici) sono realizzate in C.A. grezzo lasciato a vista, e contengono delle nicchie circolari per l'alloggio di esemplari vegetali. La volontà alla base del progetto fu quella di creare un organismo edilizio in grado di rispondere alle sollecitazioni ambientali del luogo, molto umido e piovoso, spesso caratterizzato da inondazioni: le chiusure vegetate sono state quindi concepite con l'intento della regimazione idrometeorica. Nell'immagine di destra si notino le tubature sia per l'annaffiatura della parete (che avviene tramite nebulizzazione) che per il deflusso del liquido idrometeorico; esse sono lasciate a vista e giocano un ruolo fondamentale nella caratterizzazione formale del progetto. Entrambe le foto sono state eseguite nel 2008, subito dopo la chiusura del cantiere. (Fonte: <http://inhabitat.com/living-water-recycling-building-wrapped-in-a-network-of-tubes>)



Fig.VII.37 – Triptyque, *Harmonia 57*: immagini risalenti all'anno 2009. Confrontando le due foto è possibile comprendere come, a circa un anno dal termine dei lavori, la copertura fogliare della parete risulti buona in alcuni punti (foto di sinistra) e scarsa in altri. Ciò dipende dal rapporto fra esposizione microclimatica e specie vegetali: queste ultime sopravvivono meglio in nicchie microclimatiche come quella del sottoscala (a sinistra) piuttosto che sulle superfici esposte a Ovest (foto di destra). (Fonte: <http://www.flickr.com/photos/fontgab>)

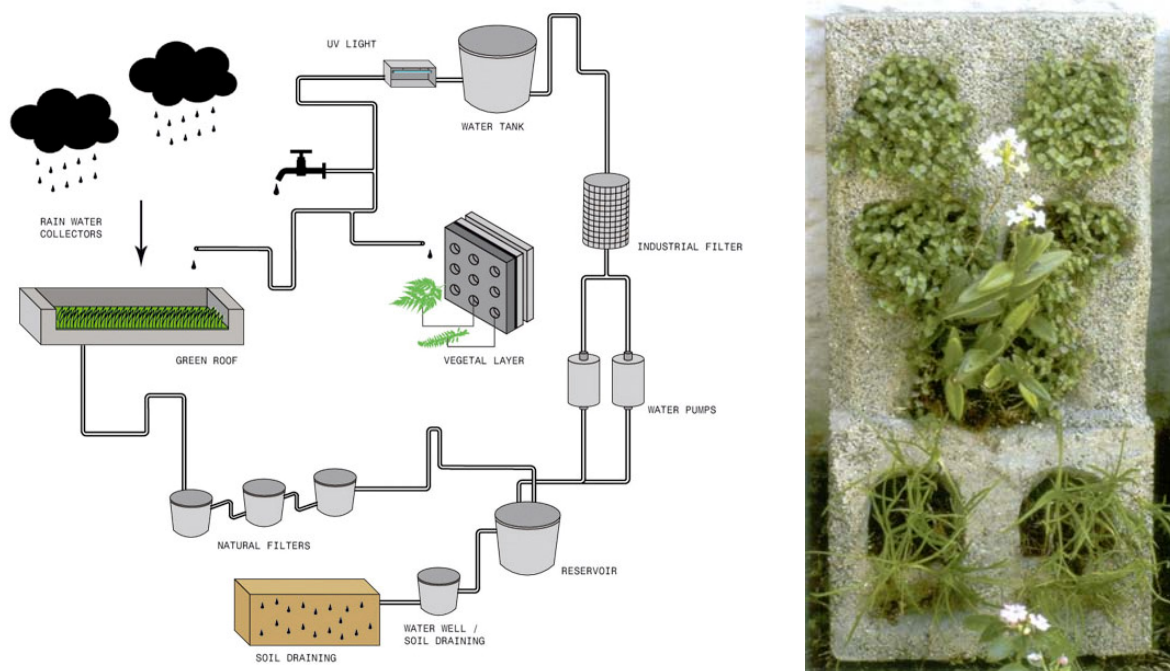


Fig.VII.38 – A sinistra. Triptyque, *Harmonia 57*: schema del sistema per lo stoccaggio ed il recupero dell'acqua piovana. Le pareti e la copertura a verde contribuiscono a ritardare il deflusso dell'acqua nella cisterna interrata nel sottosuolo dell'edificio (oltre che a garantire una sua prima micro-filtrazione). La stessa acqua verrà successivamente filtrata meccanicamente per essere riutilizzata sia nei normali impieghi domestici che per annaffiare le piante sull'involucro edilizio. (Fonte: <http://inhabitat.com/living-water-recycling-building-wrapped-in-a-network-of-tubes>)

Fig.VII.39 – A destra. Triptyque, *Harmonia 57*: prototipo in scala 1:1 del sistema di chiusura, realizzato precedentemente all'edificazione in modo da verificarne la fattibilità. Questa sperimentazione progettuale finalizzata al controllo della regimazione idrometeorica si rivela molto interessante dal punto di vista critico e concettuale, ma probabilmente scarsa sotto l'aspetto del risultato finale: la copertura fogliare della vegetazione risulta poco accentuata ed il volume complessivo di substrato troppo esiguo. (Fonte: BELLINI, OSCAR E., DAGLIO, LAURA, *Verde Verticale*, in bibl., p.249)

VII.2.4. Schermatura della radiazione solare per chiusure trasparenti o a servizio di spazi-filtro

La possibilità di schermatura dell'irraggiamento solare è sicuramente la funzione per cui le piante vengono impiegate in edilizia da un maggiore lasso di tempo. La loro intrinseca necessità di ricercare costantemente la luce (fenomeno del fototropismo: cfr. VI.2.2) unitamente alla capacità di mantenere i propri organi – alla stregua di un qualsiasi altro corpo vivente – ad una temperatura sempre minore di quelli inanimati (qualora sottoposte alla radiazione solare diretta), le configura come degli apparati ottimali per tale utilizzo. Se, come visto nel terzo capitolo, i rivestimenti a verde storicamente si sono prestati a tale possibilità d'impiego, la funzione schermante è invece meno ricorrente con altre tipologie di parete inverdita, in quanto queste sono del tutto assimilabili a delle chiusure opache, e non presentano la stessa reversibilità funzionale o mutevolezza temporale dei rivestimenti a verde. Per tale motivo è possibile affermare che la schermatura solare risulta sì possibile con le chiusure vegetate, ma andrà in tutti i casi considerata come un frangisole *fisso*, quindi invariabile nei confronti degli avvicendamenti stagionali.

Schermare il flusso solare con dei sistemi di chiusura verticale vegetata significherà quindi posizionare strategicamente degli elementi tridimensionali a verde in modo che questi possano intercettare la provenienza del soleggiamento diretto, così da proteggere spazi architettonici confinati o semiaperti (Fig.VII.40). La reversibilità funzionale³⁴ non potrà perciò, in tal caso, essere mai raggiunta in quanto, seppur si potrebbe optare per l'impiego di vegetazione decidua³⁵, si dovrà sempre e comunque confrontarsi con la presenza fissa dell'intero apparato tecnologico per la dimora dei vegetali. Ne deriva perciò che le chiusure vegetate, a differenza di quel che accade coi rivestimenti a verde che solitamente presentano un sottosistema di mediazione molto esiguo fra specie vegetale e parete edilizia, consta sempre di strutture composite e complesse, presentanti considerevoli spessori.



Fig.VII.40 – Jacques Ferrier, padiglione francese presso l'Expo di Shanghai 2010. Le chiusure trasparenti che affacciano sulla corte sono schermate tramite delle fasce verticali a verde che poi proseguono anche in copertura. Si presume che comunque, in tal caso, l'apparato vegetale abbia più una valenza formale che prettamente funzionale, in quanto il disegno degli elementi a verde risulta esattamente uguale in tutte le facciate, anche quelle in cui una schermatura verticale si rivela non funzionale o non necessaria (ossia quelle esposte a Sud e Nord). Ciò non toglie che la matrice d'impiego qui sperimentata sia interessante ed innovativa, pienamente utilizzabile d'ora in avanti nella creazione di chiusure vegetate frangisole. Tra l'apparato vegetale e il *curtain wall* è presente un ballatoio (foto di destra): si noti l'apprezzabile effetto spaziale e percettivo prodotto dalla presenza della schermatura a verde nel momento in cui si transiti attraverso tale passaggio pedonale. (Fonte: Giovanni Zannoni)

La possibilità di funzionalizzazione conseguente all'impiego di chiusure vegetate come elementi frangisole risulterà perciò comunque rara – ma non impossibile – sia sotto l'aspetto costruttivo (non sarà semplice progettare un frangisole fisso ed *obbligatoriamente* di cospicue dimensioni che non vada a creare problemi nell'acquisizione solare invernale) che economico: di tutte le schermature

³⁴ Per "reversibilità (di fogliazione)" si intende la precisa caratteristica delle specie vegetali caducifoglie: esse, presenti durante le stagioni primaverile ed estiva, hanno la capacità di bloccare la radiazione solare; mentre, non presentando d'inverno, garantiscono il passaggio del soleggiamento diretto e quindi l'acquisizione energetica passiva.

³⁵ Fatto che comunque non accade a causa della scarsa valenza estetica dei sottosistemi per l'impianto vegetale: cfr. immagini del paragrafo V.5.1.

solari possibile questa tipologia è sicuramente una delle meno economiche³⁶ (anche se il valore figurativo intrinseco legato all'impiego del verde sarà comunque sempre apprezzabile).

Risulta perciò impossibile escludere a priori che alcune particolari sperimentazioni non possano misurarsi con tale modalità. Esistono infatti dei casi specifici in cui la chiusura vegetata potrebbe comunque venire proficuamente impiegata ai fini della modulazione del flusso solare: tali casistiche sono quelle appartenenti alle categorie delle cosiddette "schermature verticali esterne" (Fig.VII.41) o delle "schermature a griglia" (altrimenti dette *a carabottino* – Fig.VII.42). Come si evince anche intuitivamente dai due esempi architettonici appena citati, tali corpi schermanti potrebbero essere sostituiti senza grossi problemi da elementi vegetati³⁷.

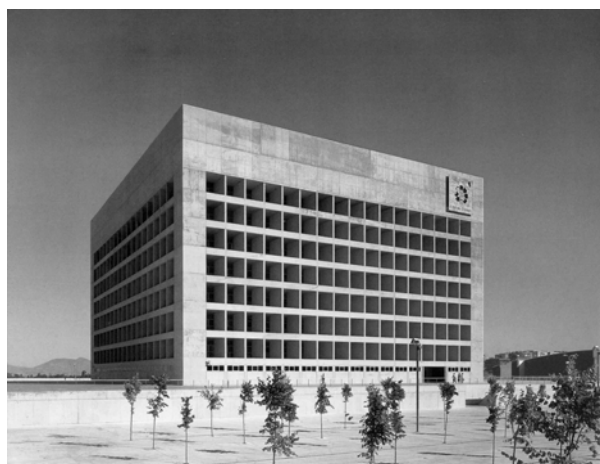


Fig.VII.41 – A sinistra. Alejandro Aravena Arquitecto, Facoltà di Medicina presso l'Università Cattolica, Santiago del Cile, 2004. La schermatura solare fissa è ottenuta tramite setti verticali in mattoni faccia a vista, collocati davanti al *curtain wall* vetrato che delimita i percorsi interni all'edificio. (Fonte: <http://www.alejandraravena.com>)

Fig.VII.42 – A destra. Alberto Campo Baeza, sede della *Caja General de Ahorros*, Granada (Spagna), 2001. I prospetti vetrati esposti a Sud e Ovest sono schermati mediante una struttura *a carabottino* in calcestruzzo armato a vista. (Fonte: CAMPO BAEZA, ALBERTO, *Alberto Campo Baeza – Progetti e costruzioni*, in bibl., p.166)

Quando si opti per dotare un manufatto architettonico di apparati frangisole verticali o a griglia saranno da rispettare alcune precise regole progettuali e di proporzionamento degli stessi, in modo che la schermatura estiva dell'irraggiamento diretto non si riveli un limite né per l'acquisizione passiva invernale né per l'illuminazione naturale degli spazi durante l'intero arco dell'anno. Associate metodologie della progettazione bioclimatica prescrivono l'utilizzo di apparati schermanti verticali per le facciate esposte a Est ed Ovest³⁸, mentre tendono ad indicare il *carabottino* soprattutto per le facciate a Sud³⁹, in quanto la collaborazione di elementi verticali e orizzontali produce (Fig.VII.44)

³⁶ Si pensi, ad esempio, a quanto risulterebbe meno costosa una schermatura fissa eseguita tramite elementi non vegetali, come legno, materiali metallici, polimeri, ecc.

³⁷ Si confrontino le immagini di Fig.VII.41 e Fig.VII.42 con quella di Fig.VII.40, e si immagini di sostituire nelle prime due gli apparati schermanti massivi con quelli vegetali.

³⁸ Cfr. VI.2.2

³⁹ Vista la contemporanea presenza di aggetti sia verticali che orizzontali, il *carabottino* si presta ottimamente anche per la schermatura delle facciate esposte a Est ed Ovest: in tali esposizioni esso potrebbe semmai creare delle problematiche all'acquisizione solare invernale o alla possibilità di vista dall'interno verso l'esterno.

delle zone d'ombra molto accentuate, che meglio si adattano ai forti irraggiamenti prodotti dalle esposizioni a meridione⁴⁰, soprattutto nei climi temperati o caldi.

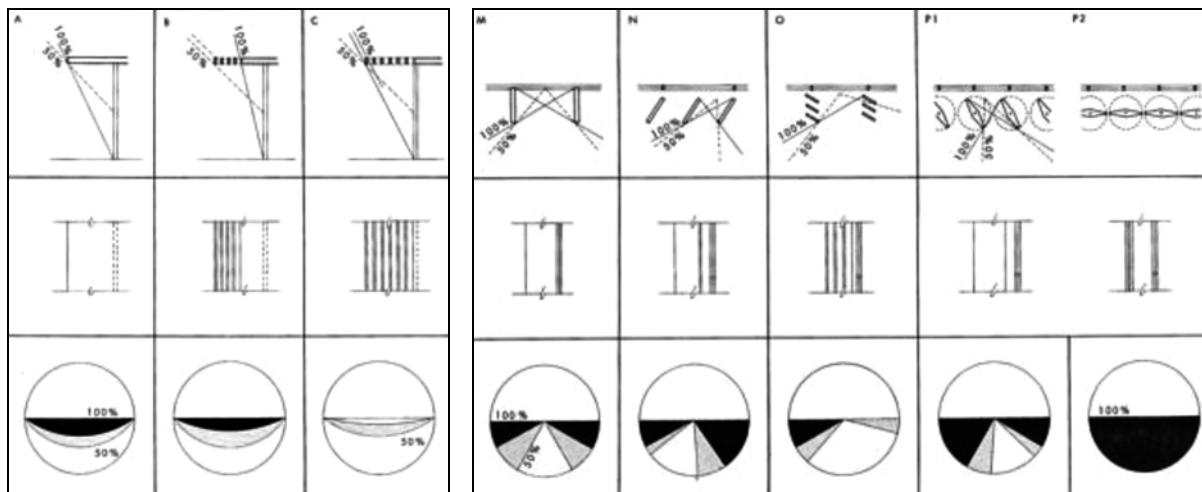


Fig.VII.43 – A sinistra: valutazione dei sistemi di schermatura orizzontali. Dall’alto verso il basso, le tre righe riportano: sezione, pianta, maschera d’ombra. A destra: valutazione dei sistemi verticali. Le tre righe riportano: pianta, prospetto, maschera d’ombra. Confrontando le immagini si evince come i frangisole orizzontali siano più efficienti a Sud (nello schema della maschera d’ombra il Nord è in alto), mentre gli altri risultano raccomandabili a Est ed Ovest. (Fonte: Studi di Victor Olgyay riportati in ROGORA, ALESSANDRO, op. cit., p.24)

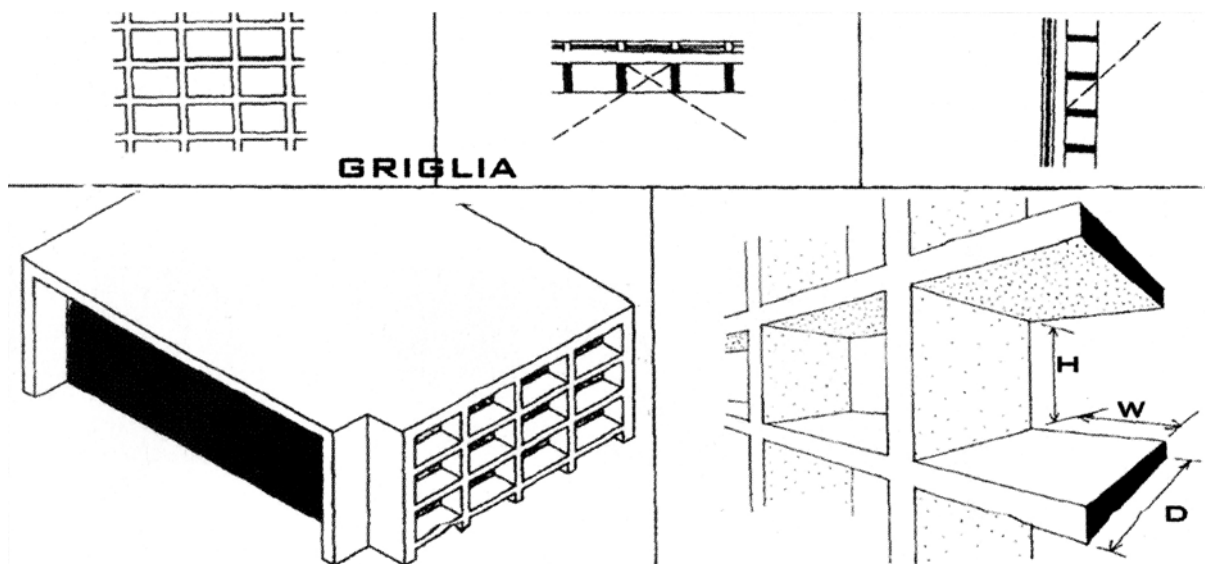


Fig.VII.44 – Frangisole a carabottino. Le variabili nel dimensionamento del sistema sono tre: base, altezza e profondità dei riquadri che ripartiscono la facciata. Esso è interessante perché somma le caratteristiche schermanti dei sistemi orizzontali e verticali, quindi si rivela efficiente per tutte le esposizioni solari e soprattutto nei climi caldi. Le criticità maggiori potrebbero essere rappresentate da un abbassamento della luminosità interna (dovuto all’elevato numero di elementi architettonici in facciata) e dalla limitazione della visibilità verso l’esterno. (Rielaborazione da: TUCCI, FABRIZIO, “Schermature fisse combinate orizzontali e verticali”, in *Involucro ben temperato*, in bibl., p.240)

⁴⁰ TUCCI, FABRIZIO, “Schermature fisse combinate orizzontali e verticali”, in *Involucro ben temperato – Efficienza energetica ed ecologica in architettura attraverso la pelle degli edifici*, in bibl., p.240



Fig.VII.45 – Wingårdh Arkitektkontor AB, *Kajplats 01*, Malmö (Svezia), 2001. Trattasi di un caso molto particolare di schermatura vegetale integrata alle superfici trasparenti: questa soluzione tecnologica a protezione di una loggia semiaperta esposta a Sud, consta di due elementi vetrati accoppiati che contengono al proprio interno una *texture* disomogenea ottenuta tramite specie muscinali recise; è quindi possibile affermare che tale schermatura, a differenza di tutte quelle viste finora, non sia vivente: si è comunque deciso di riportarla ugualmente in quanto particolarmente interessante e totalmente inedita. Ulteriore annotazione riguarda l'accettazione dell'opera da parte della committenza: tale installazione, infatti, non veniva vista di buon occhio da parte dei possibili acquirenti, tanto che – per quanto assolutamente innovativa ed interessante – è stata quasi subito rimossa. (Fonte: Gert Wingårdh)

Fig.VII.46 – Wingårdh Arkitektkontor AB, *Kajplats 01*: dettaglio alla base della vetrata, nella sua connessione con la porzione opaca della chiusura. Dall'immagine risulta visibile sia la modalità di connessione tra le due lastre di vetro “a sandwich”, che il muschio in esse contenuto. (Fonte: <http://www.designbuild-network.com/features/feature508>)

VII.2.5. Trattamento naturale dell'aria

La vegetazione può offrire delle apprezzabili doti di umidificazione, purificazione e filtrazione naturale dell'aria atmosferica che avvengono, peraltro, senza l'impiego di energia elettrica o apparati meccanici, quindi con un diretto risparmio sia economico che, conseguentemente, di emissioni climalteranti in atmosfera. Diviene perciò comprensibile come un possibile impiego mirato di chiusure a verde per sfruttarne le possibilità di miglioramento delle condizioni atmosferiche garantisca a tali tipologie sistemiche delle potenzialità che nessun'altra finitura parietale potrebbe vantare. Le succitate caratteristiche si rivelano sicuramente più efficienti e controllabili nel caso di ambienti interni, in quanto la dimensione più contenuta degli spazi e il limitato volume d'aria su cui si troverebbero ad agire tali elementi a verde si rivelano maggiormente gestibili se confrontati alle dimensioni potenzialmente illimitate dell'aria esterna (nel caso dell'atmosfera esterna, come descritto in più sedi nel corso del precedente capitolo, sarà l'effettiva quantità di verde presente in una conurbazione o agente su una regione a delinearne l'effettivo contributo nei confronti dell'atmosfera: ciò non toglie che comunque, anche nel caso di ambienti esterni e per quanto limitata possa essere la superficie totale rappresentata da una chiusura inverdita, essa si rivelerà in tutti i casi più efficiente di una qualsiasi altra tipologia di chiusura che non integri la vegetazione su di sé).

Le modalità in cui le specie vegetali agiscono sulla qualità dell'aria fanno riferimento a due categorie, ossia l'umidificazione naturale dell'aria ed il biofiltraggio dagli inquinanti sospesi⁴¹. Alcune ricerche⁴² hanno però successivamente evidenziato come non siano solo gli apparati fogliari ed i funzionamenti fisiologici delle piante a provvedere alle varie azioni purificanti *attive* e *passive* (ed all'interno di questo ultimo gruppo le varie attività precedentemente declinate come *dirette* o *indirette*) e a garantire alle varie specie vegetali tali capacità, ma anche i microrganismi che presenziano sui loro apparati radicali. Si è scoperto come il contatto tra masse d'aria inquinata e alcune colonie di microrganismi che popolano le radici di alcune specie vegetali si risolve in una depurazione naturale dell'aria stessa, conseguentemente alle azioni fisiologiche messe in gioco dalla sola presenza di tali colonie; avviene quindi in un vero e proprio biofiltraggio dell'aria, totalmente naturale e passivo, prodotto non dalle specie vegetali ma dai microrganismi che popolano i loro apparati ipogei. Diviene perciò interessante vagliare le tecnologie oggetto della presente ricerca anche tramite questa loro possibilità intrinseca, ossia quella di poter agire da biofiltro per gli ambienti in cui si trovino, contribuendo alla salubrità spaziale e, di conseguenza, delle persone che vi risiedono.

Infatti, come noto, la qualità dell'aria indoor è sempre – o quasi sempre – peggiore di quella presente nell'atmosfera esterna. Fatto dovuto sia alla presenza di persone in un dato spazio con le loro contestuali differenziate attività, che conseguentemente agli oggetti o macchinari che vi siano insistano: in tali spazi le sostanze in sospensione (composti organici volativi, VOC: polveri, particolati, ecc.) potranno quindi essere molteplici e di vario genere, alcune delle quali potenziali fonti di discomfort o addirittura nocive per l'essere umano. Per tali motivazioni, nella gran parte di spazi o ambienti abitati da più soggetti contemporaneamente si rivela necessario l'installazione di un sistema per il trattamento e la depurazione dell'aria ivi presente: sistema finora eseguito, nella stragrande maggioranza dei casi, tramite filtri meccanici.

Una possibilità sicuramente interessante, che deriva dalle suddette maturate conoscenze in materia di biofiltraggio prodotto dai microrganismi che popolano le radici delle piante, è quella relativa al fatto di poter impiegare una parete a verde come sistema di filtraggio dell'aria: tale sistema, ai tempi del progetto di ricerca che l'ha teorizzato e messo in pratica, venne chiamato *BioWall* per enfatizzarne le caratteristiche di biofiltraggio; qualche anno dopo, nel 2004, venne brevettato in Nord-America col nome di *NEDLAW Living Wall*⁴³.

Il principio alla base del suo funzionamento è semplice e consiste nel far passare l'aria estratta da un dato ambiente attraverso il substrato in feltro sintetico di un muro vegetale (Fig.VII.47): la collaborazione tra l'attività fisica e fisiologica delle piante, e le azioni messe in gioco dai microrganismi che stanziato sugli apparati radicali, creano un'efficiente sinergia di purificazione dell'aria. Aria che, conseguentemente a tale azione biofiltrante, sarà pronta ad essere re-immessa nello stesso ambiente da cui era stata precedentemente estratta. Le piante, sfruttando l'energia luminosa fornita loro dal sole o derivante dalle lampade elettriche a spettro solare, metabolizzano o mineralizzano le molecole organiche e inorganiche presenti in atmosfera, mentre l'azione dei batteri presenti contribuisce ad eliminare le normali polveri in sospensione ed anche alcuni inquinanti quali formaldeide, benzene, toluene, monossido di carbonio, xilene, tricloroetilene, ossidi di azoto; tutti inquinanti spesso presenti

⁴¹ Cfr. VI.3.2

⁴² DARLINGTON, ALAN, DIXON, MICHAEL, "The biofiltration of indoor air – Air flux and temperature influences the removal of toluene, ethylbenzene, and xylene", in bibl.

⁴³ Cfr. <http://www.naturaire.com>

negli ambienti confinati in percentuali maggiori di quelle concesse dalla legge, e che contribuiscono a creare patologie quali la *Sick Building Syndrome* (sindrome da edificio malato).

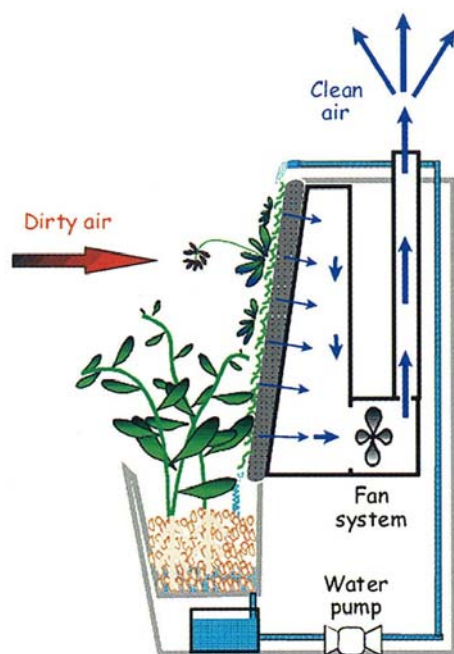


Fig.VII.47 – A sinistra. Sistema *NEDLAW Living Wall*: sezione e schema di funzionamento. L'installazione consta di un normale muro vegetale con substrato in feltro sintetico, mentre l'innovazione consiste nel trasformare l'intercapedine retrostante al substrato in una camera di estrazione forzata dell'aria; tale intercapedine di estrazione contiene al proprio interno un sistema di ventilazione meccanica, che serve a mantenere in costante ricircolo il volume d'aria presente in ambiente. Il reiterato passaggio dell'aria esausta attraverso l'apparato a verde ne procura una purificazione naturale, così che questa può venire più volte re-immessa nell'ambiente senza essere miscelata con dell'aria esterna più fredda, che ne comporterebbe un drastico abbassamento di temperatura a cui rimediare tramite apporti energetici ulteriori. (Fonte: <http://www.naturaire.com>)

Fig.VII.48 – A destra. *NEDLAW Living Wall*, installazione presso il *Cambridge Civic Center*, 2008. Il muro verde presenta una superficie complessiva di 112 m². Dall'immagine è comprensibile come seppur tale installazione presenti, come visto, anche una valenza funzionale sia del tutto simile, nella sua risultante estetica e di rappresentanza, ad un qualsiasi altro muro vegetale che non possa garantire le medesime doti di abbattimento degli inquinanti. (Fonte: <http://www.naturaire.com>)

Dal punto di vista tecnologico-costruttivo il sistema non è molto differente da quelli descritti nei precedenti capitoli. L'unica differenza consiste nel fatto che l'intercapedine presente tra l'installazione vegetale e la chiusura edilizia strutturale funziona da camera di estrazione, e contiene un sistema di ventilazione meccanizzato finalizzato a mantenere il fluido gassoso costantemente in circolo; essendo il supporto rigido a sostegno del feltro completamente traforato, consente il passaggio dell'aria. Tale aria, venendo costantemente mantenuta in transizione fra l'ambiente da arieggiare e il substrato traforato del *BioWall*, sarà reiteratamente interessata dal processo depurativo naturale fino a che non risulti troppo carica di inquinanti per essere ancora riutilizzata; a quel punto, ossia quando le sonde elettroniche che sorvegliano il sistema ambientale valutino secondo i propri parametri preimpostati che

l'aria dell'ambiente sia eccessivamente carica di sostanze indesiderate, provvederanno a miscelarla con dell'aria pulita proveniente dall'esterno.

Dagli studi di Darlington emerge come tutte le specie vegetali presentino sui propri apparati radicali una certa quantità di microrganismi funzionali al biofiltraggio dell'aria, ma alcune piante si rivelano più efficienti di altre a tali scopi. Inoltre, non tutte le specie sono egualmente efficienti nei confronti delle medesime sostanze inquinanti; in altre parole, alcuni vegetali sono più efficienti per determinati inquinanti piuttosto che altri quindi, a detta dello stesso Darlington, la chiave della riuscita del sistema sarà trovare il giusto bilanciamento fra le varie forme di vita per ogni specifica installazione. La ricerca è tutt'oggi in via di implementazione, ma è già stata redatta una prima lista di specie maggiormente adatte al biofiltraggio indoor; esse sono: *Aglonema pictum*, *Chlorophytum*, *Codiaeum*, *Gineceo*, *Dracaena*, *Ficus*, *Hedera*, *Ficus eleastica*, *Adiantum capillus-veneris*, *Philodendron*, *Sansevieria*, *Agapanthus praecox orientalis*, *Tradescantia pallida* e alcuni tipi di palme (*Dypsis*, *Howea*, *Chamaedorea*). Queste, combinate di volta in volta a seconda delle qualità atmosferiche dell'ambiente in cui andranno inserite, o dipendentemente dai risultati che si intenda ottenere, andranno utilizzate mediante quantitativi e percentuali diverse.

I risultati di tali studi sono interessanti, in quanto rivelano come semplicemente mediante l'utilizzo di specie vegetali, e quindi senza l'impiego di particolari sistemi tecnologici o macchinari sofisticati, si possa svolgere la medesima funzione che da anni viene demandata alle macchine. Inoltre, questo sistema consente degli indiscutibili vantaggi: il fatto di poter re-impiegare più volte lo stesso volume d'aria permette l'utilizzo in ambiente di quantitativi di fluido a temperature più vicine ai livelli di comfort; fluido che quindi non dovrà essere pre-riscaldato o pre-raffrescato (a seconda delle stagioni), con ovvi risparmi a livello sia economico che di emissioni climalteranti in atmosfera. Il team del dottor Darlington ha stimato che tale sistema abbia una resa di 1 m² per ogni 100 m² di superficie calpestabile degli ambienti da depurare: ciò significa che, in base ai calcoli del gruppo di ricerca canadese, per ogni 100 m² di superficie netta sarebbe necessario un solo m² di *BioWall* per garantire una purificazione naturale dell'aria.

Ulteriore possibilità che lega condizionamento atmosferico e proprietà vegetali delle chiusure invedite è quella inerente al raffrescamento passivo; il principio fondante è quello che, conseguentemente al passaggio di stato dell'acqua da liquido a gassoso, imputabile alla traspirazione dei tessuti vegetali, essa si raffresca. Sembra infatti che ogni litro d'acqua evaporata attraverso la vegetazione produca 0,64 kWh di raffreddamento della temperatura dell'aria⁴⁴: tale principio legato all'evaporazione dell'acqua è, come visto nel capitolo precedente, quello che permette alle piante di dissipare energia mantenendo la propria temperatura sempre prossima o inferiore a quella dell'atmosfera. Ne deriva la possibilità di considerare una parete a verde come un apparato per il trattamento naturale e passivo dell'aria negli spazi confinati, sia sotto l'aspetto dell'umidità relativa⁴⁵ che della temperatura percepita dall'uomo⁴⁶.

⁴⁴ Fonte del dato: <http://www.urbanarbolismo.es>.

⁴⁵ I tradizionali condizionatori d'aria meccanici abbassano le temperature mediante un doppio sistema: il primo raffredda un liquido refrigerante impiegando energia ed espellendo all'esterno il calore risultante; il secondo provvede al passaggio dell'aria da condizionare all'interno di uno scambiatore che contiene il liquido precedentemente raffreddato, abbassandola di temperatura: in tale processo parte dell'umidità contenuta nell'aria condensa all'interno dell'apparato, quindi l'aria fredda immessa in ambiente ne risulta secca e non sempre confortevole. (Fonte: <http://www.urbanarbolismo.es>)

⁴⁶ In linea di massima un'umidità relativa medio-alta (ossia compresa tra il 40 e il 70%) risulta maggiormente confortevole per l'essere umano; inoltre, nei climi caldi-secchi l'aumento dell'umidità relativa dell'aria provoca un

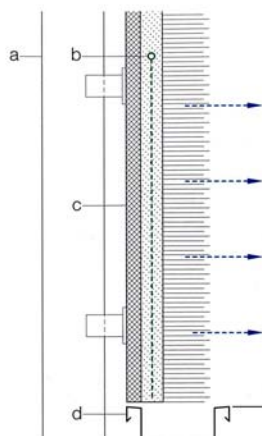


Fig.VII.49 – A sinistra. Indoorlandscaping, Art Aqua: *GrüneWand*. Chiusura verticale vegetata per il condizionamento microclimatico dell'aria indoor: sezione schematica di funzionamento. Il sistema è composto da pannelli modulari delle dimensioni di 40x60x5 cm. che presentano un substrato in schiuma di resina fenolica collocato su uno strato rigido in polistirene; l'inverdimento prevegetato che trova alloggio sulla resina fenolica è composto da piante di *Ficus pumila* e *Philodendron scandens*. La composizione sintetica del substrato agevola la non proliferazione (e conseguente diffusione in ambiente) di funghi e batteri, in quanto si rivela inerte agli attacchi biologici indesiderati. Il sistema presenta una capacità di raffreddamento passivo per evaporazione compresa tra i 50 e i 110 W/m² (variabili cioè in funzione delle stagioni) ed una evaporazione giornaliera compresa tra 1,8 e 3,8 l/giorno per ogni m² di superficie a verde. Legenda dello schema: a. Sistema di supporto in tubolare metallico; b. Fertirrigazione; c. Pacchetto a verde; d. canalina di recupero idrico. (Fonte: KALTENBACH, FRANK, "Living Walls, Vertical Gardens", in bibl., p.1464)

Fig.VII.50 – A destra. Indoorlandscaping, Art Aqua: *GrüneWand*. Esempio di applicazione presso l'edificio *HVB HQ* di Monaco di Baviera (Germania), 2004. Si noti l'omogeneità superficiale dell'apparato vegetale: esso viene costantemente mantenuto su uno spessore di 5-7 cm. tramite attività di potatura che avvengono trimestralmente, al fine di ottimizzare non solo l'aspetto figurativo ma anche il rendimento del sistema; con la stessa cadenza temporale avviene anche il monitoraggio delle tubature d'irrigazione: tale impianto si rivela quello più importante quando si adotti una parete a verde per sfruttarne le doti di umidificazione ambientale. (Fonte: Art Aqua)

Esistono delle sperimentazioni che utilizzano le chiusure vegetate come elementi di condizionamento microclimatico, impiegando tali superfici a verde in sostituzione dei tradizionali sistemi di climatizzazione e trattamento dell'aria indoor (Fig.VII.49 e Fig.VII.51). Ciò avviene sfruttando le caratteristiche traspirative dei tessuti vegetali e/o quelle evaporative dei substrati sui quali tali piante insistono, con la conseguenza che sarà in questo caso proprio il carico idrico necessitato dai vari apparati a verde a tramutarsi nella discriminante che incide direttamente sulla maggiore o minore umidificazione di un ambiente. La conseguenza di tutto ciò è profondamente legata alla fisiologia della vegetazione: essa, alla stregua di un qualsiasi altro organismo vivente, non è altro che un sistema autoregolante avente una richiesta idrica maggiore o minore a seconda della temperatura presente nell'ambiente in cui si trovi, con una conseguente più o meno cospicua immissione di umidità in atmosfera. Tale quantitativo immesso, maggiore nel caso di alte temperature dell'aria e minore nel caso di temperature più contenute, contribuirà alla climatizzazione ambientale naturale, col vantaggio

aumento del comfort percepito.

ulteriore di mantenere l'umidità relativa a livelli più vicini a quelli di comfort. Il fattore interessante di tutto ciò è che tali installazioni vegetali potranno influire sensibilmente sulle condizioni ambientali di un dato luogo in modo totalmente passivo, ed impiegando solo dell'acqua come elemento energetico di base; inoltre, il fatto che la percentuale di umidità relativa venga naturalmente immessa in ambiente attraverso le piante permette di eliminare le problematiche spesso legate ai condotti di aerazione meccanici, che possono vedere la proliferazione di batteri o altre sostanze inquinanti⁴⁷.

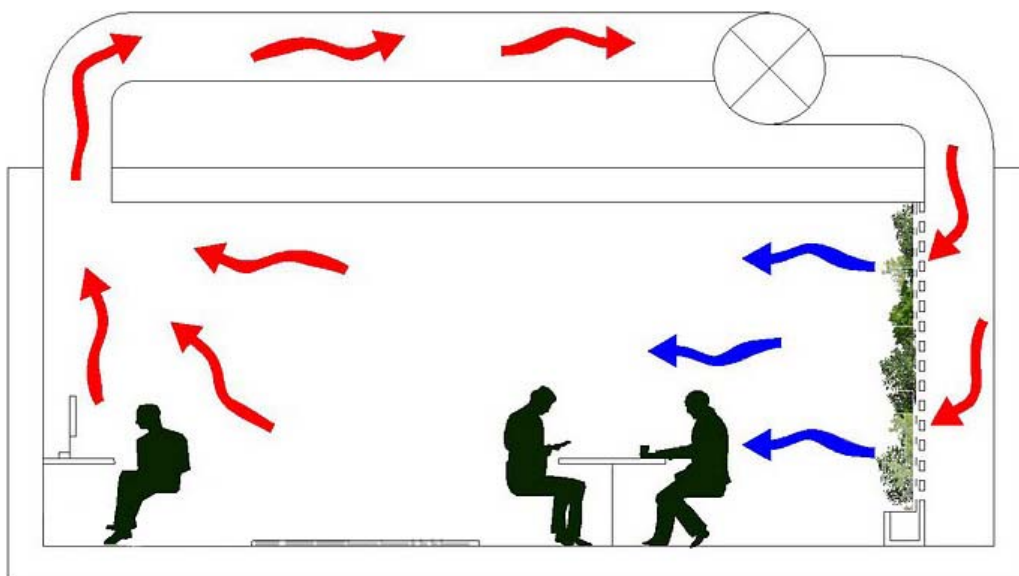


Fig.VII.51 – Urbanarbolismo, *Aire Acondicionado Vegetal*: schema di funzionamento in sezione. Questo sistema assomma le caratteristiche funzionali e gli obiettivi dei due visti in precedenza: esso viene infatti impiegato sia con lo scopo della purificazione naturale dell'aria indoor che per l'umidificazione ambientale passiva. Si noti rispetto al sistema *NEDLAW Living Wall* (cfr. Fig.VII.47) la direzione inversa del flusso dell'aria, che viene aspirata nella parte alta della stanza per essere re-immessa in ambiente dalla parte retrostante alla vegetazione. (Fonte: http://www.urbanarbolismo.es/blog/?page_id=500)

Dalle considerazioni introdotte, che comunque si basano su conoscenze giovani e tutt'oggi in via d'implementazione, ne derivano altre degne di sottolineatura. Il poter contare in futuro su degli strumenti operativi che permettano di operare un dimensionamento di massima in funzione degli obiettivi di purificazione naturale o condizionamento microclimatico di luoghi confinati che ospitino delle pareti a verde, potrebbe rappresentarne un elemento altamente caratterizzante e che declinerebbe le chiusure vegetate come una tecnologia del tutto diversa dalle altre. Per di più, la possibilità di valutare per la prima volta i sistemi di chiusura vegetata come delle tecnologie d'integrazione o addirittura sostitutive dei sistemi attivi e convenzionali di un edificio – ossia quello di ventilazione e/o purificazione dell'aria – si rivela una via del tutto inedita ed assolutamente degna di essere perseguita.

⁴⁷ Proprio per tale motivo nei sistemi convenzionali di trattamento dell'aria viene raccomandata una periodica pulizia dei filtri; per contro, quando si impiegano a tale scopo delle chiusure vegetate, saranno i condotti dell'acqua da tenere debitamente sotto controllo: l'igiene dell'acqua gioca un ruolo decisivo nel loro corretto funzionamento, quindi sarà opportuno un loro controllo a cadenza trimestrale (frequenza trimestrale che si rivela peraltro ottimale anche per la gestione del verde, quindi potrebbe rivelarsi consigliabile accorpate negli stessi periodi tali due attività di manutenzione ordinaria).



Fig.VII.52 – *Canevaflor*, inverdimento delle chiusure esterne presso i quattro autosilo della stazione *Perrache*, Lione (Francia), 2008. Trattasi di un raro caso di chiusura vegetata impiegata all'esterno con l'obiettivo della qualità dell'aria e dell'abbattimento dell'inquinamento atmosferico. L'inverdimento presenta una superficie complessiva di circa 400 m² e contiene 9.000 piante di 19 specie diverse. Proprio per contrastare l'inquinamento dell'aria sono state selezionate delle specie particolarmente indicate per agire sui metalli pesanti dei gas di scarico, come *Cornus* (per l'abbattimento del rame), *Stachis* (nicel) e *Arabis* (cadmio, piombo, rame). La struttura presenta una commistione di chiusure vegetate e muri vegetali, quindi è prevedibile che con l'andare del tempo il silo venga completamente invaso dalla vegetazione. (Fonte: <http://www.canevaflor.com>)

Fig.VII.53 – *Canevaflor*, assonometria del modulo impiegato per l'inverdimento della stazione *Perrache*. La struttura modulare è composta da gabbioni metallici zincati a caldo; essi contengono a loro volta un substrato misto (fibra di cocco, perlite, fertilizzanti a rilascio controllato) inserito in appositi sacchi di tessuto non tessuto imputrescibile. Alcuni test eseguiti sul sistema *Canevaflor* hanno dimostrato un sensibile contributo all'abbattimento degli inquinanti sospesi. Tali sperimentazioni, consistite nel far passare tramite il substrato dell'aria fortemente inquinata, hanno dimostrato un abbattimento delle sostanze sospese quantificabile nell'80% degli idrocarburi, e fino al 50% degli ossidi di azoto. (Fonte: <http://www.canevaflor.com>)

VII.2.6. La parete a verde come possibilità fitodepurativa

La fitodepurazione è un sistema per la purificazione delle acque reflue domestiche impiegante il principio di autodepurazione tipico degli ambienti acquatici. Essa avviene tramite delle interrelazioni che si vengono a creare tra alcuni particolari tipi di piante, il suolo e i batteri che vi presenziano; quindi, nella realizzazione di un impianto a fini depurativi non risulterà solo primariamente importante la selezione dei vegetali ma diverranno anche fondamentali la corretta realizzazione tecnologica dell'impianto e la pertinente selezione dei materiali. Realizzare un sistema di fitodepurazione significa gestire l'acqua reflua in uscita da un edificio residenziale o di altra destinazione d'uso mediante un processo naturale reso possibile da degli elementi naturali in modo totalmente passivo, così che tale acqua reflua, una volta purificata alla conclusione del processo fitodepurativo, possa venire re-immessa nell'ambiente circostante o essere riutilizzata a fini domestici diversificati⁴⁸.

⁴⁸ Il sistema della fitodepurazione è considerato dalla legge alla stregua di un qualsiasi altro sistema per la depurazione civile dei reflui, tanto che viene in alcuni casi addirittura incentivato o prescritto. Cfr. D.Lgs. 152/2006 – *Norme in materia ambientale*.

Gli impianti di fitodepurazione sono dei sistemi biologici secondari: ciò significa che a loro volta necessitano di un pre-trattamento (detto *primario*) avente la funzione di preparare il liquido che vi venga immesso. Tale trattamento primario, nella normale edilizia convenzionale, avviene mediante delle vasche di sedimentazione (ad esempio vasca *Imhoff* o fossa settica) finalizzate alla sedimentazione dei solidi grossolani che non potrebbero essere immessi nell'impianto fitodepurativo pena l'intasamento dello stesso. Inoltre, qualora l'acqua da destinare alla fitodepurazione potesse provenire da destinazioni particolari (ad esempio le *acque gialle* della cucina) risulterà opportuno operare un ulteriore pre-trattamento tramite una vasca di degrassazione.

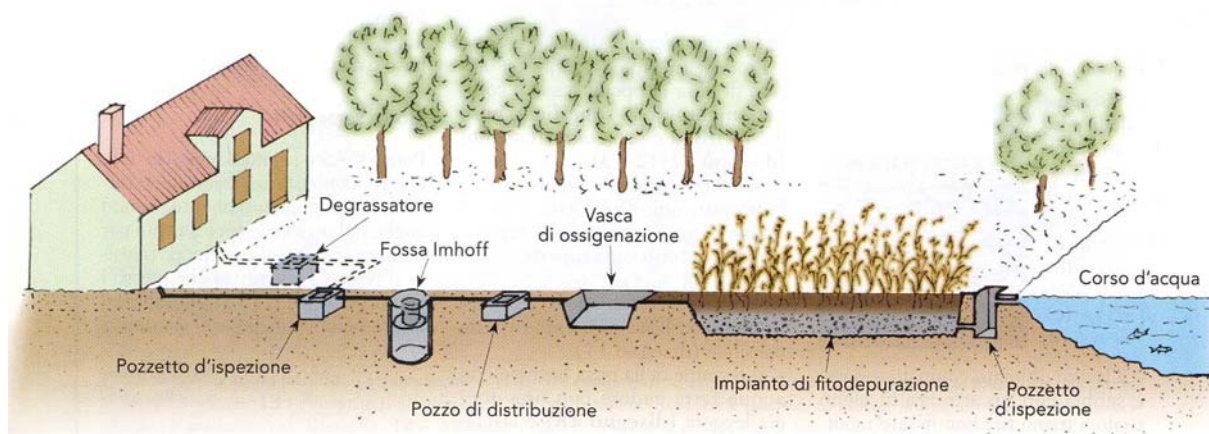


Fig.VII.54 – Schema tipico di un sistema fitodepurativo sub-superficiale. Si possono notare sia i vari sistemi di pre-trattamento (degrassatore e fossa *Imhoff*) che la fitodepurazione vera e propria. Il sistema qui riportato scarica il fluido depurato direttamente all'interno del corso d'acqua prospiciente all'edificio: tale opzione è solo una fra le varianti possibili, infatti il fluido chiarificato potrebbe anche essere rilasciato nel terreno o venire riutilizzato a fini domestici. (Fonte: VERONESE, MARIO, "Ciclo dell'acqua e fitodepurazione nell'edilizia sostenibile", *Atti del corso ANAB di Architettura naturale – Modulo A*, 2009, p.70)

I sistemi per la realizzazione di una fitodepurazione sono sostanzialmente tre, anche se di questi solo due si adattano alle utenze di dimensioni medio-piccole ed agli insediamenti residenziali o ricettivi. Essi sono il sistema fitodepurativo *sub-superficiale verticale*, la fitodepurazione *sub-superficiale orizzontale* ed i sistemi *a flusso superficiale*⁴⁹. Nei primi due il liquido da depurare scorre nel terreno ma non affiora mai del tutto, mentre nel terzo sistema – ossia quello a flusso libero, sconsigliabile nella maggior parte dei casi domestici o residenziali a causa del possibile cattivo odore che potrebbe susseguirne – il refluo scorre liberamente in superficie all'interno di bacini idrici appositamente progettati e deputati a tale funzione. I sistemi sub-superficiale verticale ed orizzontale si potrebbero inoltre anche utilizzare accoppiati per una migliore efficienza depurativa soprattutto in funzione della riduzione dell'azoto: tale strategia è comunque scarsamente impiegata, in quanto solitamente si opta per l'adozione dell'una o dell'altra strategia.

Lo schema tipico di un impianto fitodepurativo (Fig.VII.54) consiste quindi in una successione di vasche e pozzetti interrati all'esterno dell'edificio, deputati a diverse finalità. Il refluo da depurare attraverserà una serie di stadi ed azioni purificanti, prima che il liquido in uscita dall'ultima fase del

⁴⁹ Tali sistemi possono venire altrimenti definiti *Sistema a flusso sommerso verticale*, *Sistema a flusso sommerso orizzontale* e *Sistema a flusso libero*.

processo – ossia la fitodepurazione vera e propria – venga re-immesso in ambiente (ad esempio all'interno di un corso d'acqua superficiale, o mediante l'infiltrazione nel terreno prospiciente all'impianto) o riutilizzato a fini domestici.

La vasca fitodepurativa consiste in una camera impermeabilizzata alla base e lateralmente, contenente ghiaia di diverse granulometrie o sabbia, e delle particolari specie vegetali: il refluo che vi transita attraverso deposita le proprie sostanze in sospensione uscendone chiarificato. L'attività depurativa è di tipo fisico, chimico o biologico, e viene svolta in maniera sinergica dagli elementi ivi presenti: sabbia e ghiaia contribuiscono ad intrappolare fisicamente le particelle di sostanza organica sospesa; l'azione fisiologica delle piante risulta efficace nell'abbattimento di azoto e fosforo; l'attività delle colonie di microrganismi e batteri che si vengono a formare in prossimità sia dei substrati che delle radici delle piante svolge un'azione di indebolimento dei patogeni⁵⁰.

Le specie vegetali impiegate nella fitodepurazione sono le cosiddette *macrofite*⁵¹, ossia piante superiori acquatiche. Alcune tra le macrofite considerate più efficienti a fini fitodepurativi sono: *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, *Scirpus lacustris*, *Iris pseudacorus*, *Juncus effusus*, *Caltha palustris*, *Alisma aquatica*, *Lithrum salicaria*, *Ceratophyllum demersum*, *Carex spp*, *Scirpus spp*, *Shoenoplectus spp*, *Miriophyllum spicatum*.

La differenza tecnologica tra i sistemi di fitodepurazione verticale e orizzontale consiste sostanzialmente nel modo in cui il refluo viene immesso e ripescato dal letto di ghiaia: nel primo caso ci si affiderà ad un sistema di tubature inglobate nel terreno e servite da una pompa meccanica per la movimentazione dei fluidi (Fig.VII.55), mentre nell'altra casistica tutto il moto del liquido avviene passivamente, grazie alla movimentazione naturale dello stesso che avviene nel rispetto delle leggi che regolano la disciplina dell'idrologia (Fig.VII.56). La differenza funzionale è invece data dal fatto che nel primo caso il substrato potrà essere saturo o meno a seconda dei flussi d'acqua in uscita dall'edificio, mentre nell'altro la superficie di ghiaia risulta costantemente imbibita, con ovvie ripercussioni sulla funzionalità dello spazio.

⁵⁰ L'azione depurativa messa in gioco dai microrganismi che popolano le radici delle piante è sostanzialmente la stessa descritta nel paragrafo precedente, quando si è parlato di trattamento naturale dell'aria indoor (cfr.III.2.4).

⁵¹ «Le macrofite acquatiche sono un gruppo definito su base ecologica-funzionale e comprendono i vegetali macroscopicamente visibili, presenti negli ambienti acquatici, palustri e di greto; costituiscono una componente del comparto vegetale degli ambienti fluviali. Questo raggruppamento è composto da angiosperme erbacee, pteridofite, briofite e da alghe filamentose. Più specificamente, si fa riferimento ad alghe formanti aggregati macroscopicamente visibili. [...] Sulla base dell'ecologia delle specie, riferendosi, in particolare, all'igrofilia degli organismi, è possibile distinguere le macrofite in diversi gruppi a diversa ecologia» come idrofite, anfifite, elofite, piante di greto o sopra-acquatiche. (Fonte: CENTRO TEMATICO ACQUE INTERNE E MARINO COSTIERE, *Metodologie analitiche della componente vegetazionale negli ambienti di acque correnti (Macrofite)*, in bibl., pp.8-9)

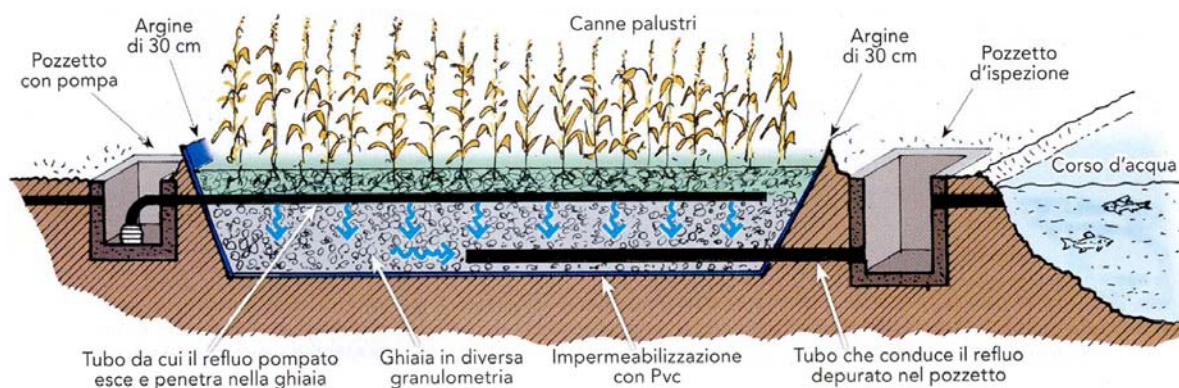


Fig.VII.55 – Schema di una fitodepurazione sub-superficiale verticale: il liquido di scarico non è mai all’aria aperta e il substrato si satura in modo non continuo. Inoltre, il fluido da depurare viene immesso e successivamente espulso mediante l’ausilio di pompa meccanica e tubazioni. (Fonte: VERONESE, MARIO, “Ciclo dell’acqua e fitodepurazione nell’edilizia sostenibile”, *Atti del corso ANAB di Architettura naturale – Modulo A*, 2009, p.71)

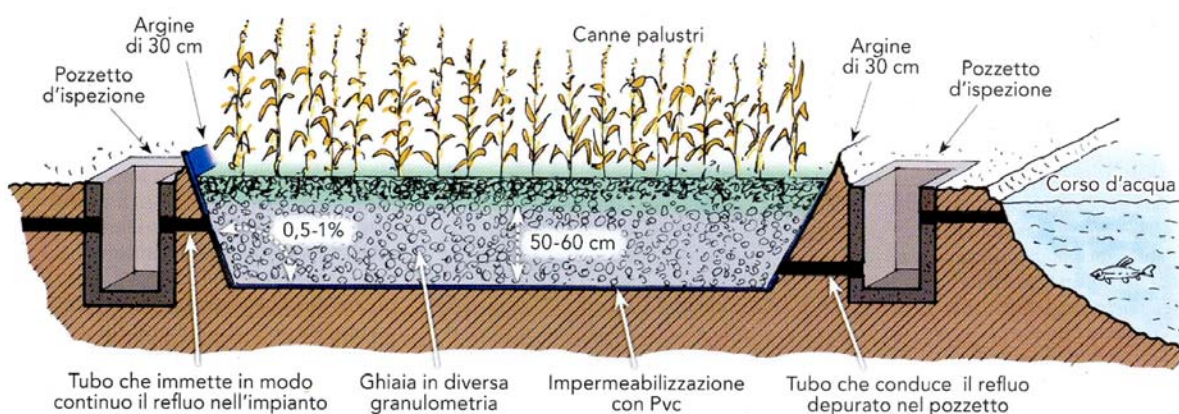


Fig.VII.56 – Fitodepurazione sub-superficiale orizzontale: il refluo non è mai all’aria aperta e il substrato è sempre saturo. In questo caso non sono presenti tubazioni né pompe meccaniche per la movimentazione del fluido da depurare. (Fonte: VERONESE, MARIO, “Ciclo dell’acqua e fitodepurazione nell’edilizia sostenibile”, *Atti del corso ANAB di Architettura naturale – Modulo A*, 2009, p.72)

Un’innovazione che recentemente interessato la tematica della fitodepurazione relativamente all’argomento oggetto della presente ricerca è stata l’applicazione del sistema fitodepurativo alle chiusure verticali vegetate. Conseguentemente al superamento della concezione strettamente orizzontale per il sistema, si è assistito alla recente nascita di un brevetto spagnolo che ha appunto provveduto ad unire la parete a verde e le possibilità di purificazione dei fluidi fornite da alcune particolari specie vegetali. In altre parole, mediante la semplice rotazione del sistema dal suo convenzionale stato orizzontale ad un inedito posizionamento in verticale è possibile utilizzare le pareti edilizie a verde anche per il trattamento e la purificazione dei fluidi.

Tale sistema, brevettato col nome di *Babylon* da parte dell’azienda spagnola *Vivers Ter*, è nato nel 2009, solo recentemente ha trovato la via commerciale ed è in questi mesi oggetto di ulteriore implementazione da parte della stessa azienda. La tecnologia costruttiva del sistema consiste

semplicemente nello sfruttamento a fini fitodepurativi di una chiusura vegetata che presenti un consistente spessore di substrato granulare in facciata: la modalità di realizzazione del brevetto è quindi consistita nella modifica del sistema stesso, mediante la selezione di idonee specie vegetali macrofite e di un opportuno miscuglio dei materiali componenti il substrato. La sinergia prodotta dal sistema “piante-substrato” permette quindi la depurazione naturale e passiva delle acque grigie in uscita dai bagni di un edificio tramite le canalizzazioni di lavabi, docce, vasche da bagno e bidet. Mediante il passaggio delle acque grigie all'interno del sistema vegetato coincidente con la parete edilizia, il fluido refluo si depura degli inquinanti in esso presenti e ne esce pronto per essere re-impiegato o re-immesso pulito nei normali sistemi di smaltimento urbano (Fig.VII.57).

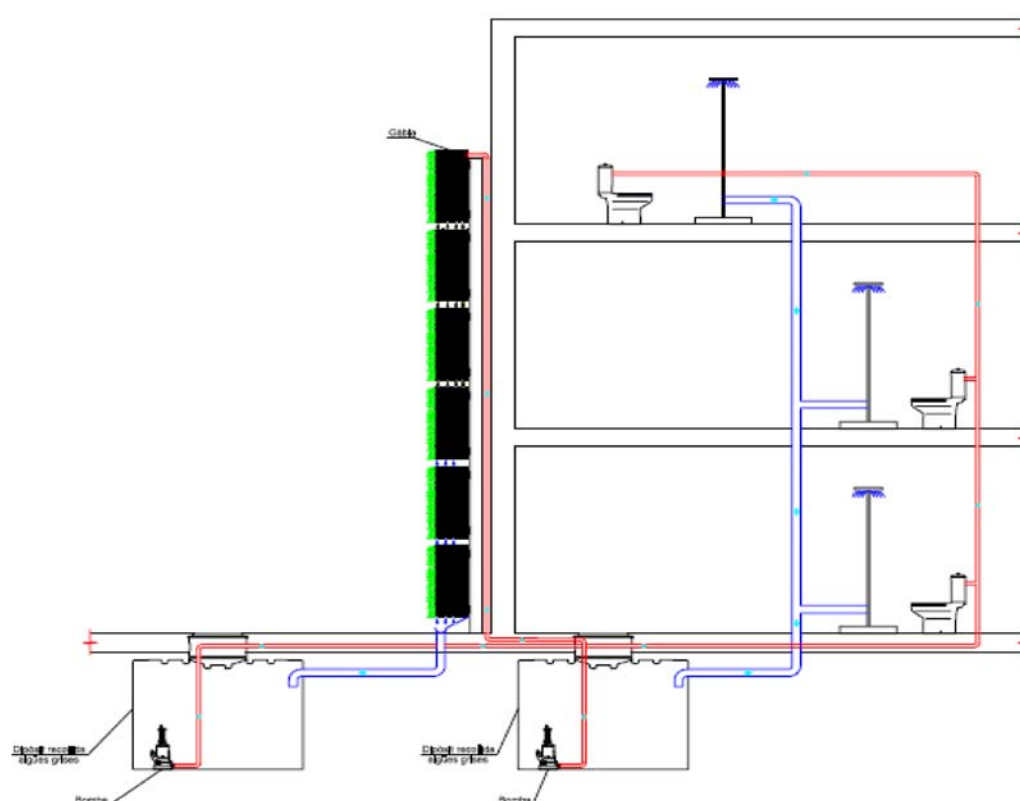


Fig.VII.57 – Vivers Ter, *Babylon*, 2009: sistema per fitodepurazione integrata alle chiusure edilizie verticali. È qui schematizzato il funzionamento del sistema: all'interno della chiusura vegetata viene introdotta l'acqua grigia proveniente dai bagni dell'edificio; conseguentemente all'azione di specie vegetali e substrati, il liquido refluo ne esce fitodepurato. Si notino, nella parte interrata sottostante all'edificio, le cisterne di pre-trattamento dell'acqua grigia e stoccaggio del liquido fitodepurato. (Fonte: Vivers Ter)

Babylon consente quindi un duplice vantaggio. Non soltanto permette il riutilizzo a fini non potabili delle acque domestiche⁵², ma consente inoltre il risparmio dell'acqua potabile nell'irrigazione delle specie presenti in parete, il cui quantitativo, come visto, può in alcuni casi non essere trascurabile soprattutto in climi caldi o mediterranei come quelli di Italia o Spagna. *Vivers Ter* ha

⁵² Ad esempio negli sciacquoni dei WC.

stimato che per ottenere la massima efficienza fitodepurativa, tale sistema necessita di una superficie di 2,5-3 m² di parete verde per ogni singola persona che rappresenti l'utenza media dei bagni⁵³.

Dal punto di vista prettamente tecnologico la realizzazione di una chiusura edilizia fitodepurante non richiede particolari differenze rispetto ad una qualsiasi altra facciata inverdita che presenti del substrato granulare in parete. L'unica differenza consiste nel sistema di tubature in entrata e uscita dalla chiusura vegetata, finalizzate alla conduzione del liquido da depurare.

Anche un ispessimento del pacchetto tecnologico sarà irrinunciabile in quanto, se una chiusura vegetata può sussistere anche in assenza di substrato, un sistema fitodepurativo verticale richiederà sempre, invece, una cospicua dose di ghiaie o sabbie. Si precisa che comunque tale ispessimento del pacchetto totale di chiusura non sarà un problema (se si esclude il maggiore spazio richiesto per la messa in opera), in quanto elevati spessori e masse volumiche della parete si rivelano benefiche dal punto di vista sia del comportamento inerziale della facciata, che sotto l'aspetto dell'abbattimento dell'inquinamento acustico.

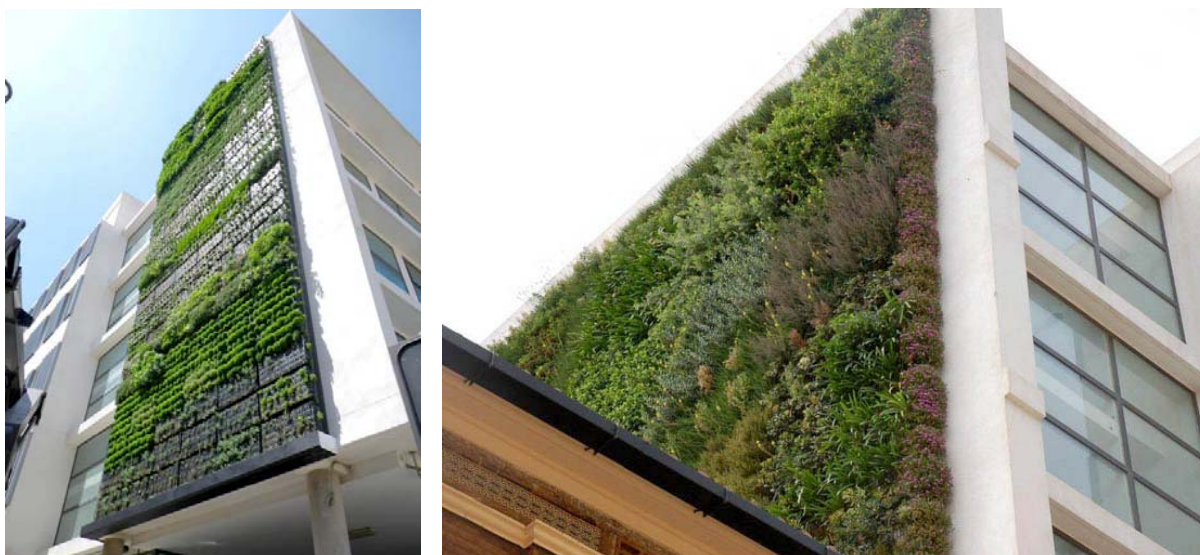


Fig.VII.58 – Vivers Ter, *Estación de Telecomando*, Valencia (Spagna), 2010. L'immagine di sinistra si riferisce alle fasi di cantiere, mentre l'altra ripropone la chiusura vegetata dopo la chiusura dei lavori. L'installazione del sistema *Babylon* per una superficie vegetale di 445 m² consente di fitodepurare tutta l'acqua grigia prodotta conseguentemente all'utilizzo del fabbricato. (Fonte: <http://www.v-ter.com>)

Qualora si decida di utilizzare le chiusure verticali dell'edificio come sistema di fitodepurazione sarà da tenere in debita considerazione un aumento delle attività di gestione e manutenzione legate alla presenza di impianti supplementari. Ciò significa che, oltre alla presenza del verde in facciata ed alle contestuali attività gestionali ad esso deputate, si renderanno obbligate tutta una serie di azioni

⁵³ Nel caso della fitodepurazione orizzontale una stima di massima consiste nel considerare 4-5 m² di superficie fitodepurativa per ogni persona che rappresenti l'utenza domestica media. La differenza di questo dato con le stime redatte dall'azienda spagnola deriva probabilmente dal fatto che quest'ultima, operando solitamente con alberghi e strutture ricettive, considera esclusivamente il volume d'acqua prodotto dai bagni e non quello relativo a cucine, lavanderie, ecc. È quindi possibile ammettere che, qualora si volesse impiegare il sistema *Babylon* per qualsiasi tipologia d'acqua grigia o gialla che esca da un'utenza civile media, sarebbe sicuramente necessaria una superficie di parete a verde maggiore rispetto a quella dichiarata dal produttore. In base a tale assunto è perciò possibile affermare che l'efficienza di una fitodepurazione verticale equivale ad una orizzontale.

legate alle presenze supplementari (tubature, pozzetti d'ispezione, ecc.) che la corretta funzionalità di un impianto del genere richiede. Ne consegue che anche lo spazio addizionale da dedicare a detti pozzetti e vasche di pre- o post-trattamento dell'acqua andrà debitamente conteggiato nella dislocazione funzionale dei vari vani tecnici, con relative maggiori necessità di spazio per la realizzazione del sistema.

L'idea di *Babylon*, seppur si trovi attualmente ancora ad uno stadio di giovinezza sistemica ed implementazione, si rivela interessante in quanto, alla stregua di tutti quelli descritti nel presente paragrafo, permette di considerare la chiusura vegetata come portatrice di funzionalità supplementari, innovative ed interessanti, che mettono la parete a verde nelle condizioni di passare da mero elemento di facciata ad apparato attivo e pienamente partecipativo della sostenibilità del manufatto edilizio che la ingloba.



Fig.VII.59 – Mitzi Rojas, *Hotel Radisson*, Concepción (Cile), 2010. Anche in questo caso il sistema *Babylon* è stato impiegato in funzione della fitodepurazione verticale: tutta l'acqua grigia prodotta dall'albergo viene biodepurata dalle piante presenti in parete, per essere successivamente re-impiegata. Nell'immagine di destra sono raffigurate alcune fasi di cantiere, dove si può notare la natura modulare del sistema e la sottostruttura metallica di supporto ai pannelli prevegetati. Come visibile, nonostante la natura fortemente funzionalizzata di questa particolare tipologia di chiusure inverdite, esse presentano comunque un'apprezzabile valenza formale. (Fonte: <http://www.v-ter.com>)

VII.3. La verticalizzazione vegetale in funzione della coltivazione ortofrutticola

L'*Organizzazione delle Nazioni Unite* stima che entro l'anno 2050 la popolazione mondiale sarà di 8,5 miliardi di individui, e che il 70% di questi risiederà in conurbazioni metropolitane o megacittà⁵⁴. Questione che apre una serie di problematiche non solo a livello di pianificazione urbanistica, ma riguardanti anche l'approvvigionamento di cibo⁵⁵ in quanto – sempre stando alle stime ONU – nutrire tale ammontare supplementare di persone richiederà, in base alle attuali pratiche e tendenze agricole, un miliardo di ettari supplementari di terreno da destinare a coltivazione ed allevamento: terra che

⁵⁴ Nel 2008, per la prima volta nella storia, la popolazione a residenza urbana ha superato quella rurale: vengono definite *megacities* quelle conurbazioni che contano più di 10 milioni di abitanti. Un dato interessante è che queste erano solo tre nel 1975, mentre oggi sono ventuno.

⁵⁵ Entro la fine del 2011 il pianeta sarà popolato da 7 miliardi di persone: il dato assume maggiore rilievo se si considera che nel 1800 la popolazione mondiale contava un miliardo di abitanti, aumentati fino a due miliardi nel 1930 e tre miliardi nel 1960. (Fonte: *National Geographic*, gennaio 2011)

però non esiste. Si assisterà quindi presumibilmente, oggi o in un futuro prossimo, all'apertura di un nuovo fronte di criticità che chiama alla risoluzione di una serie di problematiche legate al sostentamento dell'elevatissimo numero di persone che popolano e popoleranno il pianeta.

Appare quindi evidente come ancora una volta la disciplina dell'architettura sembri costretta a dover giocare d'anticipo, in modo da arrivare preparati a poter gestire e risolvere tali quesiti. Questioni sostanziali che potranno essere gestite solo predisponendo soluzioni futuribili a breve, medio o lungo termine (alle quali dovranno prevedere soprattutto la ricerca scientifica e lo sviluppo di nuove teorie o tecnologie), ma iniziando anche ad operare fin d'ora mediante la pratica quotidiana e le azioni alla piccola o alla microscala. All'interno di tale duplice scenario si stanziano gli argomenti degli ultimi due paragrafi del capitolo, entrambi incentrati su temi affini – l'agricoltura – ma caratterizzati da scale di attuazione e periodi di applicabilità diversi.



Fig.VII.60 – Il progetto *The Urban Farming Food Chain* consta di 70.000 m² di pareti a verde destinate alla produzione ortofrutticola, disseminate in numerose città statunitensi (le immagini qui riportate si riferiscono a Los Angeles). Il progetto è così sviluppato: associazioni umanitarie o privati cittadini mettono a disposizione i propri spazi per il progetto, dove verrà successivamente realizzata l'installazione vegetale che permette la coltivazione in verticale (la foto di destra è stata eseguita durante le fasi di costruzione). Una volta che le pareti iniziano a generare frutta e verdura, le citate associazioni o privati cittadini potranno beneficiare di tale produzione che, solitamente, viene totalmente devoluta alle classi di persone più svantaggiate (ad esempio i senzatetto). La ditta *Green Living Technologies* è partner dell'*Urban Farming Food Chain* fin dall'inizio, quindi tutte le installazioni parietali del progetto impiegano il sistema *Green Living Wall*: esso viene usato per produrre ortaggi come pomodori, lattuga, ravanelli selvatici, legumi, fragole, peperoncini. (Fonte: <http://www.greenroofs.org>)

Concludendo questa breve sezione introduttiva delle tematiche legate alla coltivazione urbana ed alle sue prospettive di sviluppo, si ritiene opportuno evidenziare come tale argomento non rappresenti soltanto delle sperimentazioni estemporanee o senza alcuna base scientifica-culturale solida, ma il fenomeno è al vaglio di autorevoli associazioni nazionali o sovranazionali. Negli ultimi tempi, oltre ad essere rilevabili numerose sperimentazioni che si prefiggano di interpretare sotto molteplici forme la tematica dell'agricoltura all'interno dell'ambito urbano, è rilevabile una contestuale e forte attenzione anche da parte di importanti organi internazionali. Infatti, se la FAO (*Food and Agriculture Organization*) ritiene che nelle città l'unico modo che i poveri abbiano di sfamarsi sia quello della produzione in proprio, e che con allevamenti ed orti urbani o periferici si sfamerebbero circa 700

milioni di cittadini (ossia un quarto dell'attuale popolazione urbana mondiale)⁵⁶, sono altrettanto rilevabili in numerose metropoli del pianeta dei progetti finalizzati al dare in gestione alle categorie poco abbienti (poveri, anziani, ecc.), o a coloro che semplicemente abbiano la volontà di farlo, delle porzioni di terreno da adibire all'autoproduzione agricola⁵⁷. Ciò accade nelle conurbazioni metropolitane sia dei paesi più ricchi che di quelli di terzo e quarto mondo, e se si ritiene poco utile in questa sede passare al vaglio i vari e numerosi progetti oggi attivi nel globo⁵⁸, si rileva che comunque il fenomeno è in continua espansione ed è presente – da tempo più o meno lungo – anche in molte parti d'Italia⁵⁹.

VII.3.1. Un inedito spazio per coltivare: dal giardino verticale all'orto in facciata

All'interno delle argomentazioni della presente ricerca, la tematica della chiusura vegetata è stata vagliata alla luce di una molteplicità di declinazioni non solo tecnologiche e formali, ma anche funzionali e *funzionalizzanti*. Come ultima sezione del capitolo si intende compiere un ulteriore passo nella conoscenza delle possibilità del sistema, prendendo in considerazione anche un'ulteriore variazione nel genere della produzione vegetale resa possibile da tali tecnologie, ossia quella della produzione agricola alla microscala.

L'oggetto di questo paragrafo si inserisce all'interno di un contesto operativo e culturale maggiore, ossia quello del movimento degli orti urbani che negli ultimi anni sta venendo riscoperto con grande forza⁶⁰. Tale riscoperta di una prassi storicizzata è probabilmente imputabile non solo al progressivo impoverimento relativo che sta oggi interessando i ceti medio-bassi delle popolazioni dei paesi occidentalizzati, ma anche ad una variazione di quelle che sono le basi culturali legate ad un diverso approccio nei confronti del pianeta, delle risorse, della salute umana e della coscienza ambientale⁶¹. Inizia quindi oggi ad espandersi una pratica che fino a pochi anni fa era del tutto sconosciuta – o dimenticata – dalle popolazioni urbane.

Se, come detto, la pratica dell'agricoltura urbana rappresenta solo una porzione ristretta di quella che è una nuova coscienza ambientale, è altrettanto possibile affermare che il coltivare su superfici verticali occupi solo una piccola porzione di tale pratica in quanto, se è palese che lo spazio che meglio si adatta alla produzione agricola sia quello orizzontale, la possibilità di coltivare in verticale deriva da carenze di spazio – tipiche della vita in città – che non permettono di reperire facilmente spazi orizzontali su cui agire. Coltivare in verticale significherà perciò non solo sottostare a delle grosse delimitazioni nell'uso di spazio deputato all'autoproduzione agricola, ma anche essere consci

⁵⁶ GIRAUDDO, EZIO, AROSSA, ALBERTO, BOLZACCHINI, PAOLO, *Il piacere dell'orto*, in bibl., p.105.

⁵⁷ Sempre la FAO calcola che l'autoproduzione agricola potrebbe fruttare alle famiglie povere che la mettano in atto fino a 3 dollari al giorno: tale dato assume valore se vagliato alla luce del fatto che oggi, nel mondo, 1,2 miliardi di persone vivono con meno di un dollaro al giorno, e 3 miliardi con meno di due dollari.

⁵⁸ A puro titolo di esempio si citano i progetti di tre grandi città o capitali europee: il *Capital Growth* di Londra (Inghilterra), il *Champe de Cultures* a Bordeaux (Francia), ed il *Naerum Vaenge* di Copenhagen (Danimarca).

⁵⁹ Ad esempio, nel comune di Campalto (VE) alle porte della città di Mestre, già da molti anni alcune zone prossime al centro urbano sono state equamente suddivise in appezzamenti agricoli uguali, per poi essere date in gestione agli anziani della città in modo che questi possano autonomamente coltivarvi prodotti agricoli.

⁶⁰ Gli orti in ambito urbano sono storicamente sempre esistiti nelle conurbazioni dell'era industriale; di lì in poi si è assistito ad una loro progressiva scomparsa fino a giungere alla condizione della fine del XXI secolo in cui, complici anche il cambiamento degli stili di vita globali ed il forte inquinamento atmosferico che caratterizzava e caratterizza le odierne conurbazioni, sono scomparsi del tutto.

⁶¹ Cfr. capitolo I.

di quelle che sono le limitazioni risultanti da tale attività autoproduttiva, in quanto si potrà coltivare solo un numero ristretto di vegetali rispetto a tutti quelli che risulterebbe possibile da una normale attività su appezzamenti orizzontali.

Come nel caso delle chiusure edilizie a verde, anche le superfici verticali destinate alla produzione agricola saranno sostanzialmente realizzate tramite un sistema tecnologico composto da diversi apparati tecnologici o componenti, schematizzabili nei due macrosistemi di apparato vegetale (composto da vegetazione e substrato) e sottostrutture tecnologiche che ne rendano possibile il posizionamento in verticale e la conseguente integrazione ad una chiusura edilizia esistente o di nuova edificazione.

Partendo dal presupposto che le tecnologie sia per la messa in opera del sistema che per la realizzazione del pacchetto tecnologico destinato ad ospitare l'apparato vegetale sono del tutto simili a quelle viste in precedenza (capitoli III e V), lo scopo del presente paragrafo sarà quello di dimostrare quali siano le potenzialità o criticità di una coltivazione parietale verticale, quando essa sia possibile, e quali siano le attenzioni sia tecniche che agronomiche a cui prestare maggiore attenzione.



Fig.VII.61 – A sinistra. Il sistema *Revivall* prodotto dall'azienda Reviplant, inizialmente nato per l'inverdimento parietale (cfr. Fig.V.10) è stato successivamente adattato anche per la produzione ortofrutticola semplicemente variando la tipologia di specie vegetali ad esso integrabili. *Revivall* permette la coltivazione di specie a struttura erbacea o piccolo arbustiva. (Fonte: <http://www.reviplant.it>)

Fig.VII.62 – A destra. Il sistema *Greenwall* permette la coltivazione sia di piante ornamentali per facciate edilizie (cfr. Fig.V.13) che di specie orticole a foglia o di piccole dimensioni (ad esempio basilico, pomodori, lattuga, fragole, salvia, cicoria, spinaci, ecc). L'ulteriore evoluzione di tale sistema è consistita nello sviluppo di un modulo autonomo ed autoportante per la coltivazione urbana, denominato *Pocketgreen*: tale apparato (raffigurato nella foto) presenta una superficie coltivabile di 12 m² su ognuna delle sue facce, e può essere provvisto o meno di un sistema d'irrigazione automatizzato grazie al serbatoio idrico che contiene alla propria base. Una delle sue possibili varianti presenta delle ruote nella parte bassa che lo rendono mobile nello spazio.

VII.3.1.1. La componente vegetale

I fattori che influenzano la selezione dei vegetali per una coltivazione in verticale sono:

- portamento vegetale;
- necessità di substrato (composizione e spessore in favore degli organi radicali);

- dimensione massima raggiungibile sia dalla pianta che dai suoi prodotti;
- clima, microclima, esposizione solare (a tutto ciò si aggiunge la variabile rappresentata dall'inquinamento atmosferico del luogo)⁶².

Il portamento rappresenta una variabile importante in quanto – come visto in precedenza sia coi rivestimenti a verde che con le chiusure vegetate – anche nel caso delle coltivazioni orticole si rivelerà importante strutturare e dimensionare il sistema di supporto alla crescita della vegetazione in funzione delle caratteristiche vegetali: anche le varie specie commestibili presentano delle differenti caratteristiche fisiologiche e strutturali che ne determineranno, di conseguenza, un sottosistema di supporto differentemente conformato. Molte varietà orticole presentano un portamento rampicante, volubile o a intreccio⁶³ (fagioli, pomodori, zucchine, cetrioli, peperoni, uva, lamponi, ecc); altre avranno una struttura erbacea, tappezzante o tenderanno a ricadere verso il basso (basilico, rosmarino, spinaci, menta, lattuga); altre ancora svilupperanno la porzione commestibile al di sotto della superficie del terreno (ravanelli, carote, cipolla, ecc)⁶⁴.

Ciò significa che nel caso di portamenti vegetali rampicanti, volubili o a intreccio i sistemi di supporto andranno realizzati come nel caso dei rivestimenti a verde, quindi mediante tutori verticali, cavi tesati, reti metalliche o altre strutture di mediazione che consentano alla pianta di svilupparsi in altezza.

Quando le specie prescelte abbiano una struttura vegetale erbacea o piccolo-arbustiva le tecnologie da impiegare saranno invece quelle appartenenti alla categoria delle chiusure verticali vegetate. Tali tipologie vegetali sviluppano infatti una struttura vegetale più contenuta delle precedenti, accompagnata da apparato radicale maggiormente ridotto: ciò significa che il punto d'impianto e quello dello sviluppo vegetale dei prodotti commestibili risulteranno vicini, perciò la tipologia sistemica della chiusura vegetata risulta in questo caso maggiormente appropriata (sia essa *soiless* che comprensiva di substrato).

L'ultima casistica è quello in cui la parte commestibile della pianta si sviluppi sotto la superficie del terreno. Appare evidente come in tale caso la soluzione *soiless* non possa che rivelarsi inefficiente, quindi l'unica soluzione tecnologica possibile sarà quella che preveda la presenza del substrato in quota. Bisognerà quindi impiegare delle opzioni tecnologiche che integrino sulla propria superficie esterna degli spessori di substrato idonei in funzione delle specie che si è deciso di coltivare: alcune specie necessitano di cospicui spessori di substrato (ad esempio carota, bietola da orto) mentre altre crescono anche in spessori minori (ad esempio cipolla), risulterà quindi importante conoscere a priori lo spessore di substrato – o un *range* di spessore che possa permettere un adeguato *mix* vegetale – di cui si necessita. È altrettanto evidente come le colture che necessitano di uno spessore di substrato eccessivo per le tecnologie d'inverdimento parietale non possano essere realizzate mediante coltivazioni in verticale.

Nel caso della coltivazione orticola verticale i sistemi tecnologici potranno quindi differenziarsi sia in funzione delle specie vegetali che ospitano, che conseguentemente alla percentuale di superficie

⁶² Gli argomenti che riguardano clima, microclima, esposizione ed eventuale inquinamento del luogo d'impianto per una qualsiasi specie vegetale sono già stati trattati nel quarto capitolo: si rimanda perciò a quella sede per un eventuale approfondimento.

⁶³ Cfr. III.1

⁶⁴ Differentemente alla metodologia impiegata in precedenza all'interno della ricerca, in questa sezione del testo si è deciso di utilizzare esclusivamente i nomi comuni delle specie vegetali (anziché, come in precedenza, la doppia denominazione scientifica-volgare) al fine di rendere maggiormente agevole la comprensione dei concetti.

spaziale che occupino. Si avranno quindi degli orti verticali tecnologicamente assimilabili ai rivestimenti a verde precedentemente descritti qualora si utilizzino delle specie vegetali rampicanti; oppure dei sistemi *continui* o *puntuali* a seconda che la copertura vegetale occupi tutta o solo una parte della superficie verticale disponibile.

Non solo spessore e tipologia di substrato si riveleranno dei parametri fondamentali nelle possibilità di riuscita di un impianto, ma anche le sue caratteristiche fisiche risulteranno una discriminante alla buona o cattiva riuscita delle coltivazioni. Come nel caso delle piante da impiegare nelle facciate edilizie, anche le varie specie orticole necessiteranno di differenti composizioni e caratteristiche di substrato in funzione delle specie che si desidera integrare in parete, perciò anche la corretta selezione dei materiali da destinare alle varie stratigrafie di coltivo risulterà una discriminante fondamentale alla riuscita dell'impianto. Qualora si opti per coltivazioni che impieghino del substrato (terricci, inerti, ecc.) esse saranno del tutto simili alle normali coltivazioni in vaso, quindi oltre ad un'adeguata composizione materica dei componenti saranno da garantire idonee percentuali di umidità ed aerazione radicale agli organi vegetali ipogei.

Il medesimo discorso è valido anche per coltivazioni orticole che impieghino come substrato un feltro sintetico: in tal caso la problematica da risolvere non sarà quella della corretta selezione di terricci o inerti, ma si renderà necessario trovare un corretto miscuglio di nutrienti per la soluzione idrosalina da fornire alle piante mediante fertirrigazione. In questa sede ci si limita comunque ad evidenziare come ogni specie necessiti di caratteristiche di substrato (o di soluzione nutritiva) differenti in funzione delle proprie caratteristiche fisiologiche e di provenienza areale, e si rimanda ad approfondimenti specifici qualora si decida di misurarsi con la realizzazione di un orto verticale⁶⁵.

La diversificazione tecnologica appena operata, inerente alle possibili modalità di coltivazione *soiless* o mediante substrati, è comunque quella già descritta in precedenza (cfr. capitoli IV e V), quindi si rimanda a tali sedi per un approfondimento delle possibili distinzioni tecnologiche e funzionali che la interessino. L'unica specificità legata agli orti verticali è rappresentata dal fatto che se nel caso di installazioni di grandi dimensioni – come solitamente sono quelle per l'inverdimento di facciate architettoniche – risulterà sempre obbligato l'impiego di metodologie irriganti o fertirriganti automatizzate, nel caso di produzioni orticole parietali di modeste estensioni si potrà eventualmente anche evitare l'utilizzo di un sistema automatizzato: questione tutto sommato poco difficoltosa, ma che obbligherà periodicamente ad annaffiature e concimazioni manuali dei terreni⁶⁶.

L'insistenza delle piante sul terreno tende ad esaurirne i nutrienti presenti, quindi si renderà necessario intervenire periodicamente sui substrati per ripristinarvi le sostanze nutritive sottratte dai vegetali. Tale opzione potrà essere eseguita mediante una duplice modalità: si potrà decidere di reintegrare il terreno mediante concimazioni sistematiche, oppure previa una sua sostituzione a cadenza periodica. Opzione sicuramente più laboriosa quest'ultima, che obbligherà allo smontaggio annuale (o bi-annuale) della parete finalizzato alla rimozione del terreno esausto per sostituirlo con quello nuovo.

⁶⁵ Un caso particolare di integrazione fra vegetazione orticola e pareti verticali è quello storicizzato di appendere vasi di piante alle chiusure verticali dell'edificio (cfr. Fig.II.18): seppur si riconosca sia l'origine storica che l'efficienza di tale sistema, non essendo esso direttamente collegato agli argomenti del presente capitolo, verrà tralasciato.

⁶⁶ Si precisa che comunque, per installazioni parietali di modeste dimensioni, applicare un sistema automatizzato d'irrigazione o fertirrigante avrà un costo contenuto a fronte di un'efficienza elevata. Efficienza garantita dall'automazione e programmabilità dei vari cicli di annaffiatura, che quindi non richiederanno la presenza fisica di una persona che periodicamente svolga tali opere.



Fig.VII.63 – Turf Design Studio, *The Salad Bar*, Canberra (Australia), 2009. Una superficie parietale presso l'area esterna di questo locale pubblico ospita un orto verticale. L'installazione è alta 2,5 m e suddivisa orizzontalmente in partizioni modulari di 1 m. La struttura è mista in legno e acciaio, ed ogni modulo contiene del substrato dove vengono piantati i vari ortaggi. L'intero sistema è servito da un impianto d'irrigazione automatizzato e nella parte bassa dell'installazione (in colore grigio nelle immagini) è presente un serbatoio per il recupero idrico dell'acqua non trattenuta dai vegetali. (Fonte: <http://www.aila.org.au/SustainableCanberra/006-salad/default.htm>)

Le dimensioni a stato maturo delle varie piante rappresentano un limite fisico oggettivo nella selezione dei vegetali da coltivare. Inoltre, tale considerazione si rivela valida sia per la porzione vegetale aerea di una specie, che – e soprattutto – per i suoi frutti una volta maturi. Nel primo caso si rivelerà importante selezionare una specie in funzione dello spazio di cui si disponga per la sua coltivazione, perché l'utilizzo di piante che crescono troppo vigorosamente o abbiano uno sviluppo volumetrico eccessivo per il luogo ad esse destinato si tradurrebbe in un'elevata attività gestionale da dedicarvi durante l'anno.

Conoscere la dimensione dei frutti⁶⁷ prodotti dalle varie piante coltivate diviene un dato importante per due motivi. In primo luogo perché risulterà impossibile coltivare in superfici verticali quelle specie vegetali che abbiano dei prodotti eccessivamente voluminosi o pesanti, tanto che la pianta stessa non riesca a supportarli alla fine del proprio ciclo produttivo (ad esempio zucche, angurie, meloni, ecc: tali frutti, una volta maturi, toccano terra perché eccessivamente pesanti).

La seconda motivazione vede la pesantezza di questi in funzione del luogo di coltivazione. Quando si vada a coltivare in parete degli ortaggi di un certo volume o peso (ad esempio pomodori, zucchine, melanzane, ecc.) andrà attentamente valutata la possibilità che questi possano cadere e colpire oggetti o persone, provocando di conseguenza danni fisici o materiali. Ne consegue che se il luogo di coltivo sia posizionato a ridosso di spazi pubblici o semi-pubblici (ad esempio quando sovrastanti una pubblica via) sarà importante assicurarsi che tali vegetali non possano cadere al di sotto, o piuttosto optare per la coltivazione di specie erbacee e tappezzanti che, anche se cascassero

⁶⁷ Si specifica che nelle discipline agronomiche e botaniche vengono considerati frutti anche quei prodotti normalmente conosciuti come ortaggi (ad esempio: la parte commestibile della pianta di pomodoro corrisponde al frutto prodotto da quella precisa specie vegetale).

conseguentemente all'azione dei fenomeni meteorologici o per colpa di un cedimento del substrato, visto il peso ed il volume ridotto non creerebbero danni. La possibilità di caduta di ortaggi o propaggini vegetali dall'alto è un problema che non sarà assolutamente da sottovalutare e che, forse più di altri fattori, differenzia gli orti verticali dalle facciate inverdite.



Fig.VII.64 – Esempio di utilizzo finalizzato alla produzione orticola di tecnologie originariamente nate per l'inverdimento parietale (cfr. Fig.V.24 e Fig.V.25). In una pizzeria di Los Angeles (USA), l'installazione del sistema brevettato VGM – *Vertical Greening Module* ha permesso l'utilizzo di una parete cieca interna al locale come spazio per la coltivazione di ortaggi: le verdure ivi coltivate vengono utilizzate nella preparazione delle stesse portate destinate ai clienti del locale. L'apparato vegetale non è stato in questo caso totalmente finalizzato alla produzione di verdura: soluzione strategica che permette di non lasciare mai la parete totalmente sprovvista di vegetazione. Nell'immagine di destra è visibile l'ala gocciolante del sistema d'irrigazione (in colore marrone chiaro) prima che venisse collocata nella sua posizione definitiva. (Fonte: <http://www.lushe.com.au>)

Dalle argomentazioni relative all'apparato vegetale appena riportate appare evidente come, seppur sia possibile coltivare in verticale numerose specie da orto, non risulti comunque fattibile procedere alla coltivazione di *tutte* le specie che sarebbero invece ammissibili in appezzamenti orizzontali: la coltivazione in verticale risulta una possibilità interessante soprattutto per quei contesti dagli oggettivi limiti di spazio, ma quella convenzionale – cioè orizzontale – è in tutti i casi più efficiente e semplice da realizzare. Ciò accade sia per limiti spaziali (la verticalità d'impianto è comunque un limite), che per evidenti considerazioni tecnologiche (la totale mancanza di suolo agrario nelle coltivazioni *soiless* o il suo esiguo spessore per le chiusure che ospitano del substrato inerte o a matrice terrosa, si rivelano un impedimento per quelle specie che necessitano di cospicui spessori di substrato per compiere il proprio ciclo vitale), che conseguentemente alle specifiche caratteristiche di alcune specie (ad esempio quelle piante la cui porzione vegetale aerea cresca troppo in altezza o in volume, o quelle che presentino dei frutti inadatti alla crescita su superfici verticali).

In linea di principio è possibile fornire un elenco delle specie maggiormente utilizzabili con la coltivazione in verticale, anche se ovviamente le specie impiegabili varieranno profondamente in funzione sia della latitudine geografica – anche in questo caso risulteranno sempre consigliabili le specie autoctone o naturalizzate⁶⁸ – che delle caratteristiche microclimatiche e di substrato del contesto d'impianto. Tali specie potranno essere sia orticole (lattuga, basilico, spinaci, cicorie,

⁶⁸ Cfr. capitolo IV.

pomodori, zucchine, melanzane, peperoni, cetrioli, fagiolini, ravanelli, bietola da orto, piselli, legumi, carote, cipolle, rape, erba cipollina, salvia, rosmarino, prezzemolo, alloro, maggiorana, origano, timo, rucola, peperoncino, capperi, menta, lavanda, ecc) che frutticole di piccole dimensioni (fragole, lampone, more).



Fig.VII.65 – Valcent, *Verticrop*: prototipo di coltivazione orticola verticale, tramite l'impiego della tecnica della fertirrigazione. Il substrato di coltivazione è realizzato tramite delle tasche ricavate in un tessuto non tessuto (TNT) sintetico; la soluzione fertirrigante viene diffusa alle piante di lattuga tramite imbibizione del tessuto, mediante un impianto automatizzato di fertirrigazione presente nella parte superiore del TNT. (Fonte: <http://www.valcent.net>)

Fig.VII.66 – Suzanne Forsling, orto verticale autocostruito installato sulla parete di un cortile privato. Il sistema è in questo caso ottenuto tramite il riuso di alcuni tubi per grondaia. Si noti la sostanziale corrispondenza funzionale tra questo sistema e quello precedente, benché l'uno presenti un'elevatissima tecnologia intrinseca ed una modalità di coltivazione probabilmente fra le più evolute al mondo, mentre l'altro è in tutto e per tutto un sistema *low-tech*, ottenuto tramite il semplice impiego di qualche tubo da grondaia, dei tasselli e del normale terriccio. Interessante la similitudine di questa immagine con quella di Fig.VII.71. (Fonte: <http://www.lushe.com.au>)

Anche le modalità d'impianto si rivelano particolari per la condizione verticale dell'appezzamento. Esse possono essere eseguite sostanzialmente secondo tre tipologie differenti, a seconda che si proceda ad un impianto vero e proprio in parete, o che si utilizzi la tecnica del trapianto. Il prodotto di alcune colture risulta infatti più efficiente se l'intero ciclo di sviluppo della pianta avvenga posizionando il seme nel substrato e attendendo il completo sviluppo del vegetale fino alla sua fruttificazione (spinaci, valeriane, rape, ecc): tale processo viene denominato *semina*.

Differente possibilità è quella del cosiddetto processo del *trapianto* (che si rivela maggiormente efficiente con specie come cavoli, cicorie, basilico, ecc). Esso consiste nel coltivare in un luogo diverso da quello finale (detto semenzaio) delle piantine piccole, dalla semina fino a che non abbiano raggiunto l'altezza di qualche centimetro (talee): una volta che le talee siano pronte vengono trapiantata in piccoli vasi di pochi centimetri di diametro (rinvaso), dove possano continuare il loro primo stadio di sviluppo vegetale. Quando la pianta in vaso sia adeguatamente sviluppata verrà trapiantata ulteriormente, questa volta nella sua collocazione finale in parete. Tale procedimento serve

ad ottimizzare il processo produttivo intensificando i vari cicli di produzione annuali, così da massimizzare il rendimento di un appezzamento diminuendo i periodi di attesa relativi a crescita e sviluppo del vegetale. Appare evidente come il processo del trapianto, seppur maggiormente efficiente in quanto riduce i tempi morti legati alla produzione, oltre ad essere più difficoltoso⁶⁹ necessiti anche di uno spazio orizzontale per la creazione del semenzaio: questione che, soprattutto in contesti urbani dove si sia costretti ad optare per una coltivazione verticale a causa della carenza di spazio, potrebbe non sempre risultare attuabile.

	aglio	asparagi	bietola	carote	cavoli	cavolo rapa	cetriolo	cicoria	cipolla	fagioli	finocchi	fragola	insalata	lattuga	patata	piselli	pomodoro	porri	rape rosse	ravanelli	sedano	spinaci	zucchini
aglio				■	■		■			■		■				■	■	■					
asparagi	■						■		■				■	■			■						
bietola				■	■							■								■			
carote	■		■					■					■				■	■	■		■		
cavoli	■							■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
cavolo rapa		■								■				■	■	■		■	■	■	■	■	■
cetriolo					■				■	■	■						■	■	■	■	■	■	■
cicoria				■	■					■	■						■						
cipolla				■	■					■	■	■					■		■				
fagioli				■	■					■	■	■					■		■				
finocchio										■	■			■			■	■					
fragola	■			■						■	■			■			■	■	■	■	■	■	■
insalata		■			■						■						■	■	■	■	■	■	■
lattuga		■		■	■					■	■	■					■	■	■	■	■	■	■
patata	■				■												■	■	■	■	■	■	■
piselli	■				■					■	■	■					■	■	■	■	■	■	■
pomodoro	■				■					■	■	■					■	■	■	■	■	■	■
porri					■					■	■	■					■	■	■	■	■	■	■
rape rosse	■				■					■	■	■					■	■	■	■	■	■	■
ravanelli			■	■	■		■			■	■						■	■	■	■	■	■	■
sedano					■									■	■		■	■	■	■	■	■	■
spinaci					■					■	■	■					■	■	■	■	■	■	■
zucchini										■	■								■				

Fig.VII.67 – Consociazione agricole in materia di produzione orticola. Lo schema va letto orizzontalmente: in verde le consociazioni favorevoli, in rosso quelle da evitare. (Fonte: GIRAUDDO, EZIO, et al., *Il piacere dell'orto*, in bibl., p.43)

I concetti appena citati si legano a quello della lunghezza del ciclo di produzione. Alcune piante hanno un ciclo di sviluppo breve (insalate, zucchine, piselli, fagiolini, ecc.), quindi possono fruttificare più volte nel periodo primavera-estate conseguentemente a più cicli d'impianto. Ciò significa che razionalizzando l'appezzamento verticale di coltivo (cioè scalando temporalmente più cicli d'impianto) sarà possibile beneficiare di un continuo ricambio di verdura fresca all'interno del lotto di terreno. Allo stesso modo è possibile distinguere il periodo di fruttificazione delle specie in piante estive o autunnali, a seconda che la raccolta del prodotto avvenga nell'una o nell'altra stagione. Se le prime

⁶⁹ Il procedimento del trapianto richiede comunque una certa manualità ed esperienza.

andranno seminate in primavera, le altre si planteranno d'estate: è perciò comprensibile come anche in questo caso la conoscenza delle caratteristiche vegetali possa contribuire a massimizzare il rendimento di una facciata ad orto.

Allo stesso modo risulterà opportuno essere a conoscenza delle proprietà consociative delle varie specie. La *consociazione* consiste nella coltivazione contemporanea di più specie nello stesso appezzamento, opportunamente disposte e simili per esigenze agronomiche⁷⁰: tale pratica si basa sulla minima competizione interspecifica e sfrutta le reciprocità che varie specie contemporaneamente presenti hanno di collaborare e proteggersi a vicenda, sia a livello produttivo che come risposta agli stimoli e alle sollecitazioni esterne (Fig.VII.67). Rispettando l'ormai storicamente consolidata pratica della consociazione agricola sarà possibile ottenere migliori risultati dal proprio appezzamento orticolo, sia esso verticale che orizzontale.



Fig.VII.68 – Busby Perkins + Will, Eckford & Associates: *Whole Foods Store*, New York (USA), 2009. La facciata del negozio, per palesare anche all'esterno la destinazione alimentare dell'attività interna, presenta un inverdimento a fasce di vegetazione monospecie, due delle quali commestibili: mirtillo e liquirizia. Nella foto di destra un dettaglio delle fasi di cantiere, durante la messa in opera dei pannelli modulari prevegetati: in colore marrone si possono notare le ali gocciolanti dell'impianto d'irrigazione, mentre in grigio il sottosistema metallico a sostegno dei pannelli. (Fonte: http://www.cityfood.com/shop/shop_talk/a_living_wall)

Le necessità e cure che un orto verticale richiede dipendono direttamente dal tipo di specie impiegate, dal numero di raccolti annuali che si intende ottenere e dalla quantità di varietà vegetali utilizzate. Si tenga conto che le attività da dedicare mediamente ad un tale impianto sono molteplici, da suddividersi fra preparazione dei terreni (autunno/primavera), semina o trapianti (primavera/estate), gestione delle specie vegetali (potature, cure, eventuali azioni correttive, ecc.) e raccolto (estate/autunno, anche più volte nella stessa stagione in funzione della lunghezza sia della

⁷⁰ GIRAUDO, EZIO, AROSSA, ALBERTO, BOLZACCHINI, PAOLO, *Il piacere dell'orto*, in bibl., p.43

durata dei cicli vegetali che di una razionalizzazione di impianti e trapianti più o meno efficiente). A livello puramente gestionale le attenzioni maggiori saranno da dedicare all'annaffiatura (molto frequente soprattutto d'estate e in funzione sia di esposizione o microclima che delle specie vegetali utilizzate) e al raccolto. Qualora siano state utilizzate specie a ciclo breve, tali attività gestionali saranno da ripetersi più volte durante l'anno o in funzione delle differenziazioni colturali, in modo da ottenere una produzione sia durante l'estate che in autunno.



Fig.VII.69 – A sinistra. Germain Bourrè, *Etagères Potagères*, 2009: prototipo per la produzione orticola verticale. Anche la disciplina del disegno industriale offre numerosi spunti concreti per la coltivazione urbana verticale. Nell'immagine è rappresentato il contributo di un designer francese: egli ha immaginato dei moduli metallici composti da una serie di scaffalature sovrapposte, dove poter collocare il substrato di coltivo. I moduli possono essere giustapposti sia orizzontalmente che in verticale, e venire vincolati meccanicamente a chiusure edilizie verticali o autoportarsi in modalità *freestanding*. (Fonte: <http://www.germainbourre.com>)

Fig.VII.70 – A destra. Xavier Calluau, *Urb Garden*, 2010. Ulteriore esempio di prodotto di design destinato alla coltivazione urbana verticale. Una struttura modulare in polietilene ad alta densità (HDPE) contiene degli scomparti (simili a dei cassetti) per la collocazione di specie orticole erbacee o piccolo-arbustive. Nelle intenzioni del progettista tale sistema andrebbe collegato al contenitore dei rifiuti umidi, in modo da poter utilizzare il compost ivi prodotto come elemento fertilizzante; l'irrigazione avviene manualmente, tramite miscelazione fra l'acqua ed il compost. (Fonte: <http://www.lushe.com.au>)

VII.3.1.2. L'apparato tecnologico a supporto della vegetazione

Orti verticali e chiusure verticali vegetate non si differenziano soltanto in funzione degli impianti che rendono possibili, ma anche – e soprattutto – per una motivazione prettamente funzionale. Se chiusure vegetate e muri vegetali, in forza delle proprie caratteristiche vegetali possono fornire una considerevole contribuzione a livello figurativo e formale per quel che concerne l'immagine finale di un manufatto architettonico che le ospiti, non si può affermare altrettanto con gli orti verticali. Infatti, seppur anche le specie ortofrutticole possano presentare delle apprezzabili doti di forma, sarà sempre

da tenere in debita considerazione che le piante orticole sono per lo più specie a ciclo annuale (e che quindi terminano il proprio ciclo vitale e produttivo in autunno/inverno per essere poi riseminate in primavera o estate), quindi per molti mesi all'anno non sarà presente alcun elemento vegetale come integrazione alla parete. Ne consegue che la parete stessa rimarrà per alcuni mesi all'anno sprovvista di apparati vegetali, lasciando a vista i vari sottosistemi tecnologici di impianto o di sostegno; sottosistemi che molto spesso non sono facilmente esibibili come apparato di finitura superficiale, in quanto pervasi dai vari impianti e tecnologie che servono per dare alloggio e tenere in vita le piante⁷¹.

In base a tali assunti è perciò possibile affermare che se rivestimenti a verde, muri vegetali e chiusure vegetate possono essere pienamente valutati come dei sistemi di facciata, gli orti verticali saranno invece da considerarsi solo e soltanto come degli elementi *esclusivamente* funzionali; quindi che meglio si adattano a delimitate porzioni di chiusure verticali piuttosto che alla loro completa estensione, o addirittura a superfici edilizie che non abbiano la pretesa di palesarsi come *facciate* architettoniche ma piuttosto come dei *semplici elementi edilizi di chiusura*⁷².

Nella concretizzazione di una chiusura vegetata è infatti importante la sua valenza figurativa garantita dalla presenza delle piante, mentre qualora tale caratterizzazione formale dovesse venire meno anche solo temporaneamente o periodicamente la facciata inverdita perderebbe gran parte delle condizioni – non solo estetiche ma anche funzionali e prestazionali – che la rendono un elemento tanto qualificante; lo stesso concetto è rapportabile agli orti verticali: qualora venisse meno la loro componente vegetale essi passerebbero da elemento di caratterizzazione (anche) formale ad apparato esclusivamente funzionale. Una strategia adottabile per eludere tale problematica è quella di ibridare la componente a vista della facciata, in modo che questa possa sia produrre delle specie vegetali commestibili che mantenere una copertura vegetale – e quindi estetica – accettabile durante tutto l'anno. Ciò si ottiene sdoppiando la finitura a verde della chiusura, realizzandola mediante un mix di specie vegetali non solo orticole ma anche perenni (floreali, sempreverdi, tappezzanti, piccolo arbustive, ecc.), semplicemente per garantire una certa copertura vegetale anche in autunno e inverno. Tale strategia sicuramente diminuisce la produttività dell'appezzamento, ma consente di fornire all'orto verticale anche una certa valenza formale, soprattutto quando esso presenzi in contesti caratterizzati da una certa visibilità.

⁷¹ Per una migliore comprensione di quanto appena descritto si rimanda alla visione delle immagini contenute nel paragrafo V.5.1 del quinto capitolo.

⁷² Seppur dal punto di vista prettamente materiale il significato dei termini "facciata" e "chiusura edilizia" possano coincidere, le loro funzioni sono differenti. Una "parete" edilizia (o, come definito dalla normativa UNI, la *Chiusura Edilizia*) ha il solo scopo di suddividere due sistemi ambientali o spaziali differenti, mentre il termine "facciata" (dal latino *facies*) ricorrente fin dall'antichità e quanto mai contemporaneo, include all'interno della propria definizione una serie di esigenze di riconoscibilità, comunicabilità, rappresentanza, legate alla possibilità, riscontrabile da lungo tempo all'interno della storia dell'architettura, di comunicare messaggi. La facciata di un edificio rappresenta quindi il suo fronte a vista privilegiato; il modo in cui esso esprime all'esterno la propria funzione o la condizione sociale di chi lo occupa (come ad esempio le esigenze di riconoscibilità legate ad un edificio pubblico o religioso, oppure ai palazzi signorili.). Per questo, il significato del termine *facciata* si distacca totalmente, o quasi, da quello che è l'obiettivo funzionale sia di una parete esterna che di una chiusura edilizia (comprensiva degli svariati strati intermedi che la compongono), e potrebbe semplicemente limitarsi ad indicare l'elemento più esterno di una frontiera architettonica. Quello che, appunto, dialoga ed interagisce con il mondo esterno, che prospetta su di esso, e contemporaneamente contribuisce alla formazione dello spazio pubblico.



Fig.VII.71 – A sinistra. Esempio di orto verticale autocostruito. Il sistema generale per coltivare in verticale è tutto sommato semplice: quindi, anche volendo autoprodursi artigianalmente un apparato per la coltivazione, sfruttando dei ritagli di spazio di cui si disponga, non si rivela un problema. Nell'immagine riportata, mediante l'impiego di alcune lamiere adeguatamente sagomate in opera con pochi tasselli, è stato ricavato uno spazio di coltivazione sulla parete verticale di un cortile urbano privato. Sulla destra della foto è visibile il tubo verticale per l'irrigazione: l'acqua viene irrorata dall'alto e discende sfruttando le pendenze delle lamiere, così da poter raggiungere in successione tutte le piante presenti. (Fonte: <http://www.flickr.com/photos/blaineo/2984552937>)

Fig.VII.72 – A destra. Altro esempio di come l'ingegno possa sopperire alla tecnologia e alla mancanza di spazio. In questo caso, delle semplici vasche metalliche sono state fissate alla parete verticale di una corte urbana, ricavandone delle fioriere per un orto verticale grezzo ma efficace. L'estrema essenzialità dell'impianto non poteva prevedere un sistema d'irrigazione automatizzato, quindi il proprietario dell'orto dovrà provvedere manualmente all'annaffiatura. (Fonte: <http://terrypcarter.com>)

La pratica della coltivazione orticola verticale presenta delle interessanti potenzialità, in quanto permette di sfruttare per l'autoproduzione anche delle superfici parietali (o dei ritagli di superficie) che altrimenti risulterebbero magari inutilizzabili, soprattutto nel caso in cui l'edificio non disponga di uno spazio aperto orizzontale dove provvedere a tale funzione. Diverrà quindi possibile coltivare sui tetti, sui cortili interni degli edifici, sugli spazi verticali di logge o terrazze (Fig.VII.75) con la sola necessità che si disponga di una superficie verticale da dedicare a tale funzione⁷³.

Dal punto di vista prettamente tecnologico e strutturale – quindi tralasciando quelle che sono le varie pratiche agronomiche e di coltivazione non oggetto specifico della presente ricerca⁷⁴ – esiste una duplice possibilità qualora vi sia la volontà di mettere in pratica tale tipologia di coltivazione. La prima opzione consiste nell'autoprodursi un supporto strutturale finalizzato alle coltivazioni che si

⁷³ In tali contesti edilizi, con l'obiettivo della massimizzazione della superficie da dedicare alla coltivazione urbana, si potrà anche agire non solo con la pratica dell'orto verticale (utilizzando cioè la tecnica del rivestimento vegetale e/o quella della chiusura vegetata) ma anche procedendo mediante cooperazione con altre modalità tipiche della coltivazione urbana; ossia mediante gli "orti in vaso", o utilizzando la tecnica della copertura a verde ma finalizzandola alla produzione ortofrutticola. Si tenga conto, peraltro, che qualora si decida di coltivare su superfici verticali pubbliche o semi-pubbliche (e si disponga di tutte le necessarie licenze legali che permettano di farlo), sarà da tenere in debita considerazione l'eventualità che l'orto possa venire interessato da atti di vandalismo come danneggiamento di alcune sue parti vegetali o strutturali, estirpazione o furto di ortaggi, ecc.

⁷⁴ Si rimanda quindi ad altre fonti maggiormente specializzate per un approfondimento.

desidera ottenere (Fig.VII.71 e Fig.VII.72); oppure si potrà affidarsi alla produzione offerta dall'industria, ma adattando le tecnologie d'inverdimento parietale oggi esistenti⁷⁵ a quelle che sono le necessità della produzione orticola (Fig.VII.61, Fig.VII.62 e Fig.VII.64). Comunque, in entrambi i casi si tratterà di realizzare un supporto tecnologico che possa rispondere alle esigenze fisiologiche e pedologiche delle specie vegetali prescelte, in modo da poter garantire un ottimale sviluppo biologico alla pianta.

Per quel che concerne la gestione del sistema strutturale e di supporto, essa si rivela un'attività relativamente semplice, soprattutto se rapportata alla dimensione contenuta che tali tipologie d'impianto tendenzialmente presentano; nonché alla questione che tali sistemi vengono solitamente collocati a posteriori su una chiusura edilizia pre-esistente. Le necessità di monitoraggio ed eventuale manutenzione del sistema si risolveranno perciò nel controllo di tutte le parti che lo compongono, nell'accertamento del corretto funzionamento degli automatismi ad esso eventualmente integrati (ad esempio l'impianto d'irrigazione), e nella verifica della loro interazione non negativa con gli elementi architettonici dell'edificio che ospiti l'installazione dell'orto.



Fig.VII.73 – A sinistra. Cantieri Verdi, *Totem Vegetale*. Orto verticale autocostruito: spaccato assonometrico. La struttura del totem è realizzata tramite il riuso di cassette di plastica impilate, e il substrato d'irrigazione è composto da feltro sintetico. In apposite tasche ricavate sulla superficie del feltro vengono alloggiati le specie orticole (erbacee o piccolo-arbustive) con tanto di zolla di terra. Il sostentamento alle piante è fornito mediante un sistema di fertirrigazione che potrà essere automatizzato o manuale in funzione delle preferenze. Qualora si decida di dotare il totem di ruote nella parte inferiore, esso diventerà mobile. (Fonte: Paola Trapani)

Fig.VII.74 – A destra. Cantieri Verdi, *Totem Vegetale*: vista laterale del prototipo. Dall'immagine si notano sia le tasche per l'alloggio delle specie da orto che le piante stesse. Alla base del totem ed alla sua sommità, l'accidentale caduta del muschio lascia intravedere il feltro che funge da substrato: tale muschio ha valore solamente ornamentale, per mascherare la superficie del feltro, quindi la sua caduta non preclude la funzionalità dell'installazione.

⁷⁵ Questo perché non tutte le tecnologie d'inverdimento parietale esistenti si rivelano impiegabili o efficienti allo scopo della coltivazione orticola.

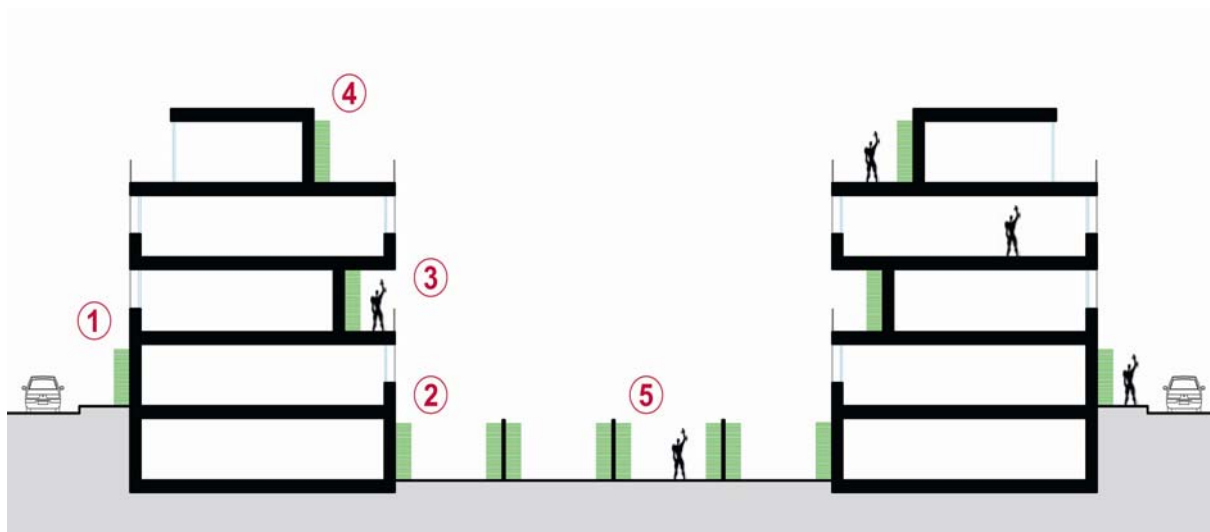


Fig.VII.75 – Schema dei possibili contesti d'impiego per gli orti verticali in ambito urbano. Legenda: 1. Applicazione su facciate edilizie in spazi pubblici o semi-pubblici, ai livelli facilmente accessibili; 2. In corti urbane o cortili privati; 3. Sulle superfici parietali di logge o terrazze; 4. In coperture o balconi; 5. Modalità *freestanding*.



Fig.VII.76 – A sinistra. De Stuurliu stedenbouw & Atelier GRAS!, *Eathouse*, 2010. In questa installazione l'involucro è *completamente vegetato* e tutte le superfici edilizie esterne diventano spazi per la produzione ortofrutticola. Seppur provocatoria, l'opera è sicuramente interessante in quanto, oltre a mostrare come poter massimizzare la superficie edilizia potenzialmente coltivabile, anticipa alcuni argomenti relativi al *Vertical Farming* trattati nelle prossime pagine. (Fonte: <http://www.archdaily.com>)

Fig.VII.77 – A destra. De Stuurliu stedenbouw & Atelier GRAS!, *Eathouse*, 2010. Il sistema d'inverdimento modulare è assai semplice, e realizzato in maniera del tutto artigianale. Ogni modulo è formato da una cassetta di plastica che offre alloggio ad un sacchetto polimerico contenente substrato granulare; in ogni sacchetto vengono poi eseguiti dei fori per l'alloggio delle specie vegetali. Sulle pareti verticali dell'installazione, per assicurare i vari sacchetti di substrato contro il ribaltamento, viene interposta una rete metallica elettrosaldata. (Fonte: <http://www.archdaily.com>)

VII.3.2. Vertical Farming: l'innovazione scientifica e tecnologica si somma all'intersezione fra edificio e natura

Se in quest'ultima sezione del capitolo sono state finora descritte le modalità di coltivazione su superfici verticali già oggi possibili ed attuabili grazie allo sviluppo della scienza e della tecnica, risulta opportuno anche evidenziare un'ulteriore via di sperimentazione progettuale che sta adesso nascendo ed affinandosi. È infatti oggi rilevabile uno stato di fermento teorico e culturale che interessa contemporaneamente sia la progettazione architettonica su larga scala che le tecnologie d'inverdimento parietale oggetto della presente ricerca. Nello specifico si passerà ora allo studio di quel movimento che si prefigge di indagare innovative modalità di progettazione architettonica e ambientale, mediante la realizzazione di tipologie edilizie del tutto inedite per le pratiche architettoniche correnti, denominate *Vertical Farms*.

Tale pratica progettuale, come definito dallo stesso appellativo che si è scelto per indicarla⁷⁶, si prefigge l'obiettivo di variare le prassi dell'agricoltura tradizionale, mutando i caratteristici luoghi *orizzontali* e non urbani della produzione agricola storicizzata e convenzionale fino a collocarla dentro a dei manufatti *verticali* multipiano, inseriti all'interno del tessuto urbano di metropoli e megacittà. Ciò con l'obiettivo di poter tempestivamente far fronte alle criticità legate all'aumento della popolazione mondiale in atto, e per tentare di risolvere in anticipo la già citata problematica della futura mancanza di spazi agricoli che possano garantire il sostentamento ai nove miliardi di persone che popoleranno il pianeta da qui a qualche decennio.



Fig. VII.78 – Atelier SOA, *La Tour Vivante*, Parigi (Francia), 2006. L'edificio di trenta piani d'altezza, concepito per la capitale francese, contiene al proprio interno abitazioni, uffici, attività commerciali e numerosi livelli adibiti esclusivamente alla produzione agricola. In copertura sono presenti delle pale eoliche per lo sfruttamento del vento finalizzato all'autoproduzione energetica. Si noti, nella sezione di destra, il rapporto del nuovo edificio con le pre-esistenze architettoniche che lo circondano; sempre nello stesso disegno sono ben distinguibili (in colore verde chiaro) i livelli destinati all'agricoltura. (Fonte: <http://www.verticalfarm.com/designs>)

⁷⁶ Il movimento del *Vertical Farming* è stato teorizzato da Dickson Despommier, un ricercatore del Dipartimento di *Environmental Health Sciences* della Columbia University negli USA. Da allora le teorie di Despommier hanno riscosso successo e seguito, e numerosi progettisti nel mondo hanno iniziato a misurarsi con la progettazione di edifici adibiti a tali funzioni. Cfr. <http://www.verticalfarm.com>

Si specifica fin da subito che i seguenti paragrafi vogliono rappresentare esclusivamente un discorso introduttivo in merito ad un argomento di recentissima teorizzazione, e che interessa gli specifici argomenti di ricerca in modo solo tangenziale; quindi, una sintetica conclusione di capitolo finalizzata all'introduzione di alcuni stimoli culturali verso un argomento che esula dagli obiettivi di ricerca precedentemente individuati⁷⁷. Il seguente apparato testuale andrà perciò inteso come uno spunto all'approfondimento, legato alla comprensione di come non solo tutte le varie discipline dell'architettura si trovino oggi in costante evoluzione verso una modalità progettuale fortemente connessa alla riscoperta e all'integrazione della natura nel progetto, ma anche come le pratiche stesse dell'agricoltura e della produzione agroalimentare si stiano misurando – seppur forse ancora utopicamente – con la necessaria mutazione dei propri paradigmi operativi. Il testo che segue non avrà quindi alcuna pretesa di completezza o esaustività in merito al movimento del *Vertical Farming*, ma andrà semmai interpretato come una delle possibili vie future nello sviluppo della presente ricerca.

VII.3.2.1. Formulazione teorica e contestuali principi progettuali

Le *Vertical Farms*⁷⁸ – letteralmente “fattorie verticali” – consistono in particolari organismi edilizi integrati che ospitano al proprio interno tutti gli apparati funzionali e gli impianti tecnologici necessari alla produzione agricola e all'allevamento di bestiame. Movimento che nasce con l'obiettivo di concentrare puntualmente la produzione agro-alimentare elevandola in altezza, così da poter diminuire il consumo di territorio naturale destinato al settore produttivo *primario*, e poter beneficiare di tutti i vantaggi conseguenti ad una corrispondenza fra luoghi di produzione e consumo.

L'idea principale alla base del loro concepimento è quella di procedere in elevazione, sovrapponendo in altezza un certo numero di appezzamenti agricoli in modo da minimizzare l'impatto della produzione agricola sull'ecosistema, concentrando la produttività del settore primario in elementi architettonici puntiformi ed alti, anziché occupare la grandissima estensione di terreno che sarebbe necessaria per far fronte all'aumento della popolazione planetaria. Minimizzare la superficie naturale destinata all'agricoltura significa però non soltanto variare quelli che sono le prassi operative tradizionali, ma rende obbligatoria anche la ricerca di una maggiore efficienza del sistema produttivo stesso, utilizzando estesamente e sfruttando in modo pertinente le modalità e le tecniche di coltivazione oggi maggiormente evolute ed efficienti (ad esempio coltivazione idroponica e fertirrigazione) che permettono una migliore qualità ed una più alta produttività degli appezzamenti agrari a parità di superficie coltivata⁷⁹.

Il passaggio dell'arte della coltivazione dal terreno naturale ed orizzontale ad uno artificiale e multipiano rende necessaria la creazione di un habitat naturale in un contesto edilizio artificiale, così che piante e animali destinati all'agricoltura o all'allevamento possano continuare a vivere e produrre normalmente, senza trovarsi ad essere vittime di particolari fenomenologie da stress biologico o vegetativo⁸⁰. Non sarà quindi solo la progressione tecnologica legata al settore agricolo ad essere

⁷⁷ Gli obiettivi di ricerca sono stati descritti nel primo capitolo.

⁷⁸ Si evidenzia che talvolta la dicitura *Vertical Farm* viene sostituita con quella di *Urban Farm*, al fine di evidenziarne fin dalla definizione l'accezione prettamente urbana che gli viene data.

⁷⁹ Si calcola che 1 ettaro di coltivazione controllata indoor abbia una produzione equivalente ai 4-5 ettari di coltivazione tradizionale in campo all'aperto. (Fonte: ENEA – *Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo sostenibile*)

⁸⁰ In molti casi il principio del *Vertical Farming* potrebbe ricordare quello della produzione agricola in serra, ma i

interessata da tali particolari sperimentazioni, ma giocheranno un ruolo fondamentale anche tutte quelle tecnologie tipicamente legate al settore dell'architettura, che permettono di controllare o condizionare spazi ed ambienti mediante parametri predefiniti.

Una *Vertical Farm* si presenta perciò come una sorta di ecosistema nell'ecosistema, dove tutte le tecnologie del settore edilizio debbano entrare in gioco sinergicamente al fine di garantire la massima sostenibilità possibile al manufatto⁸¹. L'idea alla base della loro teorizzazione è quella di concepire l'edificio come un sistema chiuso (o "semi chiuso") in cui tutti i prodotti derivanti dalla presenza vegetale o animale – quindi anche quelli solitamente considerati come scarti o rifiuti – possano essere valorizzati e reimmessi nel ciclo produttivo, al fine di migliorare l'efficienza dell'intero processo per quel che concerne sia il risultato agro-alimentare finale che nel caso della gestione edilizia. Quindi, in altre parole, una fattoria verticale potrà essere pienamente assimilata a un organismo edilizio «di tipo "auto-poietico", in grado allo stesso tempo di ospitare un mix funzionale comprensivo delle attività agro-alimentari e per questo capace, all'interno di un centro urbano, di assorbire anidride carbonica, di riciclare le acque piovane e quelle reflue, e di produrre – oltre a vegetazione commestibile e non – anche ossigeno, acqua dolce [...], biomasse, ed energia rinnovabile da dispositivi di captazione attiva e passiva integrati negli involucri architettonici»⁸².



Fig.VII.79 – Chris Tindal, *GROW Housing*, Toronto (Canada), 2009. Anche questa *Vertical Farm* se vista dall'esterno – come del resto anche quella della figura precedente (cfr. Fig.VII.78) – assume un'immagine architettonica tutto sommato convenzionale e rispecchiante i canoni urbani tipizzati. Gli unici elementi che dall'esterno potrebbero denotarne una funzione non convenzionale sono gli inserti di verde verticale e orizzontale presenti in facciate e coperture, assieme alla grande serra vetrata dalla copertura a spiovente. (Fonte: <http://www.verticalfarm.com/designs>)

Fra i principi che stanno alla base della progettazione di una *Urban Farm* vi è uno slogan – non solo concettuale, ma anche procedurale – che ben descrive quali modelli operativi possano garantire un'adeguata sostenibilità sistemica ed edilizia globali. Tale slogan consiste in una cinquina di elementi legati alla produzione agricola o architettonica da azzerare o diminuire drasticamente, e sono: zero

due sistemi sono estremamente diversi. La differenza è data dalla presenza di coltivazioni in edifici multipiano, dall'integrazione dell'agricoltura con altre funzioni edilizie anche estremamente diverse da quella prettamente agro-alimentare, e dall'inserimento in contesto urbano di tali particolari funzioni.

⁸¹ Si evidenzia il fatto che benché si stia ora parlando di una delle prassi *di confine* che interessano il settore della progettazione architettonica, il concetto della creazione di un "ecosistema nell'ecosistema" è lo stesso che ha animato il concepimento degli edifici rappresentati o descritti nei paragrafi iniziali del capitolo: cfr. III.1.1

⁸² BATTISTI, ALESSANDRA, TUCCI, FABRIZIO, "Green up!", in bibl., p.240

emission, zero waste, zero distance, zero power, zero pesticides; viene quindi espresso nitidamente sia il basso impatto ambientale che ognuna di tali edificazioni dovrebbe rappresentare, che la volontà di minimizzare i flussi energetici o materiali in uscita da ognuna di esse alla fine del ciclo di produzione.

L'accorciamento dell'intera filiera produttiva agro-alimentare, mediante l'integrazione in un unico luogo delle varie attività che vanno dalla produzione indoor fino alla commercializzazione dei prodotti, renderà possibile un abbattimento delle emissioni climalteranti legate sia alla produzione vera e propria, che al trasporto per la commercializzazione del prodotto finito. Inoltre, la localizzazione centralizzata e le economie di scala conseguentemente rese possibili permetterebbero una diminuzione delle perdite economiche legate ad un settore produttivo territorialmente frammentato e costellato da una maggioranza di piccole e medie imprese⁸³ (PMI); piccole e medie imprese che, per definizione, sono quelle meno sensibili all'accoglienza dei più innovativi derivati in campo scientifico-tecnologico, quindi solitamente tendenti a rimanere indietro rispetto ai progressi della tecnica. La disseminazione territoriale – e conoscitiva – delle PMI sul territorio si tramuta in una perdita di efficienza del sistema produttivo a livello locale, regionale e nazionale; mentre nel caso delle *Vertical Farms*, sfruttando sinergie comunitarie di magazzino e/o di trasporto rese possibili da un'unica localizzazione produttiva, tali aziende potrebbero vedere diminuiti i costi fissi legati all'impresa, beneficiandone⁸⁴.



Fig.VII.80 – Blake Kurasek, *The Living Skyscraper*, 2009. Questa *Vertical Farm* è completamente destinata alla produzione e commercializzazione dei prodotti ivi coltivati, e non contiene residenze. Ogni differente zona del grattacielo è interessata da una particolare tipologia agricola. Nella sezione di destra è possibile comprendere l'elevata complessità costruttiva, tecnologica e impiantistica richiesta da una struttura del genere. (Fonte: <http://www.verticalfarm.com/designs>)

Dal punto di vista prettamente urbanistico e pianificatorio è inoltre possibile affermare che tale modalità, consistente nell'introduzione di attività legate al settore primario all'interno di centri urbani,

⁸³ Fenomeno ancora più accentuato in una nazione come l'Italia, dove le PMI occupano una porzione considerevole dell'intero mercato produttivo.

⁸⁴ MIZZONI, GIULIO, "Skyland Vertical Farm: modello di agroecosistema energetico", in bibl., p.4

permetterebbe una certa promiscuità funzionale in molti casi oggi assente, consentendo di diminuire la tipica monofunzionalità solitamente caratterizzante molti centri città. Per di più, anche l'ibridazione funzionale all'interno delle stesse *Urban Farms* verrebbe resa pienamente possibile, consentendo di ospitare nel medesimo manufatto non solo le varie attività produttive, commerciali e direzionali legate al settore primario, ma anche di inserirvi funzioni supplementari, come abitazioni, uffici e spazi commerciali.

La mancanza fisica di terreno e l'attuale forte decentralizzazione fra produzione agricola (che avviene in campagna) e l'utilizzo dei suoi derivati che ha luogo dove vi sono le maggiori concentrazioni di popolazione (quindi in città) sono due argomenti che hanno contribuito all'avvio alle sperimentazioni utopiche descritte⁸⁵. Decentralizzazione che si traduce non soltanto in perdite economiche e di tempo relative agli spostamenti di materie o persone nei tragitti lavorativi o di trasporto commerciale (avente peraltro come prodotto diretto l'immissione di sostanze climalteranti in atmosfera), ma si rivela un limite anche nella qualità del prodotto agro-alimentare finale. Questo perché la riduzione del tempo trascorso tra la raccolta e il consumo di un prodotto è un fattore qualitativamente limitante: più tempo scorre dalla sede produttiva e quella di consumo, maggiore sarà la perdita vitaminica e nutrizionale dallo stesso prodotto dimostrata⁸⁶.

Anche tutte le già introdotte⁸⁷ istanze culturali animate da una progressiva perdita della relazione diretta uomo/natura, con la quale sembrerebbe si stia comunque ultimamente tentando di ricucire il rapporto, gioca un ruolo rilevante nella concezione di questi edifici che instaurano una complessa ibridazione sinergica fra ambiente naturale e spazio costruito. Tale tentativo di riavvicinamento fra essere umano e ambiente naturale si inserisce con forza, peraltro, nella contemporanea ed accentuata volontà di ridefinizione – a tutte le possibili scale d'intervento – dei ruoli rappresentati dalla grande conurbazione contemporanea, e dei suoi possibili significati evolutivi nel tempo: un'ibridazione più accentuata tra funzioni produttive, residenziali e commerciali, comprese quelle agricole, potrebbe giocare un ruolo non secondario nella ricerca di nuove modalità di pianificazione urbanistica, consentendo di sperimentare inedite forme progettuali che possano consentire nel medio periodo una forte reintroduzione dell'elemento vegetale nel tessuto urbano; contribuendo quindi alla rinaturalizzazione cittadina che è, probabilmente, una delle potenzialità maggiormente interessanti legati alle tematiche della presente ricerca. L'inserimento di tali torri produttive nel tessuto della conurbazione contribuirebbe inoltre a favorire l'aumento delle opportunità lavorative per i suoi abitanti, o comunque ad avvicinare gli operatori del settore primario al proprio posto di lavoro, con evidenti ripercussioni economiche e ambientali conseguenti alla diminuzione o all'annullamento dei contestuali spostamenti.

⁸⁵ Benché dalla teorizzazione delle *Vertical Farms* siano state finora prodotte numerose sperimentazioni progettuali, ancora oggi non ne esiste nessuna di realizzata. All'attuale stato dell'arte, il *Vertical Farming* si presenta perciò come un movimento totalmente utopico e senza riscontri reali che permettano di fornire delle valutazioni sulla bontà delle teorie che ne stanno alla base. Anche l'ENEA (*Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo sostenibile*) sta investendo nella ricerca legata al *Vertical Farming*, e sta in questi tempi provvedendo alla progettazione di *Skyland*, una fattoria verticale da realizzare a Milano in occasione dell'Expo 2015.

⁸⁶ È infatti risaputo che in molti casi, frutta e verdura congelata o surgelata presenti un tasso vitaminico e nutritivo maggiore di quella cosiddetta fresca: ciò a causa del fatto che alcuni prodotti ortofrutticoli possono impiegare anche dieci giorni prima di arrivare sui banchi di mercati e supermercati (e, verosimilmente, qualche altra giornata per essere consumate), con una conseguente perdita di vitamine e nutrienti dovuta all'invecchiamento dei tessuti vegetali.

⁸⁷ Cfr. capitolo I.

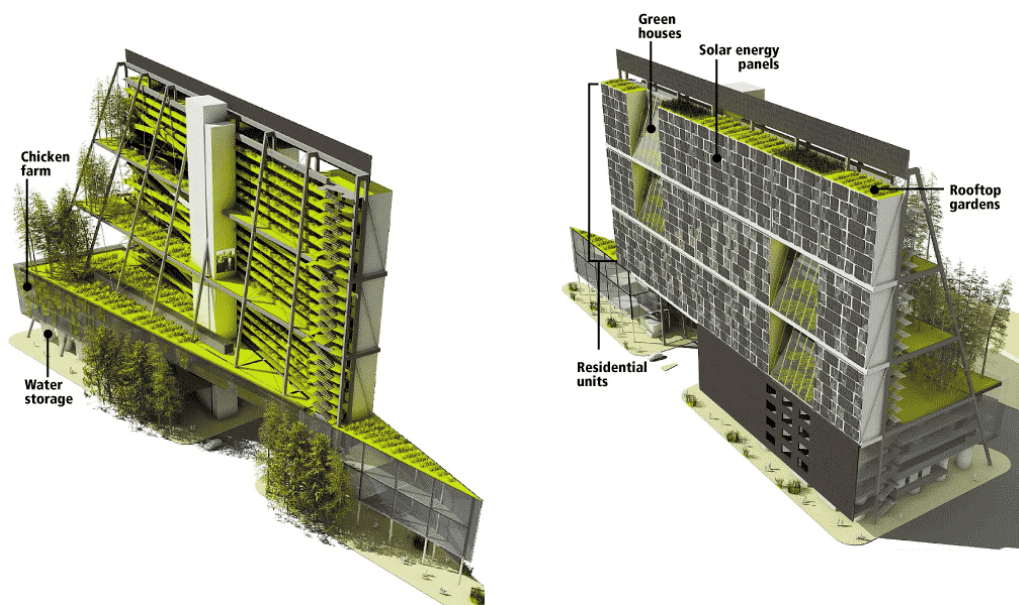


Fig.VII.81 – MITHUN, *Center for Urban Agriculture*, Seattle (USA), 2008: simulazione tridimensionale. Rapportato ad altre sperimentazioni di fattorie verticali questo edificio non ha un grande sviluppo in altezza ma assume una forma più allungata e che occupa completamente l'isolato urbano per il quale è stato pensato. Ciò nonostante le tipicità sono quelle che accomunano la maggior parte delle *Vertical Farms*, ossia la multifunzionalità (il progetto prevede 318 unità residenziali), grandi superfici da destinare alla produzione agricola ed un elevato utilizzo di tecnologie sia per l'efficienza energetica che per l'auto-produzione. Si noti l'impiego massiccio di tecnologie per l'inverdimento parietale e delle coperture. (Fonte: <http://www.organic-china.org/?p=98>)

VII.3.2.2. Considerazioni architettoniche e tecniche riguardanti la progettazione di una *Fattoria Verticale*

Se si rende oggi possibile immaginare tali particolari tipologie edilizie mai esistite prima d'ora è anche grazie allo sviluppo della scienza e della tecnica. Una *Urban Farm* contiene infatti dentro di sé un'alta concentrazione di tecnologia intrinseca, sia a livello del manufatto edilizio che per quel che ne concerne i sistemi tecnici che permettono di produrre, coltivare ed allevare in un contesto edilizio del tutto inedito. Infatti, in base alle prime sperimentazioni progettuali attualmente esistenti in materia, se l'organismo edilizio integra al proprio interno e negli involucri una serie di tecnologie che gli permettono di acquisire o produrre energia, minimizzando le dispersioni energetiche ed interagendo con le sollecitazioni ambientali in modo da sfruttare al massimo per la propria efficienza energetica ed il benessere degli occupanti⁸⁸, anche le tecniche agronomiche e i sistemi di trattamento o condizionamento atmosferico *indoor* giocano un ruolo non secondario. La possibilità di produrre e coltivare in ambienti chiusi (quindi per l'intera durata annuale e in modo totalmente indifferente rispetto alle stagionalità esterne), su appezzamenti altamente controllati – e controllabili – ed efficienti sia sotto l'aspetto climatico che della minore esposizione a problematiche o malattie⁸⁹, permette di ottenere dei

⁸⁸ I progetti di *Vertical Farms* spesso integrano in facciata sistemi energetici sia attivi (ad esempio fotovoltaico, solare termico, eolico, geotermia, ecc.) che passivi (chiusure a doppia pelle, superfici trasparenti per l'acquisizione energetica, ecc.), in modo da accentuare al massimo l'efficienza energetica del manufatto.

⁸⁹ In ambiente aperto le dispersioni aeree di prodotti agricoli (pollini, semi, ecc.) o di elementi usati per la loro

raccolti migliori sotto l'aspetto quantitativo e qualitativo; l'intero processo si rivela quindi globalmente più efficiente⁹⁰.

Il costo iniziale di una *Vertical Farm* è indiscutibilmente molto maggiore di quello imputabile alle fattorie *orizzontali*, in quanto richiede un'altissima complessità tecnologica e sistemica sia dal punto di vista costruttivo che da quello prettamente tecnico-impiantistico. La realizzazione di un edificio alto, la presenza di impianti tecnologici o produttivi di ultima generazione e caratterizzati da un'affinazione tecnologica spinta, l'ormai imprescindibile necessità di trattamento e valorizzazione degli scarti derivanti dalla produzione (rifiuti organici o animali, biomasse, ecc.) che in un contesto urbano si rivela molto più restrittiva che in campagna (in quanto potrebbe causare cattivi odori, rivelarsi invasiva dal punto di vista visuale, ecc.), la creazione di elementi strutturali che possano permettere la presenza di macchine agricole e la loro movimentazione (strutture in elevazione ed orizzontamenti in grado di supportare carichi di tipo industriale), sono tutti elementi che innalzano molto il costo iniziale di una tale opera, qualora paragonata ad un impianto produttivo di tipo convenzionale.

Inoltre, la necessità di impianti per il trattamento dei fluidi (liquidi e gassosi) in entrata/uscita dal manufatto, lo sfruttamento di tutto lo spazio interno disponibile ed il conseguente obbligatorio annullamento degli spostamenti meccanici tradizionali (come trattori ed altri macchinari) che richiede la loro sostituzione con nastri trasportatori, carrelli elevatori e simili, la presenza di numerosissime canalizzazioni impiantistiche e tecnologiche interne, corrispondono ad una forte complessità e specializzazione degli apparati strutturali orizzontali e verticali. Per di più, la promiscuità di destinazione d'uso conseguente alla coabitazione tra funzioni convenzionali (ad esempio residenziale) ed alcune altre molto specialistiche (come allevamento di bestiame) potrebbe creare alcune problematiche di coesistenza (rumori, odori, ecc.) che necessariamente richiederanno uno sforzo progettuale e di realizzazione più elevato, con relativi costi iniziali maggiori.

Per contro, è evidente come la possibilità di ammortamento nel tempo delle alte spese iniziali sia comunque molto più elevata che in una fattoria tradizionale, visto che tutte le tecnologie integrate nella *Vertical Farm* (sistemi attivi e passivi di produzione energetica, possibilità di recupero energetico garantita dalla presenza impiantistica o conseguentemente all'effetto della produzione in ambiente confinato, sfruttamento degli scarti di produzione finalizzato ad una loro possibile valorizzazione, ecc.)

produzione (fertilizzanti, fitosanitari, concimi, ecc.) possono rivelarsi nocivi per l'essere umano e/o per l'ecosistema: questo accade perché il vento o l'acqua possono trasportare tali sostanze nocive e farle entrare in contatto con l'uomo. Tale fatto, invece, in ambienti di produzione chiusi e controllati non accade, o si rivela un fenomeno molto meno frequente. (Fonte: MIZZONI, GIULIO, "Skyland Vertical Farm: modello di agroecosistema energetico", in bibl., p.7)

⁹⁰ Sono oggi rilevabili numerose sperimentazioni mirate all'introduzione della produzione agricola all'interno dell'ambito urbano di metropoli o grandi città, spesso utilizzando le tecnologie di coltivazione più all'avanguardia come coltivazione fuori suolo o fertirrigazione (Cfr. capitolo V). «*Pasona 02* è il nome di un progetto pilota realizzato nell'ex *caveau* di una banca, all'interno del *Nomura Building* [...] a Tokyo. In questa struttura sotterranea, in uno spazio di 1 Km² si sperimentano sistemi di coltura in assenza di luce naturale e terra. La luce per la fotosintesi è garantita da un utilizzo congiunto di LED e lampade alogene, mentre al posto della terra si usa l'acqua secondo i principi della coltura idroponica. Nelle sei sale, dove si sperimentano colture diverse, i pesticidi sono banditi e la CO₂ viene continuamente espulsa dal sistema di aerazione. Luce e temperatura sono monitorate da sensori e computer. A ogni ambiente corrisponde una coltivazione: per i fiori si usano LED bianchi, mentre per le piante aromatiche si usano LED colorati. Riso e pomodori richiedono più calore e crescono sotto la luce di lampade alogene. Le verdure prodotte nell'edificio non sono destinate alla vendita ma prodotte nei ristoranti dell'edificio stesso. Il centro è dotato di un caffè dove vi trascorrono la pausa gli impiegati degli uffici dei piani superiori dell'edificio, beneficiando della vista del verde – che come ben noto è molto rara nella città di Tokyo – e dei profumi prodotti di piante e fiori» (Cfr. Fig.VII.85). Fonte: CHICCO, GIANFRANCO, "Le mille luci della lattuga di Tokyo", in bibl., p.36

si rivelano come elementi di risparmio economico o guadagno monetario nel tempo, permettendo quindi di rientrare in un certo periodo temporale dell'elevata spesa preventiva.



Fig.VII.82 – AeroFarms, schema del funzionamento di un banco di coltivazione aeroponica in ambiente indoor. Le piante vengono coltivate senza terreno e con le radici libere, mediante l'ausilio di un sistema di scaffalature multipiano: un apposito sistema di fertirrigazione automatizzata provvede a fornire più volte al giorno (mediante vaporizzazione) la soluzione idrosalina per il nutrimento dei vegetali. L'energia luminosa necessaria alle attività biologiche delle piante è fornita mediante un sistema di lampade infrarosse. La tecnica della coltivazione idroponica è una di quelle che, in futuro, permetterà la concretizzazione del *Vertical Farming*. (Fonte: <http://aerofarms.com/why/technology>)

La produzione energetica relativa ad una fattoria verticale merita infatti un discorso a parte. La possibilità d'integrare la costruzione o i suoi involucri mediante i più efficienti sistemi di produzione energetica attiva o passiva, che solo fino a pochi anni fa si dimostravano totalmente inaccessibili o eccessivamente costosi, permette di fornire un grosso contributo energetico ad un organismo edilizio che sicuramente si rivelerebbe altamente energivoro sia in fase costruttiva che nella gestione giornaliera o annuale, potendo contare peraltro sulla minimizzazione delle perdite di carico resa possibile dalla concomitanza spaziale fra la produzione energetica e il suo utilizzo. Se parallelamente al «fatto che le energie rinnovabili stanno progressivamente entrando nello specifico urbano rendendo possibili processi quali la produzione di energia, che nel passato erano stati allontanati dalla città»⁹¹, è altrettanto possibile ammettere che tali nuove tipologie architettoniche possano sicuramente contribuire attivamente anche all'approvvigionamento di sistemi energeticamente dipendenti come sono, appunto, le conurbazioni della contemporaneità. È infatti interessante la possibilità di

⁹¹ MIZZONI, GIULIO, "Skyland Vertical Farm: modello di agroecosistema energetico", in bibl., p.1

considerare le fattorie verticali come degli elementi produttori non solo di sostanze agro-alimentari o commerciali, ma anche come vere e proprie fonti energetiche. Tutti i calcoli finora eseguiti per la valutazione dell'effettiva sostenibilità delle tipologie edilizie descritte, dimostrano come esse non solo possano autosostenersi dal punto di vista energetico, ma anche che l'energia da esse prodotta potrebbe in alcuni casi superare il fabbisogno dell'intero organismo edilizio, contribuendo quindi, mediante la cessione in rete dell'energia elettrica o termica generata, anche al sostentamento energetico di città o metropoli che le ospitano.

Da alcune ricerche eseguite dal team di Despommier in collaborazione con la *Columbia University*, è emerso come una *Vertical Farm* delle dimensioni di un isolato tipico della metropoli di New York, ed alta 48 piani, richiederebbe un apporto energetico pari a 26,5 milioni di chilowattora all'anno a fronte di una produzione di 51,6 milioni di kWh, con un evidente surplus energetico che potrebbe essere destinato altrove⁹².

Il medesimo discorso potrebbe riguardare la produzione di cibo, in quanto le varie simulazioni effettuate dimostrano come delle fattorie verticali di altezza maggiore o uguale ai 30 piani, e delle dimensioni sempre di un isolato newyorkese, potrebbero assicurare la produzione per un numero di persone pari a 50.000 unità. Ma non è solamente il team di Despommier a diffondere dati di questo genere, visto che stime simili sono state fatte anche nei Paesi Bassi e in Italia.



Fig.VII.83 – Valcent, *Verticrop High Density Vertical Growth System*. Quello rappresentato è un sistema per il miglioramento e l'aumento del rendimento della produzione agricola. Tali vegetali (nella foto sono ritratte delle piante di lattuga) vengono coltivati in appositi banchi idroponici multipiano, dove clima, luce e nutrienti sono strettamente e costantemente controllati. Tale modalità di coltura permette un totale monitoraggio delle coltivazioni, che si trovano così a vedere minimizzato il proprio rischio di contagio da parte di infestanti o parassiti: ne consegue che anche l'impiego di antiparassitari o fitosanitari diviene superfluo. Nell'immagine di destra è visibile come in mancanza del terreno di coltivo le radici dei vegetali rimangano libere, pur senza pregiudicare la vita della pianta. (Fonte: <http://www.valcent.net>)

Tra il 2000 e il 2001 il gruppo olandese MVRDV elaborò il progetto di *PigCity*⁹³, una ricerca finalizzata alla comprensione di innovative modalità d'allevamento del bestiame. L'idea fu quella di disseminare il territorio dei Paesi Bassi tramite alcune torri edilizie da destinare all'allevamento suino: questo perché la produzione suina è molto importante per quella nazione, visto che i Paesi Bassi sono

⁹² BATTISTI, ALESSANDRA, TUCCI, FABRIZIO, "Green up!", in bibl., p.241

⁹³ La pagina web dedicata al progetto *PigCity* è <http://www.mrvd.nl/#/projects/181pigcity>

il massimo produttore europeo, e tale varietà di carne è quella maggiormente consumata all'interno dei confini nazionali. La ricerca⁹⁴ giunse al risultato che trentuno torri presentanti una superficie di 6.400 m² per 620 metri di altezza potrebbero sostenere l'intero fabbisogno di carne per i sedici milioni di abitanti della nazione, e garantire sia migliori condizioni di vita e di sostentamento agli animali che consentire di limitare la diffusione di epidemie non solo intraspecifiche ma anche nei confronti dell'essere umano⁹⁵. Il progetto, seppur utopico per quel periodo, sollevò comunque una serie di considerazioni importanti, legate non solo alla produzione agro-alimentare ma anche ad igiene ambientale e salute umana, e che hanno sicuramente contribuito ad ispirare il conseguente dibattito sul *Vertical Farming*.



Fig.VII.84 – Terrasphere, banco di coltivazione idroponica su substrato. La particolarità di questo sistema è che le piante vengono coltivate, durante i primi stadi di vita, dentro a banchi di forma cilindrica: alcune di esse crescono quindi in verticale, mentre certe altre quasi sottosopra. (Fonte: <http://terraspheresystems.com>)

Fig.VII.85 – Progetto *Pasona 02*, Tokyo (Giappone), 2009. Nei sotterranei del *Nomura Building* di Tokyo è in atto una sperimentazione di *urban farming*: su una superficie di 1 Km² vengono coltivate differenti specie vegetali floricole e orticole (fiori, piante aromatiche, riso, pomodorini, lattughe), mediante l'impiego della coltivazione idroponica in mezzo liquido. La luce per la fotosintesi delle piante è garantita da un utilizzo congiunto di LED e lampade alogene (dal colore differenziato in funzione della specifica tipologia di coltivazione) e i pesticidi sono totalmente proibiti. (Fonte: CHICCO, GIANFRANCO, "Le mille luci della lattuga di Tokyo", in bibl., p.36)

L'ENEA (*Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo sostenibile*), durante le ricerche propedeutiche alla progettazione di *Skyland Vertical Farm*⁹⁶ – ossia la prima fattoria verticale destinata all'Italia – ha invece stimato che un'«impresa agricola a sviluppo verticale, alta da 30 a 50 piani (con una superficie produttiva complessiva che vada dai 42.000 ai 70.000 m², NdA),

⁹⁴ MUSACCHIO, ANTONIO, "Vertical Farming", in bibl., p.118

⁹⁵ Si pensi all'epidemia della cosiddetta influenza suina (nome medico: *Influenzavirus A*), che tra la fine dell'anno 2008 e la prima metà del 2009 provocò una pandemia a livello planetario.

⁹⁶ Per maggiori informazioni riguardo a *Skyland Vertical Farm* si veda il seguente riferimento web: <http://webtv.sede.enea.it/index.php?page=listafilmcat2&idfilm=277&idcat=22>

fornita di impianti e tecnologie che sfruttano le energie rinnovabili (eolico, fotovoltaico e geotermico) che la rendano autosufficiente dal punto di vista energetico [...] potrebbe fornire approvvigionamenti alimentari per il 60% della popolazione di una grande città»⁹⁷, calcolati sull'estensione media delle conurbazioni italiane.

La commistione funzionale solitamente interessante le fattorie verticali consente dei benefici reciproci alle varie destinazioni d'uso, dal punto di vista della gestione energetica alla scala edilizia. Il calore prodotto dalle varie presenze interne⁹⁸ o durante l'espletamento delle operazioni agricole, grazie alla concomitanza e alla concentrazione spaziale di più attività, potrebbe essere recuperato e, una volta adeguatamente depurato, favorire il risparmio energetico nelle attività di gestione in opera del manufatto.

Le tipologie di edificio qui descritte si troveranno quindi ad ospitare contemporaneamente sistemi sia di produzione che di conservazione dell'energia, tecnologie per la produzione agro-alimentare e l'allevamento del bestiame, sistemi ambientali destinati alla residenza ed al lavoro quotidiano delle persone, nonché impianti tecnologici finalizzati al normale svolgimento e al mantenimento di tutto ciò: questioni che si traducono in un forte aumento della complessità dell'organismo edilizio. Quindi, uno stato probabilmente mai sperimentato fino ad ora e del tutto inedito, perciò verosimilmente comprensivo di molte incognite, problematiche da gestire e risolvere, sperimentazioni da protrarre nel tempo. Un percorso lento e complesso ma che, se adeguatamente strutturato e gestito, potrebbe sicuramente fornire dei risultati interessanti.

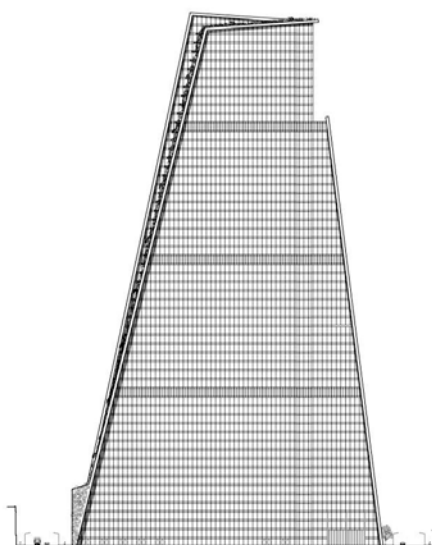


Fig.VII.86 – Gordon Graff, *Sky Farm*, Toronto, 2008. L'edificio destinato alla produzione agricola e all'allevamento di pollame è alto 58 piani; esso dimostra una notevole presenza sia di coperture a verde che di chiusure vegetate, entrambe destinate alla coltivazione. Il fabbricato è concepito per essere autosufficiente dal punto di vista energetico; la superficie coltivabile complessiva è di circa 72 ettari. Nell'immagine di destra è raffigurato il prospetto Est del grattacielo. (Fonte: <http://www.verticalfarm.com/designs>)

⁹⁷ MIZZONI, GIULIO, op. cit., p.2

⁹⁸ Ad esempio persone, animali, coltivazioni, macchinari, effetto serra, ecc.

Dalle considerazioni introdotte traspare dunque l'obbligatorietà di investire ancora molto in ricerca ed innovazione prima che il *Vertical Farming* possa effettivamente veder nascere le sue prime edificazioni. Il percorso di questo movimento culturale è oggi solo all'inizio perciò, se non si vuole correre il rischio di un fallimento dettato dalla mancanza di una base scientifica assodata che possa fungere da elemento fondante per una corretta edificazione, o subire delle problematiche non adeguatamente ponderate fin dall'inizio, sarà necessario procedere con cautela e per stadi scalari di affinamento produttivo e processuale. In modo da poter compensare tempestivamente la nascita di eventuali criticità.

Merita sicuramente un discorso a parte l'"accettazione dell'innovazione" legata ad un rivoluzionario movimento come questo. Non sempre un'innovazione si rivela facile da accettare per le grandi masse di persone soprattutto, come accade in questo caso, quando si prefigga di modificare prassi storicizzate come quella legata al settore produttivo primario. Si rivelerà quindi imprescindibile la necessità di accompagnare l'edificazione di tali inedite tipologie mediante una corretta attività esplicativa e didattica, rivolta a tutte quelle persone che saranno obbligate a sperimentare sulla propria pelle il *Vertical Farming*. Sarà inoltre necessario porre adeguata attenzione preventiva al fatto che non tutte le innovazioni si rivelano sempre, nel medio o lungo periodo, un fattore realmente positivo: da qui l'importanza di sperimentare, nel tempo e mediante adeguati passaggi di scala, l'effettiva bontà di quello che si sta ora iniziando a teorizzare⁹⁹.

VII.3.2.3. Il ruolo delle tecnologie per l'inverdimento parietale come possibile supporto operativo al movimento

L'innovativa tipologia edilizia descritta in questi paragrafi, partendo da basi teoriche e sviluppi tecnologici comunque connessi al concetto di *Verde Verticale*, muove verso inedite tipologie di edifici in cui le parti architettonica e tecnologica tendono a legarsi a conoscenze botaniche ed agronomiche specifiche, verso la creazione di vere e proprie torri produttive e sostenibili indicate, come già visto, con l'appellativo di *Urban Farms*. Nuove icone verdi che attualmente vengono considerate delle tipologie quasi utopiche o provocatorie, ma sono contemporaneamente interessate da un grande dibattito culturale che spinge fortemente l'odierna ricerca scientifica verso un loro sviluppo sempre più concreto.

Considerata la funzione prettamente produttiva di una fattoria verticale, è evidente come la massimizzazione delle superfici a verde divenga una delle caratteristiche più importanti per la riuscita e l'efficienza del sistema: ne consegue che, quindi, non solo le pareti a verde potranno assumere un ruolo primario nella concretizzazione di una *Vertical Farm*, ma che tutte le tecnologie oggi esistenti che possano permettere di integrare delle superfici vegetali ai prodotti dell'architettura (come ad esempio le coperture a verde, i sistemi d'ingegneria ambientale, ecc.) si riveleranno di fondamentale importanza, e potranno contribuire in modo importante alla riuscita del sistema. Ciò non toglie che, visto il preciso oggetto di studio che anima la presente ricerca, ci si concentra in questo caso solamente sulle potenzialità progettuali e tecnologiche che potranno essere apportate dalla verticalizzazione vegetale nei confronti del movimento teorizzato da Despommier.

⁹⁹ Tale discorso è valido sia nel caso della progettazione edilizia che per quel che concerne la produzione agricola e l'allevamento di bestiame.



Fig.VII.87 – A sinistra. Romses Architects, *Harvest Green Project*, Vancouver (Canada), 2009: simulazione tridimensionale d'insieme. L'edificio ospita un elevato numero di funzioni diverse (coltivazione ortofrutticola, allevamento ittico e di bestiame, centro commerciale, uffici, residenze, ristorante, stazione della metropolitana) e quasi tutta la superficie esterna degli involucri è inverdita. (Fonte: <http://www.designboom.com>)

Fig.VII.88 – A destra. Romses Architects, *Harvest Green Project*: dettaglio sulla copertura del ristorante collocato tra il secondo e il terzo livello dell'edificio. Si noti la continuità fra le superfici a verde parietale e di copertura: su quest'ultima, nelle intenzioni del pool progettuale, dovrebbero poter circolare liberamente degli animali al pascolo. (Fonte: <http://staticimg.openbuildings.com/building4382/media/4cb34132d3d946.47329966.jpg>)

La contrazione spaziale alla base del concepimento del *Vertical Farming* rende necessaria la massimizzazione delle attività di coltivazione, quindi si rende obbligatorio – o comunque consigliabile ai fini della produttività – il fatto di coltivare sulla maggiore percentuale di superficie possibile, sia essa orizzontale che verticale, interna o esterna. Diviene quindi evidente come le tecniche per la coltivazione agricola verticale viste in precedenza – che derivano peraltro dalle pratiche per la produzione agricola estensiva in serra o in campo – possano essere considerate importanti ai fini dell'ottimizzazione produttiva di tutte le superfici edilizie possibili. In altre parole, se la possibilità di coltivare in verticale nel caso dell'agricoltura urbana permette di sfruttare anche le superfici più svantaggiose, nel caso delle fattorie verticali consente di contenere ulteriormente il consumo di territorio naturale legato alla loro edificazione, concentrando lo spazio produttivo.

Le tecnologie del Verde Verticale possono entrare pienamente nel processo costruttivo di una *Vertical Farm*. Le funzioni di schermatura solare sia per le superfici trasparenti che per quelle opache, ottenute tramite l'impiego di rivestimenti vegetali, potrebbero rivelarsi utili nel miglioramento dell'efficienza energetica del manufatto; fabbricato edilizio che, peraltro, più riuscirà ad abbassare il proprio fabbisogno energetico totale, più potrebbe tramutare il proprio status da ricerca progettuale utopica a possibilità futuribile ed attuabile nel medio periodo.

Il medesimo discorso è applicabile anche alle chiusure verticali vegetate, grazie alle loro molteplici possibilità d'integrazione agli involucri architettonici. Se in forza della loro presenza, oltre all'opportunità di poter contribuire all'immagine di sostenibilità del manufatto che le ospiti, permettono anche – come visto in più parti nel corso della ricerca – una tangibile contribuzione all'abbattimento degli inquinamenti (atmosferaico, acustico, visivo, delle acque), diviene evidente come una forte commistione fra vegetazione naturale ed architettura possa divenire centrale nel processo di

progettazione che conduce alla realizzazione di una *Urban Farm*. Per di più, le tecnologie delle chiusure a verde risulteranno imprescindibili anche nell'aumento della compensazione ambientale¹⁰⁰ di questi particolari manufatti: viste le notevoli dimensioni di una fattoria verticale, integrare la maggior percentuale possibile del loro involucro mediante tecnologie a verde che ne permettano una rinaturalizzazione delle chiusure, consentirebbe di diminuire l'impatto ambientale legato all'edificazione.

Produzione agricola e allevamento di bestiame si riveleranno, all'interno di tali costruzioni, attività intensive ed altamente specializzate. Bisognerà quindi porre adeguata attenzione al fatto di non correre il rischio della perdita totale del contatto umano col territorio, nonché il valore delle prassi legate alla tradizione, trasformando un'attività storica e profondamente naturale come l'agricoltura in un'azione del tutto artificiale: anche per tale motivazione tutte le tecnologie d'inverdimento pensile e parietale esistenti potranno giocare un ruolo chiave nell'accettazione dell'innovazione da parte delle persone.

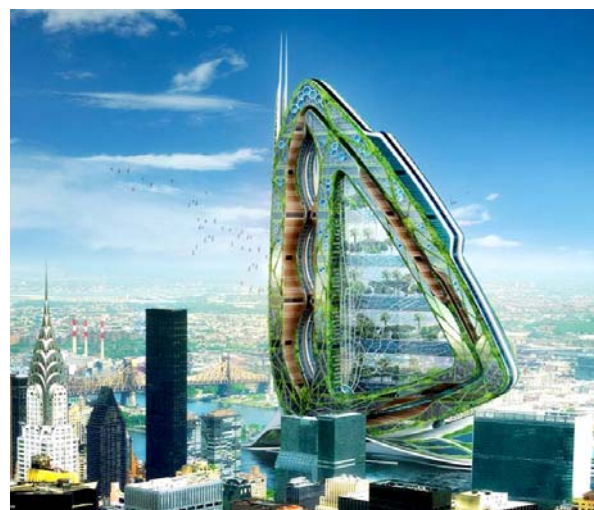


Fig.VII.89 – A sinistra. Little, *Entangled Bank*, Dallas (USA), 2009. L'edificio è multifunzionale e contiene una grande quantità di superfici a verde, sia negli involucri verticali che in copertura. La particolarità di questo manufatto risiede nell'utilizzo di un rivestimento vegetale per la schermatura solare del grande *curtain wall* vetrato multipiano esposto a Sud. (Fonte: <http://www.archdaily.com>)

Fig.VII.90 – A destra. Callebaut Architecture, *Dragonfly*, New York (USA), 2009. Alcuni progetti di *Vertical Farms* presentano un approccio maggiormente pragmatico e teso alla progettazione di edifici realizzabili con le tecniche oggi disponibili, mentre altre sperimentazioni adottano delle modalità progettuali assolutamente utopiche e futuristiche. Quest'ultimo è il caso dei lavori di Vincent Callebaut: egli immagina il suo *Dragonfly* addirittura come un edificio che abbia la capacità di galleggiare e navigare, in modo da poter affrontare l'innalzamento del livello medio del mare conseguente al surriscaldamento globale. Si noti anche in questo caso il largo impiego di superfici a verde verticale. (Fonte: http://www.psfk.com/wp-content/uploads/2009/05/vincent_callebaut_dragonfly.jpeg)

¹⁰⁰ Cfr. paragrafo VI.3.9

VII.4. Fonti di riferimento

In questo ultimo paragrafo verranno citati i riferimenti sia bibliografici che derivanti dalla consultazione di pagine *web*, utilizzati nella redazione del capitolo. Tutti i titoli qui segnalati saranno riportati anche nella *Bibliografia e sitografia generale*, reperibile nelle pagine finali della ricerca.



Fig.VII.91 – A sinistra. MVRDV, *Gwanggyo Power Centre*, Seoul (Corea del Sud), 2009. Simulazione tridimensionale: vista dall’alto del progetto vincitore del concorso per il nuovo centro urbano. Seppur tale progetto non abbia come obiettivo la realizzazione di una *Vertical Farm*, le teorie descritte nei paragrafi precedenti sembrano qui ritornare. Si noti il massiccio impiego di tecnologie per l’inverdimento degli involucri, che creano una profonda commistione fra la natura circostante ed il verde appartenente ai manufatti di progetto. Le funzioni qui contenute sono: residenze, uffici, centro culturale, spazi commerciali, ricreativi ed educativi. In base alle tempistiche dichiarate, il complesso dovrebbe essere completato entro il 2014. (Fonte: http://www.archiportale.com/immagini/FileProgetto/immaginigrandi/13963_1.jpg)

Fig.VII.92 – A destra. Mass Studies, *Seoul Commune 2026*, Seoul (Corea del Sud), 2005. Questa proposta di espansione urbana si prefigge di unire nello stesso progetto le due necessità giudicate come più importanti nell’ampliamento della capitale coreana, ossia i grattacieli (Seoul è una delle conurbazioni con maggiore densità al mondo) ed il parco. Il progetto edilizio è stato sviluppato mediante delle torri ispirate dalla forma dei tronchi d’albero; gli edifici sono completamente vetriati e parzialmente inverditi nelle loro chiusure verticali e superiori. L’insediamento occupa una superficie di 393.400 m²; le quindici torri hanno altezze variabili dai 16 ai 53 piani e l’intero sviluppo edilizio è fortemente integrato agli spazi verdi e d’acqua del parco che affaccia sul mare. (Fonte: <http://www.domusweb.it/en/architecture/very-green-utopias>)

VII.4.1. Bibliografia tematica

1. BATTISTI, ALESSANDRA, TUCCI, FABRIZIO, “Green up!”, *Modulo*, n.360, aprile 2010, pp.240-241
2. BELLINI, OSCAR EUGENIO, DAGLIO, LAURA, *Verde Verticale – Aspetti figurativi, ragioni funzionali e soluzioni tecniche nella realizzazione di living walls e green façades*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli Editore, 2009, pp.343

3. BIT, EDOARDO, "Dal giardino verticale all'orto in facciata – Studio di sistemi innovativi per l'integrazione fra chiusure edilizie e vegetazione naturale", p.47, in *BIOEDILIZIA ITALIA 2009 – Congresso Nazionale sull'Edilizia Sostenibile – Terza edizione*, Torino, Ed. Environment Park, 2009
4. BIT, EDOARDO, *Dal giardino verticale all'orto in facciata – Sistemi innovativi per l'integrazione fra chiusure edilizie e vegetazione naturale*, Atti del congresso *BIOEDILIZIA ITALIA 2009 – III edizione*, Sessione Poster n.2, Torino, 08/10/2009, pubblicazione on-line al seguente indirizzo: http://www.envipark.com/eeb09/files/Paper%20BI09_3.zip
5. BIT, EDOARDO, et al., *Il progetto dell'interfaccia architettonica – Tecnologie per la definizione della frontiera*, Seminario OSDOTTA 2009, Reggio Calabria, settembre 2009, pp.22 – Documento pubblicato on-line nel sito web dell'Università degli Studi di Reggio Calabria: <http://www.unirc.info/osdotta09/tavoli1-3/Settembre/TAV1/1-FERRARA.pdf>
6. CAILLE, E., "Le végétal: maison d'été à Dyngby, Danemark", *Moniteur Architecture AMC*, n.126, 2002, pp.104-105
7. CAMPO BAEZA, ALBERTO, *Alberto Campo Baeza – Progetti e costruzioni*, Milano, Electa, 2004 (ed. orig. 1999), pp.231
8. CENTRO TEMATICO ACQUE INTERNE E MARINO COSTIERE, *Metodologie analitiche della componente vegetazionale negli ambienti di acque correnti (Macrofite)*, ARPA Toscana, pp.57 – Documento pubblicato on-line all'indirizzo http://www.arpa.vda.it/allegati/Macrofite_2623.pdf
9. CHICCO, GIANFRANCO, "Le mille luci della lattuga di Tokyo", *Wired*, n.2, aprile 2009, pp.33-36
10. COMELLI, ELENA, "Genetica verde 2.0", *Nòva24 – Insetto settimanale de Il Sole 24 Ore*, n.179, 25/06/2009, pp.12-14
11. COMELLI, ELENA, "Rivoluzione colturale", *Nòva24 – Insetto settimanale de Il Sole 24 Ore*, n.179, 25/06/2009, p.1
12. DARLINGTON, ALAN, DIXON, MICHAEL, "The biofiltration of indoor air – Air flux and temperature influences the removal of toluene, ethylbenzene, and xylene", *Environmental Science Technology*, n.35, pp.240-246
13. DESPOMMIER, DICKSON, *The Vertical Farm – Feeding the world in the 21st century*, New York, St.Martin's Press, pp.320
14. FABRIS, LUCA MARIA FRANCESCO, *Tecnonatura: progetti per la rivoluzione ambientale*, Santarcangelo di Romagna (RN), Maggioli Editore, 2009, pp.252
15. GAUZIN-MÜLLER, DOMINIQUE, *L'architecture écologique*, Le Moniteur, Paris, 2001, (ed. ital. MORO, MARCO (a cura di), *Architettura sostenibile*, Milano, Edizioni Ambiente, 2003, pp.258)
16. GIRAUDO, EZIO, AROSSA, ALBERTO, BOLZACCHINI, PAOLO, *Il piacere dell'orto*, Bra (CN), Slow Food Editore, 2010, pp.256
17. JODIDIO, PHILIP, *Green architecture now!*, Cologne, Taschen 2009, pp.416
18. KALTENBACH, FRANK, "Living Walls, Vertical Gardens – From the Flower Pot to the planted System Façade", *Detail*, n.12, 2008, pp.1454-1466
19. MINGUZZI, GIANLUCA, *Architettura sostenibile – Una scelta responsabile per uno sviluppo equilibrato*, Milano, Skira Editore, 2008, pp.287
20. MIZZONI, GIULIO, "Skyland Vertical Farm: modello di agroecosistema energetico", Atti del workshop *VERDE HIGH-TECH*, Padova, 10 settembre 2009
21. MUSACCHIO, ANTONIO, "Vertical Farming", pp.115-127, in TATANO, VALERIA (a cura di), *VERDE: naturalizzare in verticale*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli Editore, 2008

22. PAVARINI, STEFANO, "Il grande cono – Vulcania Theme Park", *L'Arca Plus*, n.46, III trimestre 2005, pp.52-61
23. ROGORA, ALESSANDRO, "Eco Buildings in Hot Climate – EQUILIBRIO TRA ILLUMINAZIONE ED APPORTI SOLARI PER IL COMFORT VISIVO", Atti del convegno *In Case Of Sun*, Bolzano, Libera Università di Bolzano, 29 aprile 2010
24. SCHITTICH, CHRISTIAN (a cura di), *Involucri edilizi - Progetti, strati funzionali, materiali*, Monaco, Edizioni DETAIL, 2003, pp.196
25. SCHLEIFER, SIMONE, *Edificios espectaculares*, Köln, Taschen, 2007, pp.382
26. TUCCI, FABRIZIO, "Schermature fisse combinate orizzontali e verticali", in *Involucro ben temperato - Efficienza energetica ed ecologica in architettura attraverso la pelle degli edifici*, Firenze, Alinea, 2006, pp.239-241
27. VERONESE, MARIO, "Ciclo dell'acqua e fitodepurazione nell'edilizia sostenibile", *Atti del corso ANAB di Architettura naturale – Modulo A*, 2009, pp.106

VII.4.2. Sitografia tematica¹⁰¹

- <http://www.archdaily.com>

Archdaily è la rivista on-line di architettura più visitata al mondo.

- <http://www.verticalgardendesign.com>

LAR/MSA è uno studio svedese di architetti del paesaggio che si occupa della progettazione e realizzazione di muri vegetali che utilizzano del feltro sintetico come substrato.

- <http://www.greenfortune.com>

Greenfortune è un'azienda con base in Svezia ma presente in molte parti del mondo: tale azienda possiede il brevetto del sistema *Plantwall*, che utilizza del substrato in feltro sintetico come base per la crescita dei vegetali.

- <http://ngm.nationalgeographic.com>

Spazio web ufficiale della rivista internazionale *National Geographic*.

- <http://www.verticalfarm.com>

Sito ufficiale del movimento *Vertical Farming*. Vengono illustrati gli intenti del movimento e vi sono pubblicati numerosi esempi progettuali.

- <http://www.mvrdv.nl>

Sito ufficiale del gruppo di progettazione olandese MVRDV.

- <http://www.enea.it>

Portale web dell'*Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo sostenibile*.

¹⁰¹ Ultima visita ai siti web di seguito citati: martedì 25 gennaio 2011.

- <http://www.greenroofs.org>

Sito ufficiale dell'associazione nordamericana *Green Roofs for Healthy Cities*.

- <http://www.naturaire.com>

Ditta nordamericana Nedlaw che produce il brevetto *NEDLAW Living Walls* per pareti vegetate con sistema di depurazione-aria integrato. Il presidente della Nedlaw è il Dr. Alan Darlington, ricercatore che teorizzò e realizzò il brevetto BioWall per la depurazione dell'aria tramite chiusura verticale vegetata.

- <http://www.artaqua.de/it>

Ditta Art Aqua, produttrice del sistema *GrüneWand* per la realizzazione di chiusure vegetate da interni finalizzate all'umidificazione naturale dell'aria-ambiente.

- <http://www.canevaflor.com>

Portale della ditta francese Canevaflor che produce la gamma di sistemi denominati *Carac-terre* per pareti verdi (chiusure vegetate e rivestimenti vegetali) da esterni, da interni, o trasportabili.

- <http://www.valcent.net>

Azienda canadese *Valcent Products Inc.* che produce e commercializza sistemi per l'agricoltura idroponica urbana e multipiano.

- <http://aerofarms.com>

Aerofarms è un'azienda statunitense specializzata nelle tecnologie aeroponiche per l'agricoltura sia casalinga che a livello industriale.

- <http://terraspheresystems.com>

Terrasphere «progetta e realizza sistemi altamente efficienti per la coltivazione biologica di frutta e verdura in ambiente controllato indoor».

- <http://www.v-ter.com>

Vivers Ter, azienda produttrice del sistema *Babylon* per inverdimento parietale e fitodepurazione integrata.

- <http://www.mosstika.com>

Sito web dell'artista ungherese Edina Tokodi, famosa a livello internazionale per le sue opere murali vegetali eseguite con muschi viventi.

- <http://www.urbanarbolismo.es>

Urbanarbolismo è un'«impresa (spagnola, *NdA*) che opera ai fini dell'integrazione fra architettura e natura». Tale azienda si occupa sia di progettazione edilizia che di realizzare e brevettare sistemi tecnologici ospitanti vegetazione naturale; il sito contiene anche un *blog* interessante, sempre aggiornato in merito a sistemi e progetti provenienti da ogni parte del mondo.

- <http://www.lushe.com.au>

Sito dedicato alla tecnologia costruttiva di chiusure verticali vegetate e muri vegetali.

- <http://www.cantieriverdi.it>

Sito web di Cantieri Verdi, ditta che si pone «l'obiettivo di diffondere servizi innovativi nel verde ornamentale, con particolare attenzione alla sostenibilità ambientale». Cantieri Verdi ha ideato il sistema *Totem Vegetale* per la realizzazione di orti verticali in auto-costruzione.



VIII. Sintesi dell'attività di ricerca e conclusioni

Al termine del percorso di ricerca rappresentato dal presente lavoro è possibile affermare che all'interno del generico gruppo del *Verde Verticale*, contenete tutti i differenti sistemi per l'integrazione fra chiusure edilizie e vegetazione naturale, esistono due realtà sistemiche principali diverse per natura e per funzionamento, ossia i *rivestimenti a verde* e le *chiusure verticali vegetate*: sistemi che, seppur talvolta erroneamente assimilati a causa della sola proprietà di interessare contemporaneamente chiusure edilizie verticali e presenza vegetale, non si rivelano paragonabili. Essi sono completamente differenti anche per quel che concerne la concezione tecnologica alla loro base, in quanto uno può essere considerato a tutti gli effetti un sistema tecnologico di chiusura (le chiusure vegetate, che a loro volta contengono il sottogruppo dei muri vegetali), mentre l'altro, consistendo essenzialmente in un apparato supplementare alla chiusura edilizia è pienamente comparabile ad un sottosistema tecnologico o a un componente edilizio. Declinazioni differenti che ne determinano di conseguenza anche delle aspettative diverse, in quanto da un sistema tecnologico ci si attende non solo il buon funzionamento di tutte le sue parti o componentistiche, ma anche l'efficienza globale a livello di chiusura edilizia vera e propria; nel caso di componenti o sottosistemi, l'aspettativa che solitamente ne viene riposta è quella del semplice funzionamento che dovrebbe scaturire dalle necessità relative al suo impiego. Motivo per cui, anche all'interno di questa sezione conclusiva del lavoro, non si potrà esimersi dall'operare una costante suddivisione critica e tecnologica fra i due sistemi individuati.

Verranno di seguito presentate le conclusioni della ricerca, indicando sinteticamente sia i principali risultati ottenuti alla fine del periodo triennale di studio, che alcune considerazioni aventi l'obiettivo di formare una base critica volta non solo a delineare quanto scaturisce dall'attività qui presentata, ma che abbiano anche la funzione di poter rappresentare una base scientifica e culturale da cui trarre spunto per ulteriori analisi future. Proprio l'individuazione di alcuni possibili sviluppi di ricerca (o filoni d'indagine scientifica particolarmente interessanti) andrà a completare l'ultimo paragrafo del capitolo, al fine di anticipare ed aprire il campo a degli studi ulteriori che possano porsi in continuità con la presente.

VIII.1. Risultati ottenuti

I risultati derivanti dalla presente ricerca sono sintetizzabili nel modo seguente:

- definizione e classificazione tipologica, tecnica e morfologica dei principali sistemi d'integrazione fra chiusura edilizia verticale e vegetazione naturale. Essi sono i *rivestimenti a verde* e le *chiusure verticali vegetate*; quest'ultima categoria contiene inoltre l'ulteriore suddivisione in *muri vegetali*²: la sommatoria di questi forma la generica tecnologia definibile come *Verde Verticale*;
- una volta individuate tali categorie si è proceduto alla scomposizione del *metasistema* in componenti funzionali, elementi e apparati. Dapprima si è provveduto a definire caratteristiche

¹ Immagine della pagina precedente: Arnold Gapp, edificio polifunzionale a Marleno (BZ). Dettaglio della schermatura vegetale sul *curtain wall* vetrato esposto a Sud.

² Si veda a tal proposito il paragrafo II.5

- e peculiarità di ognuno di essi, per poi passare all'individuazione delle soluzioni materiche e tecniche maggiormente efficienti dal punto di vista tecnologico e funzionale³;
- conseguenza diretta di ciò è stata l'individuazione di soluzioni tecniche e costruttive conformi, sia a livello di stratificazioni tecnologiche singole che dal punto di vista della totalità del pacchetto di chiusura. L'individuazione di modalità operative ottimali (o raccomandabili) per un sistema giovane come quello in esame è uno degli obiettivi prefissati all'inizio del percorso di ricerca: tali soluzioni scaturite interessano varie scale e casistiche d'applicazione, sia a livello costruttivo, che di dettaglio progettuale, che in merito ad esigenze funzionali specifiche⁴;
 - uno dei risvolti più importanti nella definizione tecnica e sistemica di una tecnologia in piena progressione è la definizione delle criticità costruttive e gestionali ad essa legate. Mantenendo sempre la doppia declinazione tecnologica fra rivestimenti a verde e chiusure vegetate, si è operato mediante l'individuazione delle problematiche maggiormente ricorrenti o rilevanti che tali sistemi presentano, fornendo delle indicazioni critiche ed operative volte al loro superamento⁵;
 - in un sistema tecnologico di chiusura che preveda la presenza di vegetazione naturale, l'elemento più importante è sicuramente l'apparato vegetale, a sua volta composto dalla collaborazione fra piante e substrati di coltivo. L'individuazione di classi, famiglie e specie vegetali opportune nella realizzazione delle pareti a verde, è stato un ulteriore stadio di ricerca⁶. In una materia interdisciplinare (e composta da differenti specialismi) come quella studiata, l'individuazione di tipologie di piante che possano rivelarsi all'altezza delle aspettative, sia sotto l'aspetto funzionale che prestazionale, diviene probabilmente uno degli scogli maggiori da superare per una figura professionale – quella del progettista edile – che solitamente ha scarsa conoscenza delle dinamiche vegetative e di successione degli organismi vegetali;
 - una sezione del lavoro⁷ è stata destinata alla definizione prestazionale dei vantaggi derivanti dall'applicazione di sistemi vegetali all'*Unità tecnologica della Chiusura Verticale*⁸. Il termine *prestazione* è stato comunque interpretato in senso globale, ossia tentando di superare il concetto prettamente energetico e fisico-tecnico che sta in questi anni caratterizzando le discipline architettoniche, concentrandosi invece anche verso tutte le altre declinazioni possibili di tale termine, quindi prendendo in considerazione parametri acustici, tecnologici, ambientali, di comfort per l'essere umano, sociali, igienici, psicologici;
 - i citati passaggi si sono rivelati propedeutici al raggiungimento di quello che è l'obiettivo primario di ricerca inizialmente dichiarato, ossia la redazione di una serie di strumenti di ausilio alla progettazione. Quindi delle linee guida tecniche, tecnologiche e formali a favore di quei progettisti che volessero misurarsi con la progettazione o l'inserimento di un sistema di verticalizzazione vegetale all'interno dei propri lavori. Strumenti che, in linea generale, consistono in strategie d'azione, soluzioni conformi, spunti progettuali (formali e tecnici) e riferimenti compositivi o figurativi.

³ Cfr. capitoli III e V

⁴ Capitoli III, V e VII

⁵ Capitolo III e V

⁶ Cfr. capitolo IV e paragrafo III.2.1

⁷ Argomenti trattati nel capitolo VI

⁸ Come da definizione di UNI 8290-1:1981, *Edilizia residenziale – Sistema Tecnologico – Classificazione e terminologia*, p.1

Tali passaggi scientifici si sono rivelati preziosi anche per giungere ad una serie di risultati secondarie, complementari ma comunque importanti al fine della valutazione del fenomeno. Le attività di ricerca hanno infatti permesso l'approdo a delle conoscenze ulteriori, funzionali alla comprensione e alla quantificazione del movimento del Verde Verticale contemporaneo. Essi sono quindi:

- la definizione dello stato dell'arte (scientifico, tecnologico, progettuale-architettonico) e la focalizzazione del movimento d'innovazione caratterizzante la tematica oggetto d'indagine;
- la determinazione dell'offerta industriale nazionale ed internazionale, e le sue molteplici sfaccettature. Considerata l'importanza che l'industria esercita sulle tecnologie esistenti (e quindi anche sulle contestuali ricadute architettoniche), conoscere i differenti prodotti mercantili e la loro effettiva qualità si rivela un'attività strategica per la buona riuscita del progetto;
- l'individuazione degli sviluppi *di confine* del sistema, e l'identificazione delle possibili ricadute a livello tecnologico e produttivo. Il riconoscimento degli sviluppi più innovativi ed interessanti permette di inquadrare con maggiore facilità ed efficacia possibili linee di ulteriore approfondimento scientifico o tecnologico;
- la messa in luce delle ricadute di dette tecnologie a livello architettonico. L'individuazione di casi studio, di esempi architettonici realizzati, di teorie progettuali innovative o in via di definizione, la redazione delle *Schede Progetto*, permette di inquadrare dal punto di vista prettamente progettuale lo stato dell'arte relativo al movimento del Verde Verticale; così da poter formare una base di spunto critico per le figure professionali legate alle discipline architettoniche.

VIII.2. Conclusioni

Le tecnologie del Verde Verticale sono spesso utilizzate al di sotto delle proprie potenzialità. Nella maggioranza dei casi esse vengono impiegate esclusivamente per le proprie doti estetiche e figurative, mentre quasi mai il loro uso è indirizzato allo sfruttamento delle ricadute prestazionali o funzionali che potrebbero garantire. Tale questione deriva non solo dall'importanza che, soprattutto negli ultimi decenni, viene delegata all'immagine architettonica o al marketing ad esso legata, ma anche a causa di una scarsa cognizione dei vantaggi prestazionali che tali tecnologie possono garantire. Si dimostrerà quindi importante, d'ora in avanti, continuare con una contestuale e generalizzata attività di ricerca scientifica, in modo da poter aumentare ulteriormente la comprensione delle potenzialità legate all'affinamento del sistema.

Qualsiasi sistema per l'inverdimento parietale è sostanzialmente formato da due apparati, l'uno tecnologico e l'altro vegetale; quest'ultimo è a sua volta composto dalla sola vegetazione nel caso dei rivestimenti vegetali a rampicanti, e dall'unione fra vegetazione e substrati in tutte le altre casistiche. Perciò, qualunque sia il sistema prescelto o progettato per inverdire una chiusura edilizia verticale, le variabili con le quali avere a che fare saranno tre:

- tipo di tecnologia;
- tipologia di pianta;
- caratteristiche di substrato⁹.

Ne consegue che, all'interno di tale triplice campo d'azione, la variabile realmente legata alle professionalità dell'architetto sarà la prima, mentre le altre due – non avendo solitamente il progettista architettonico un'adeguata conoscenza dei funzionamenti vegetali – dovranno essere demandate a figure professionali esperte e specifiche, o comunque derivare da una collaborazione con esse durante l'intero iter di progetto.

VIII.2.1. Aspetti di sostenibilità legati al sistema della parete a verde

Il concetto di sostenibilità ambientale relativo alle tecnologie per l'inverdimento parietale è tutt'oggi non facile da delineare. Detti sistemi, semplicemente in forza del fatto di portare la vegetazione su di sé, vengono spesso descritti o considerati come portatori intrinseci di sostenibilità. Tale considerazione è tendenzialmente erronea, in quanto se è pur vero che la presenza vegetale possa fornire una contribuzione – *attiva* e *passiva* – sia all'efficienza energetica che al microclima ambientale interno ed esterno, è altrettanto fuor di dubbio che il consumo di risorse necessitato da alcuni particolari sistemi d'inverdimento possa essere, a seconda dei casi, sia modesto che elevato dipendentemente dal tipo di piante e dalle peculiarità tecnologiche dei vari apparati impiegati; ciò, includendo all'interno della voce "risorse" le richieste idriche, monetarie e di energia (incorporata o gestionale) che serviranno alla realizzazione e al mantenimento della parete nel tempo.

Se i rivestimenti a verde – essendo un sistema tutto sommato semplice, costituito essenzialmente dalle piante e da un apparato tecnologico destinato al loro sostegno – avranno un impatto ambientale limitato soprattutto in conseguenza della selezione di un sistema vegetale che possa trovarsi in equilibrio col contesto ambientale d'inserimento, non è possibile affermare altrettanto per le chiusure vegetate. Queste ultime, infatti, a fronte di un aumento dell'efficienza globale che potranno arrecare al manufatto che le adottò, e di un'indiscutibile qualità estetica – entrambe comunque difficili da quantificare –, presentano un consumo di risorse elevato: risorse anche in questo caso economiche (i prezzi di una chiusura vegetata sono tutt'oggi troppo elevati), energetiche *esplicite* (funzionamento e gestione le rendono altamente energivore) ed *implicite* (l'*embodied energy* relativa ai molteplici materiali e sottosistemi che compongono tali tipologie rappresenta un punto critico), idriche (i sistemi per l'inverdimento parietale più evoluti, e soprattutto quelli *soiless*, hanno una richiesta idrica alta; richiesta d'acqua che nella maggioranza dei casi viene esaudita mediante risorse idriche potabili).

All'attuale stato dell'arte inoltre, a parte alcune sperimentazioni che iniziano ad avere una lunghezza di vita comprovata¹⁰ e garantibile, la maggior parte dei sistemi attualmente riscontrabili o che stanno recentemente trovando la via della commercializzazione, a fronte di elevatissimi costi

⁹ Ad eccezione dei rivestimenti a rampicanti che non richiedono la presenza di substrati in facciata

¹⁰ Come sono ad esempio le opere di Patrick Blanc: cfr. V.1

globali non offrono garanzie di durata: essi troppo spesso si rivelano inefficienti e deperibili nel breve periodo¹¹.

È perciò possibile affermare che la sostenibilità del Verde Verticale è direttamente proporzionale alla semplicità sistemica; per cui, se un rivestimento a verde si rivelerà totalmente sostenibile nella maggioranza dei casi¹², l'impiego di una chiusura vegetata andrà invece debitamente ponderato rispetto a fattori energetici e monetari. Ne consegue che un approccio progettuale obbligato per il presente momento storico e per l'attuale stato dell'arte scientifico sarà quello di ricercare soluzioni tecniche che imprescindibilmente dimostrino due caratteristiche fondamentali: una richiesta minima di risorse durante l'intero *Life Cycle* e la possibilità di massimizzazione del rendimento energetico conseguente all'impiego di tali sistemi.



Fig.VIII.1 – A sinistra. Burckhardt + AG Architekten: *MFO Park*, Zurigo (Svizzera), 2002. La bassa complessità tecnologica dei rivestimenti a verde li rende un sistema sostenibile e poco energivoro. (Fonte: Giovanni Avosani)

Fig.VIII.2 – A destra. Herzog & de Meuron, Patrick Blanc: *Caixa Forum*, Madrid, 2007. Seppur la valenza figurativa delle chiusure vegetate sia indiscutibilmente alta, la loro complessità tecnologica e il funzionamento degli impianti di cui necessitano, le rende dei sistemi energivori. (Fonte: Giovanni Zannoni)

VIII.2.2. L'importanza di una corretta selezione dell'apparato vegetale

La prima regola che consente di innalzare il bilancio di sostenibilità per una parete a verde dipende dalle peculiarità dell'apparato vegetale; questo perché una corretta selezione delle specie in funzione del contesto ambientale d'inserimento si rivela una discriminante fondamentale al contenimento delle risorse necessitate. Motivo per cui saranno in tutti i casi consigliabili le specie vegetali autoctone o

¹¹ Cfr. V.5.1

¹² Semplificando provocatoriamente il pensiero, è possibile affermare che collocare un seme di piante rampicanti nel terreno e predisporre un grigliato verticale che possa fungere da sostegno alla crescita dei vegetali non richiede grandi quantitativi energetici. Tale concetto viene inoltre ulteriormente rafforzato da una corretta selezione delle specie vegetali.

naturalizzate¹³ e, ove possibile¹⁴, risulteranno sempre consigliabili quelle decidue: questo perché le piante in applicazione agli involucri edilizi hanno un rendimento ottimale proprio nelle stagioni più calde, mentre l'apporto al contenimento energetico invernale garantito da vegetali sempreverdi – soprattutto alla luce delle più recenti normative sull'efficienza energetica, che richiedono edifici iper-isolati e dall'elevata conservazione energetica invernale – diviene trascurabile; inoltre, il fatto che le specie decidue non presentino apparati fogliari durante una parte dell'anno si traduce in un risparmio idrico.



Fig.VIII.3 – A sinistra. Vertical Garden Design: *Rica Talk Hotel*, Stoccolma (Svezia). L'impiego di vegetazione molto rigogliosa e strutturata, composta – come in questo caso – da piante non autoctone, si traduce in una grande richiesta di risorse (idriche, nutritive, luminose, energetiche e quindi economiche) da parte del sistema vegetale. Risorse che, essendo impossibili da reperire autonomamente per la pianta a causa di una collocazione innaturale, dovranno esserle fornite artificialmente. (Fonte: <http://www.verticalgardendesign.com>)

Fig.VIII.4 – A destra. Matt Brooke e Walter Cicack: *The Earth Bank*, Eugene (USA), 2010. L'utilizzo di piante adattate a climi aridi (come le specie succulente qui raffigurate) si rivela ottimale dal punto di vista del risparmio delle risorse, in quanto tali specie hanno ridotte necessità idriche e nutritive. Inoltre, provenendo esse da areali solitamente molto caldi, ben si adattano ai climi mediterranei. (Fonte: <http://horticulturalbuildingsystems.blogspot.com>)

Per i sistemi d'inverdimento parietale più evoluti, non potendo essi in nessun caso impiegare specie a foglia caduca per i motivi precedentemente illustrati, risulterà ancora una volta importante la scelta di piante in equilibrio con gli stimoli ambientali della regione climatica d'inserimento e che, almeno in linea di principio, abbiano una ridotta richiesta di risorse idriche ed energetiche legate alle fasi di gestione e nutrimento¹⁵.

¹³ Si rimanda ai paragrafi IV.2.1 e IV.2.2 per una trattazione maggiormente precisa di tale argomento.

¹⁴ Nel caso di rivestimenti vegetali a schermatura di superfici trasparenti la scelta di una specie decidua è d'obbligo, mentre con le chiusure opache è possibile optare sia per piante sempreverdi che caducifoglie.

¹⁵ Cfr. IV.6

VIII.2.3. Energia richiesta durante l'intero *Life Cycle*

Importante proprietà legata alla sostenibilità del sistema sarà quella dell'energia imputabile al pacchetto tecnologico; energia che, come visto, potrà essere intrinseca o esplicita. Superato questo primo periodo di sperimentazione *senza regole* in materia d'inverdimento parietale, diverrà imprescindibile d'ora in poi mirare alla realizzazione di sistemi che abbiano una richiesta energetica limitata, non solo dal punto di vista della vegetazione integrativa, ma anche riguardo a delle modalità di realizzazione che mirino al minor impatto ambientale possibile. Pervenire al concepimento di prodotti industriali dal basso tenore energetico (sia in fase di realizzazione che sotto l'aspetto gestionale) dovrà divenire un paradigma operativo, se si vuole che tali sistemi possano affermarsi all'interno di una concezione architettonica e di un mercato edilizio che tendono sempre di più a premiare il basso impatto ambientale di materiali e componenti; tali prodotti quindi, oltre a garantire un'adeguata durata di vita, dovranno presentare bassi valori di energia grigia.

Motivo per cui all'attuale stato dell'arte, vista la bassa sostenibilità intrinseca che la tecnologia delle chiusure vegetate dimostra in quasi tutte le sue sperimentazioni operative, un impiego *funzionalizzato* di quei sistemi che possano garantire delle precise caratteristiche di valore aggiunto¹⁶ diviene l'unica modalità che possa permettere di considerare applicabili, dal punto di vista della sostenibilità ambientale, i sistemi d'inverdimento più evoluti.

Discorso diverso per quel che concerne i rivestimenti a verde. Essendo tali sistemi molto semplici – composti sostanzialmente da un apparato vegetale e da un graticcio destinato al supporto della pianta – possono essere considerati come *sostenibili in assoluto*, in quanto i benefici che derivano da un loro impiego pertinente ed adeguatamente duraturo, sono indiscutibilmente maggiori dell'energia spesa per la loro costruzione e mantenimento in opera.

Volendo comunque ulteriormente affinare l'efficienza, le due vie di ricerca da intraprendere dovranno riguardare energia grigia e tipologia di vegetazione. Da una parte bisognerà mirare al concepimento di sottosistemi che possano permettere di diminuirne l'energia spesa in fase realizzativa. D'altro canto si rivelerà fondamentale la comprensione di quali siano le specie rampicanti più efficaci in base ad ogni differente e possibile contesto di riferimento; efficienza vegetale determinata da grandezze fisiche diverse da pianta a pianta, quali: superficie di copertura fogliare, spessore del manto vegetale, durata di fogliazione (sempre all'interno del gruppo appartenente alle specie decidue), richiesta idrica.

Anche la questione delle attività gestionali ordinarie e straordinarie diviene centrale. Le problematiche manutentive del Verde Verticale implicano, in funzione delle specie prescelte e delle caratteristiche tecnologiche dei vari sistemi o sottosistemi impiegabili, un dispendio energetico e di risorse più o meno alto che, inoltre, varia da caso a caso e da sistema a sistema: se le risorse da investire nella gestione e manutenzione di un rivestimento a verde sono tutto sommato limitate, quelle richieste dalle chiusure vegetate sono molto maggiori, e quelle relative ai muri vegetali ancora di più. Il piano di manutenzione e le tecniche impiegate per il suo espletamento divengono quindi una delle discriminanti più importanti nella realizzazione, in quanto possono determinare l'innalzamento o la diminuzione dei costi (economici, energetici, operativi, ecc.) legati al mantenimento di una parete a verde.

¹⁶ Cfr. VII.3.2 e VII.3.1

VIII.2.4. L'entità di substrato come discriminante delle caratteristiche di sostenibilità

Un dato importante che risulta dalla presente ricerca riguarda gli aspetti di sostenibilità relativi alla presenza e all'entità del substrato riscontrabile in parete. Semplificando il concetto del Verde Verticale è possibile affermare che tutti i sistemi esistenti sono essenzialmente formati da apparati tecnologici e strato vegetale. Escludendo il sistema d'irrigazione (o fertirrigante) necessitato esclusivamente dalle tipologie d'inverdimento evolute, e ponendo un'ulteriore semplificazione di concetto, risulta possibile ammettere che la quantità di vegetazione interessante sia i sistemi di rivestimento a verde che quelli di chiusura vegetata è tendenzialmente assimilabile sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo; o comunque che la differenza fra i due – anche alla luce della estrema difficoltà di quantificazione delle attività fisiologiche e delle caratteristiche fisiche delle piante, e della loro variabilità in funzione della stagione o del contesto di valutazione – è tutto sommato trascurabile.

Sulla base di tali considerazioni è quindi evidente che l'unico elemento realmente differenziante i due sistemi è il substrato. A ciò si aggiunge un'ulteriore questione, risiedente nel fatto che la gran parte dei sistemi oggi esistenti si basa sull'affermata tecnologia che prevede feltri sintetici come supporto di coltivo: la contribuzione energetica del feltro, conseguentemente sia al proprio esiguo spessore totale, che alla scarsità delle relative prestazioni, diviene trascurabile. Grazie a tali assunti è perciò possibile dichiarare che, in tale caso specifico e sulla base delle semplificazioni teoriche introdotte, il rivestimento a verde e le chiusure vegetate che impieghino modalità di coltivazione su feltro sono tutto sommato simili, in quanto – essendo trascurabile la contribuzione di tale tessuto all'efficienza energetica della chiusura – esclusivamente composti dall'apparato vegetale e dai vari sottosistemi tecnologici di supporto alle piante¹⁷.

All'interno del macrogruppo del Verde Verticale è quindi possibile registrare un'importantissima differenziazione tecnologica, consistente nella presenza o meno di substrato in parete: tale substrato, in funzione delle proprie caratteristiche materiche e volumiche, si rivela la vera discriminante incidente sulle proprietà specifiche di efficienza energetica di una parete a verde. La presenza in chiusura di un elemento materico più o meno spesso (con intrinseche proprietà di massa volumica, resistenza termica e capacità di ritenzione idrica), peraltro costantemente pervaso da dosi più o meno elevate d'acqua, contribuisce all'efficienza energetica del sistema tecnologico, soprattutto in fase estiva e nei contesti territoriali a clima caldo.

Il substrato di coltivo diviene perciò l'elemento più importante ai fini dell'efficienza energetica della chiusura verticale, in quanto incide sulle proprietà di resistenza ed inerzia termica: caratteristiche che, peraltro, dipenderanno non solo dalle peculiarità del materiale che forma il substrato stesso, ma anche dall'entità della presenza idrica riscontrabile, in quanto, come noto, la grande capacità termica dell'acqua ne determina una elevata inerzia. Sulla base di tali ragionamenti è perciò possibile affermare che per un qualsiasi sistema di parete a verde, maggiore sia l'entità di substrato più elevata sarà anche l'efficienza energetica della chiusura¹⁸; ovvero, in altre parole, che l'efficienza energetica di una parete inverdata è proporzionale allo spessore di substrato ivi contenuto.

¹⁷ A tal proposito si vedano Fig.II.57, Fig.II.61 e Fig.II.64: dal confronto di tali immagini è ben comprensibile come i sistemi principali del Verde Verticale siano – ponendo le dovute semplificazioni di concetto – sostanzialmente differenziati dalla maggiore o minore presenza di substrato.

¹⁸ I substrati in feltro, avendo uno spessore di soli pochi millimetri, ed essendo costantemente mantenuti umidi, presentano delle scarse qualità sia di resistenze termica che di inerzia.

All'interno del gruppo del Verde Verticale risulteranno perciò in tutti i casi consigliabili i sistemi precedentemente definiti come *pesanti*¹⁹; per di più ne consegue che, a parità di altre caratteristiche sistemiche, saranno sempre preferibili quelli con la maggiore quantità di substrato possibile²⁰. Tali considerazioni sono valide per tutte le condizioni climatiche ma, presentando un substrato costantemente pervaso da acqua (o altre soluzioni idrosaline) una resistenza termica bassa, i sistemi pesanti si riveleranno maggiormente efficienti nei climi e nelle stagioni calde; quindi, ribaltando il concetto, è altresì possibile ammettere che le doti di inerzia e sfasamento termici risultano, per lo specifico campo delle chiusure vegetate, più importanti di quelle di resistenza termica.

I sistemi pesanti possono inoltre garantire dei vantaggi ulteriori. Innanzitutto il risparmio idrico: il fatto di poter contare su grandi volumi di substrato gioca a favore della diminuzione del consumo d'acqua da somministrare alla parete. Ogni materiale presenta specifiche proprietà di ritenzione idrica (sintetizzate dal *coefficiente di ritenzione*) che variano, una volta collocate in parete, anche in funzione dello spessore totale presente: ne consegue che, a parità di coefficiente di ritenzione idrica, maggiore sia il quantitativo di substrato più elevata sarà la ritenzione totale della parete a verde. Per tale motivo, avendo le coltivazioni su feltro degli spessori di substrato esigui (al massimo qualche centimetro) anche la loro capacità di ritenzione sarà molto bassa, con evidenti ripercussioni sui consumi di una risorsa sempre più importante quale è quella idrica²¹.

Ulteriore motivo di vantaggio è legato alle qualità acustiche. Essendo il potere fonoisolante di un qualsiasi corpo dipendente anche dalle sue caratteristiche di massa volumica, risulta palese come una parete a verde che presenti elevati dosi di substrato si riveli tendenzialmente migliore, sotto l'aspetto fonoisolante, di una che abbia uno strato di coltivo molto esiguo.

Diviene quindi possibile, a questo punto, determinare le caratteristiche di efficienza di un substrato in funzione di tre parametri che riescano a descriverne le succitate proprietà intrinseche. Conseguentemente alle caratteristiche di:

- *massa volumica* (Kg/m³)
- *resistenza termica* (W/m·K)
- *capacità di ritenzione idrica*

un substrato si dimostrerà più o meno efficace dal punto di vista del rendimento energetico, permettendo di orientare il progettista (o l'ente normativo²²) verso la selezione di quelle tipologie materiche che consentano di ottenere dei migliori livelli qualitativi e di efficienza energetica. Ai suddetti parametri potrebbe inoltre venirne associato un altro che, sommato ai tre già declinati, riuscirebbe a descrivere l'efficienza globale di un materiale: esso è quello dell'*energia incorporata*.

Basandosi su tali parametri energetici, e riuscendo di conseguenza a ricavarne degli indici numerici che possano permettere dei confronti incrociati fra materiali diversi, si riuscirebbe a comprendere quali substrati si rivelino più efficienti sotto l'aspetto sia del rendimento energetico che

¹⁹ Cfr. V.2.3.1

²⁰ È ovvio che l'ispessimento del substrato in parete comporta un aumento delle strutture portanti, nonché maggiori disponibilità di spazio.

²¹ Ciò è vero soprattutto nel caso in cui il sistema tecnologico sia a circuito aperto, quindi non preveda un recupero idrico: sistema di recupero che, comunque, ha un costo non trascurabile e richiede sia delle specifiche canalizzazioni per il contenimento del liquido in eccesso, che dei sistemi per la re-immissione in circolo del liquido stesso.

²² Cfr. VIII.2.5

dell'efficienza ambientale: tale metodologia potrebbe quindi rappresentare una possibile via di definizione ulteriore della presente ricerca.



Fig.VIII.5 – A sinistra. AECOM Design & Planning: *Westfield Shopping Centre*, Londra (UK), 2009. La presenza in parete di un grande spessore di substrato lo rende un sistema *pesante*, quindi prestante dal punto di vista della gestione energetica in fase estiva. (Fonte: Giovanni Avosani)

Fig.VIII.6 – A destra. Vision Included, *Black Box*, Delft (Paesi Bassi), 2007. Foto di cantiere durante la collocazione manuale delle piante in parete. Questo muro vegetale *leggero*, utilizzando del feltro sintetico come substrato, non presenterà particolari proprietà di efficienza energetica. (Fonte: Martijn de Geus)

VIII.2.5. La necessità di uniformazione operativa

L'empirismo legato alle attuali prassi tecnologiche e costruttive delle tecniche per l'inverdimento parietale si rivela un limite al miglioramento del sistema. Il fatto che la ricerca di base legata alle tipologie più evolute praticamente non esista, e che quella prodotta dall'industria avvenga più che altro imitando i modelli che riscuotono maggiore successo sul mercato, piuttosto che attraverso la ricerca soluzioni inedite ed efficienti, si rivela un'incognita per il futuro sviluppo del sistema e per la sua efficienza.

Conseguenza diretta di ciò è che i modelli che hanno maggiore successo relativamente allo sviluppo industriale e di prodotto sono quelli basati su soluzioni tecnologiche che impiegano feltri sintetici come substrato. Ne deriva che proprio l'elemento precedentemente individuato come ago della bilancia nel miglioramento prestazionale del sistema²³ – ossia il quantitativo di materiale fisico effettivamente presente – tenda ad essere ridotto al minimo, con ovvie ripercussioni sugli aspetti di sostenibilità della parete.

Tale questione apre il campo a due problematiche non trascurabili. Si ritiene che all'attuale stato dell'arte le prassi operative e il mercato edilizio siano pronti per un ulteriore passaggio "cognitivo",

²³ Cfr. VIII.2.4

riguardante la normazione dei sistemi studiati. Alla stregua di quanto recentemente accaduto con la tecnologia della copertura a verde, che ha potuto registrare la nascita di una specifica normazione tecnica, se si desidera che il sistema del Verde Verticale possa passare da mera sperimentazione architettonica (quasi) estemporanea a vero e proprio sistema tecnologico di facciata, diviene necessario operare affinché esso risponda a delle regole predeterminate sia in materia progettuale che esecutiva; ciò al fine di poter individuare delle prassi *normalizzate* che ne guidino la realizzazione ai fini dell'efficienza tecnologica e prestazionale.

Si ritiene quindi che divenga imprescindibile, da qui ai prossimi anni, l'emanazione di precise normative tecniche²⁴ destinate al supporto dei tecnici del settore nella realizzazione del Verde Verticale. Ossia l'auspicabile nascita di una normativa nazionale o sovranazionale finalizzata alla gestione e alla realizzazione di quelle che, all'interno della presente ricerca, sono state declinate come chiusure vegetate; ciò anche con l'obiettivo non secondario di ridurre l'attuale frammentazione dell'offerta mercantile, arrivando magari anche a raggiungere un numero minore di soluzioni e modalità costruttive possibili ma efficienti. Normative che, allo stesso tempo, si rivelerebbero utili nel favorire lo sviluppo del sistema.



Fig.VIII.7 – A sinistra. Michael Van Kalkenburgh, *Asla Green Roof*, Washington D.C. (USA), 2006. La prassi moderna della tecnologia della copertura a verde, vantando ormai alcuni decenni di sperimentazione internazionale, è soggetta, in molte nazioni (Italia compresa), a precise normative tecniche che ne definiscono le modalità progettuali, costruttive e gestionali. (Fonte: <http://www.longitudinalslum.typepad.com>)

Fig.VIII.8 – A destra. Non esistendo, invece, alcuna forma di normazione che abbia provveduto alla regolamentazione delle modalità tecnologiche o esecutive delle chiusure verticali a verde, l'offerta industriale è permeata di un elevatissimo numero di sistemi o brevetti che nascono e muoiono con grande frequenza. Prodotti o sistemi che vedono la luce esclusivamente per far fronte, dal punto di vista commerciale, al grande interesse che sta oggi riscuotendo il Verde Verticale, ma senza basarsi, purtroppo, su delle tecnologie all'altezza delle aspettative. Sono qui raffigurati degli esempi di “prato-pronto” – tecnologia solitamente impiegata per l'inverdimento di campi da calcio o giardini privati – semplicemente appoggiati sopra a delle chiusure verticali, quindi senza il minimo interesse per la risoluzione tecnologica dei vari nodi strutturali o delle relazioni sistemiche fra chiusura e vegetazione: la fotografia è stata scattata in data 11/09/2009 presso la fiera *Expogreen* di Bologna.

²⁴ Ad esempio come accaduto qualche anno fa col sistema tecnologico della copertura a verde. Cfr. UNI 11235: 2007, *Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione, il controllo e la manutenzione di coperture a verde*.

Tale tentativo di uniformazione metodologica potrebbe inoltre interessare non soltanto gli apparati tecnologici, ma anche la componente vegetale. Se, come visto, la corretta scelta delle specie si rivela una discriminante importante sia per la funzionalità della parete che, soprattutto, relativamente ai consumi energetici e di risorse (in primis quella idrica), diviene evidente come una selezione vegetale pertinente possa fare la differenza nella riuscita finale dell'intervento. Anche in tale caso quindi, l'esistenza di specifiche norme finalizzate a guidare i tecnici della progettazione nella corretta selezione degli apparati vegetali, si rivelerebbe un passo importante nei confronti dell'efficienza sistemica finale.

VIII.2.6. Il rapporto fra prestazioni e contesto climatico

Le prestazioni del sistema e i fattori di sostenibilità ad esso legati aprono il campo ad una problematica ulteriore, relativa alla comprensione del comportamento energetico parietale in funzione del contesto climatico di utilizzo. Se l'implementazione di prodotto interna al settore è in grande fermento, non accade altrettanto con le attività finalizzate alla comprensione del comportamento del sistema: la frammentazione dell'offerta rende difficoltosa la possibilità d'interpretazione prestazionale del grande numero di prodotti oggi riscontrabile sui mercati.

Nell'auspicabile approdo ad apparati normativi che possano indirizzare verso adeguate modalità di esecuzione e gestione del Verde Verticale²⁵, risulta imprescindibile un'approfondita conoscenza del comportamento globale dello stesso²⁶, in modo da poter orientare le attività progettuali e costruttive verso le tecnologie più efficienti, relativamente ai contesti territoriali in cui ogni diverso sistema possa garantire i migliori risultati. In altre parole diviene importante comprendere come ogni declinazione tipologica o tecnologica risulti più o meno affidabile nei confronti dei vari contesti climatici di riferimento. Considerate le alternanze climatologiche dipendenti dalle differenze stagionali e territoriali di ciascun luogo, risulta importante riuscire a comprendere quale sistema – prodotto dall'industria o conseguente a specifica progettazione – possa rivelarsi raccomandabile e garantire migliori prestazioni.

Tale questione imporrebbe quindi la determinazione del comportamento prestazionale di ogni differente tipologia per ogni possibile contesto climatico nazionale o continentale, in modo da comprendere quale sistema risulti più efficiente in base al relativo luogo di destinazione. La questione non risulta ovviamente semplice: anche solo rapportando tale metodologia di ricerca alla nazione italiana – indicata in letteratura come appartenente al clima mesotermico, ma contenete al proprio interno una molteplicità di caratterizzazioni climatologiche differenti e puntuali²⁷ – significherebbe comunque ampliare di molto il raggio d'azione, monitorando per ogni diverso contesto climatico l'effettiva rispondenza prestazionale di ogni possibile classe sistemica o prodotto industriale, col risultato di dover operare un grande numero di sperimentazioni e monitoraggi. Determinazione prestazionale che, ovviamente, dovrebbe dipendere dalla stessa industria produttrice in fase di implementazione del prodotto, ma che oggigiorno viene operata solo da un numero esiguo di aziende a causa sia dei costi elevati che della non obbligatorietà normativa.

²⁵ Cfr. VIII.2.5

²⁶ Questione già in parte affrontata in passato da alcuni ricercatori, e che è stata abbondantemente trattata all'interno del VI capitolo della presente ricerca.

²⁷ Cfr. paragrafo IV.1 e Fig.IV.2

VIII.2.7. Mirare alla diminuzione dei costi

L'auspicabile semplificazione normativa e procedurale contribuirebbe anche all'abbassamento dei costi; costi dei sistemi per l'inverdimento parietale di ultima generazione che, all'attuale stato dell'arte, si rivelano elevatissimi – se non del tutto insostenibili e in alcuni casi addirittura ingiustificati – per la normale pratica architettonica di medio livello. I punti in cui l'industria abbia un certo margine d'azione nell'ottimizzazione del sistema ai fini di un abbassamento dei suoi costi intrinseci, sono sostanzialmente tre:

- il processo di produzione. Il miglioramento della filiera produttiva, mediante la semplificazione delle attività e dei processi riguardanti la realizzazione sia dell'apparato a verde che vari sottosistemi tecnologici, è sicuramente il primo campo d'azione in cui la ricerca industriale possa mirare ad una più elevata efficienza;
- la riduzione al minimo di sottostrutture ed impianti: le tecnologie finalizzate alla realizzazione di pareti a verde si dimostrano tutt'oggi complesse e poco raffinate, quindi costose a causa di un elevato impiego di materia prima, e della conseguente difficoltà nella loro realizzazione o messa in opera. Ricercare delle modalità che permettano un affinamento degli elementi costitutivi del sistema consentirebbe il sensibile abbattimento di buona parte dei costi fissi;
- l'apparato a verde: l'affermazione planetaria dei modelli dettati dall'operato di progettisti celebri ed affermati ha condotto ad un impiego accentuato di apparati vegetali molto complessi e variegati, spesso impieganti contemporaneamente specie provenienti da più parti del globo. Il fatto di complessificare la presenza vegetale in parete ne innalza notevolmente i costi fissi, sia dal punto di vista dell'esborso iniziale che sotto l'aspetto gestionale: una maggiore attenzione nella selezione delle piante diviene una variabile basilare al contenimento dei costi.

Diminuire il costo del sistema diviene una necessità imprescindibile se si mira ad un suo miglioramento e alla sua progressiva espansione; percentuale di diffusione che si rivelerà fondamentale soprattutto nel caso in cui si consideri il Verde Verticale come un elemento importante ai fini della possibile rinaturalizzazione di conurbazioni altamente densificate.

VIII.2.8. Il sistema tecnologico *chiusura verticale a verde*: un contesto tecnico e culturale in fermento

Il progressivo accrescimento nel numero dei sistemi esistenti, nonché l'aumento dell'estensione delle superfici vegetate sia in assoluto – quindi a livello mondiale – che relativamente al singolo progetto, condurrà nel breve periodo ad una crescita globale nel quantitativo delle superfici a verde applicate agli involucri architettonici. Come in parte già oggi accade, è possibile affermare che da qui a qualche anno saranno reperibili con sempre maggiore frequenza involucri edilizi totalmente vegetati²⁸, o comunque che le sperimentazioni edilizie che possano contare sulla presenza di chiusure invedite registreranno un trend crescente.

²⁸ Argomento trattato nel paragrafo VII.1.2

Il percorso di avvicinamento a tale condizione largamente prevedibile dovrà forzatamente passare, anche alla luce della tendenza registrata negli ultimi tre anni²⁹, attraverso un costante aumento delle soluzioni industrializzate presenti sul mercato globale e, quindi, tramite la nascita periodica di nuovi sistemi per la verticalizzazione vegetale in architettura. Se all'interno di tale contesto è individuabile un grande interesse per i sistemi di chiusura vegetata, quindi verso le soluzioni più innovative ed interessanti dal punto di vista dello sviluppo tecnologico, risulta altresì possibile mettere in luce un ulteriore aspetto produttivo interessante.

L'interesse che gravita attorno al settore dell'ibridazione progettuale fra vegetazione naturale e architettura ha introdotto uno stato di fermento anche all'interno del comparto maggiormente storicizzato della verticalizzazione vegetale, ossia quello del rivestimento a verde. Anche tale campo ha infatti conosciuto, negli ultimi anni, un'innovazione interna al settore, mediante la nascita sia di numerose sperimentazioni architettoniche che di sistemi brevettati dall'industria: innovazioni che giungono quindi da un settore da sempre presente nella storia e che, probabilmente proprio per tale motivo, soffre da tempo di una certa immobilità.

La nascita della chiusura verticale vegetata ha scosso l'intero settore della verticalizzazione vegetale, facendo sì che anche il rivestimento a verde abbia potuto recentemente registrare delle innovazioni degne d'interesse: innovazioni che ne riguardano sia le ricadute formali (quindi a livello figurativo e di composizione architettonica), che quelle tecniche e sistemiche (prefabbricazione strutturale, sistemi *smart-green*, materiali mai usati prima in tale contesto come polimeri, FRP, ecc)³⁰.

VIII.2.9. Unificazione fra sistemi come elemento d'innovazione

All'interno del complesso e sfaccettato settore delle chiusure vegetate, la ricerca della semplificazione delle soluzioni tecnologiche e procedurali consisterebbe in un elemento di progresso. La possibilità di uniformare prassi e sistemi tecnologici si rivelerebbe una forte innovazione: semplificazione e standardizzazione che, a questo punto e considerato lo stato dell'arte industriale e produttivo delle tecnologie del verde (nella maggioranza dei casi in mano alle stesse ditte, sia che si tratti di coperture che di chiusure verticali), possa riguardare l'unificazione dei sistemi per l'inverdimento di tetti e facciate.

Si ritiene che la creazione di un sistema *unico*, che possa quindi essere utilizzato contemporaneamente sia per inverdire chiusure verticali che superiori³¹, in tutte le condizioni funzionali e di forma possibili, comporterebbe una grande progressione all'interno del settore. Tale inedito sistema si rivelerebbe un'innovazione importante e permetterebbe, peraltro, di semplificare tutte le varie modalità costruttive e gestionali per quei progetti che presentino coperture o facciate a verde, o la compresenza di entrambe³².

²⁹ Ossia nel periodo attinente alla presente ricerca.

³⁰ Cfr. capitolo III

³¹ Cfr. paragrafo VII.1.2 e Fig.VII.13

³² Si pensi, ad esempio, al solo fatto di riuscire a gestire tutta la manutenzione ordinaria dell'involucro mediante le stesse tipologie di operazioni, o tramite le medesime tempistiche durante l'anno; oppure quello altrettanto interessante di delegare ad un unico operatore la totalità delle operazioni costruttive o gestionali dell'opera.



Fig.VIII.9 – Jacques Ferrier, padiglione francese presso l'Expo di Shanghai, 2010. L'inverdimento delle chiusure verticali continua anche in copertura, ma è una continuità solo formale e non tecnologica. Infatti, non esistendo un sistema che possa essere impiegato indifferentemente sia in facciata che in copertura, quando si decida di realizzare un involucro inverdito – o parzialmente inverdito come in questo caso – si è costretti a aggirare il problema. Nel caso specifico, quello che in facciata consiste in una vera e propria chiusura vegetata, sul tetto piano è stato risolto mediante delle semplici aiuole di specie arbustive: queste assolvono al proprio scopo dal punto di vista formale, ma non da quello tecnologico. (Fonte: Giovanni Zannoni)

VIII.3. Possibili sviluppi di ricerca

Le applicazioni contemporanee dell'integrazione architettura/natura, tramite sistemi e metodologie totalmente inedite o rivisitate negli ultimi anni ha potuto registrare, come dimostrato dal presente lavoro, una grande progressione architettonica, formale, scientifica e tecnologica sia di prodotto che a livello di processo. All'interno di un settore in forte espansione, ma tuttora comunque caratterizzato da non poche contraddizioni interne, è possibile delineare alcune linee di sviluppo scientifico o tecnico che, in base alle argomentazioni riportate nel presente studio, e conseguentemente ai risultati da esso ottenuti, risultano come particolarmente interessanti se non addirittura necessarie:

- il primo imperativo è quello di ricercare delle tecniche operative che possano consentire un'ottimale integrazione del verde alle chiusure verticali, necessitando però allo stesso tempo di quantitativi energetici molto minori di quelli attuali, durante l'intero *Life Cycle*. Tale azione dovrà passare sia per un'adeguata selezione dell'apparato vegetale da collocare in parete che, e soprattutto, mediante l'ottimizzazione tecnologica dei vari sottosistemi di supporto e

- meccanismi, mirando ad ottenere tecnologie meno energivore durante tutti gli stadi di vita del manufatto;
- alla luce delle considerazioni in merito all'importanza del quantitativo di substrato in parete ai fini dell'efficienza energetica e bioclimatica dell'edificio³³, risulterà altresì rilevante comprendere quali siano le tipologie materiche di substrato più efficienti o convenienti, in base alle differenti sollecitazioni ambientali che possano interessare la chiusura a verde. Si renderà perciò opportuno testare differenti materiali (o combinazioni materiche), stimandoli al contempo mediante una duplice scala di valutazione, cioè sia attraverso il rendimento nei confronti delle piante presenti, che mediante la loro possibile contribuzione all'efficienza energetica e al comfort degli abitanti;
 - la necessità di definizione prestazionale dell'elemento tecnico *Chiusura Verticale Vegetata*, contestualizzandola però ai numerosi e differenti casi climatici e stagionali possibili, sia a livello nazionale che internazionale. Allo stesso modo potrebbe rivelarsi utile anche la comprensione dei comportamenti energetici o ambientali dei sistemi già esistenti, al fine di poter basare la loro selezione non solo in funzione della resa formale o del prezzo di mercato, ma anche – ed auspicabilmente – su dei parametri scientifici *certi* che ne descrivano il comportamento ecologico e prestazionale³⁴;
 - riducendo la scala di valutazione, anche la ricerca della standardizzazione dei componenti potrebbe essere una via da perseguire. I sistemi oggi esistenti, pur essendo molto numerosi, presentano spesso delle caratteristiche comuni: seppur possano in alcuni casi variare i materiali impiegati o le declinazioni tipologiche dei vari sottosistemi presenti, la loro risultante finale conduce invece a dei prodotti industriali spesso simili dal punto di vista tecnologico e formale. Una semplificazione sia a livello di produzione dei componenti reperibili in commercio, che dei sistemi attualmente prodotti dall'industria dell'inverdimento parietale³⁵, potrebbe condurre ad un risparmio economico sia in fase produttiva che a livello di commercializzazione del prodotto, consentendo un'auspicabile diminuzione dei costi ad un settore che in tutti i casi presenta dei prezzi eccessivi;
 - alla luce del fatto che molti dei prodotti industriali esistenti non si rivelino all'altezza della complessità prestazionale richiesta a componenti e sistemi per l'odierno mercato edilizio, si ritiene che la prototipazione di un sistema d'inverdimento verticale nuovo ed inedito potrebbe essere uno sviluppo importante per la presente ricerca. Una volta evidenziate criticità e potenzialità delle chiusure verticali vegetate, e teorizzate alcune possibili caratteristiche che, si ritiene, potrebbero rivelarsi apprezzabili ai fini dell'efficienza bioclimatica e prestazionale di un sistema d'inverdimento, diverrebbe interessante poter testare “dal vero” la veridicità delle teorie ed osservazioni scaturite dal presente studio. Progettazione, prototipazione e monitoraggio in opera di un nuovo sistema industrializzabile per la realizzazione di chiusure vegetate diverrebbe l'ottimale laboratorio di prova delle conoscenze acquisite.
 - tale inedito sistema (citato al punto precedente) dovrebbe peraltro scontrarsi con un'altra delle considerazioni risultanti dalla ricerca, ossia la possibilità di venire applicato sia in parete che in copertura, potendo inoltre adattarsi a tutte le condizioni morfologiche che un fabbricato architettonico possa presentare.

³³ Cfr. VIII.2.4

³⁴ Cfr. VIII.2.6

³⁵ Si precisa che per *semplificazione* si intende l'attività di ottimizzazione costruttiva e tecnologica del prodotto, e non un impoverimento dell'offerta industriale esistente.



BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Bibliografia generale

Pubblicazioni

1. AA.VV., *Hundertwasser Architecture*, Colonia, Taschen, 1997, pp.320
2. AA.VV., "Dossier verde verticale", *Nemeton*, n.1, aprile 2009, pp.85-103
3. AA.VV., 2009 *L'anno del cemento – Dossier sul consumo del suolo in Italia*, documento on-line tratto da <http://www.wwf.it>, pp.65
4. ABEL, CHRIS, "Verdant vertical living", *The architectural review*, n.1171, settembre 1994, pp.32-35
5. ABRAM, PAOLO, *Giardini pensili – Coperture a verde e gestione delle acque meteoriche*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2004, pp.239
6. ABRAM, PAOLO, *Verde pensile in Italia e in Europa*, Milano, Il Verde Editoriale, 2006, pp.168
7. ALESSANDRO, S., BARBERA, G., SILVESTRINI, G., "Stato dell'arte delle ricerche concernenti l'interazione energetica tra vegetazione e ambiente costruito", *Quaderno 13*, CNR – Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per l'edilizia e il risparmio energetico, CNR-IEREN, Palermo, 1987
8. ANDREINI, LAURA, "Intervista a Patrick Blanc", *Area*, n.89, novembre-dicembre 2006, pp.170-173
9. ARIAUDO, FEDERICA, CORGNATI, STEFANO, FRACASTORO, GIAN VINCENZO, RAIMONDO, DANIELA, "Verso un edificio con pelle verde – Il ruolo del verde nel controllo microclimatico", *CASA & CLIMA*, n.17, gennaio-febbraio 2009, pp.66-72
10. ARIAUDO, FEDERICA, CORGNATI, STEFANO, FRACASTORO, GIAN VINCENZO, RAIMONDO, DANIELA, "Cooling load reduction by green walls: results from an experimental campaign", *Atti del 4th International Building Physics Conference*, Istanbul, Turchia, 15-18 giugno 2009
11. ARIAUDO, FEDERICA, FRACASTORO, GIAN VINCENZO, "Il verde parietale come elemento di controllo dei carichi termici", *Il Progetto Sostenibile*, n.15, 2007, pp.56-65
12. ASSOVERDE - ASSOCIAZIONE ITALIANA COSTRUTTORI DEL VERDE, *Costruire il verde – Manuale tecnico-pratico sulla gestione del verde*, Monteveglio (BO), Editrice Tipografia Moderna, 2007, pp.125
13. BATTISTI, ALESSANDRA, TUCCI, FABRIZIO, "Green up!", *Modulo*, n.360, aprile 2010, pp.240-241
14. BAUMANN, RUDI, *Begrünte Architektur*, Monaco, Callwey, 1985, pp.243

¹ La fotografia della pagina precedente ritrae un'installazione situata presso il padiglione d'ingresso ai *Giardini di Castel Trauttmansdorff*, a Merano (BZ). Tale immagine esprime bene il concetto di "natura ammaestrata tramite la tecnologia", basilare per tutti i sistemi studiati all'interno della presente ricerca.

² I riferimenti bibliografici contrassegnati con l'asterisco (simbolo: *) non sono stati consultati.

15. BELLINI, OSCAR EUGENIO, DAGLIO, LAURA, *Verde Verticale – Aspetti figurativi, ragioni funzionali e soluzioni tecniche nella realizzazione di living walls e green façades*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli Editore, 2009, pp.343
16. BELLOMO, ANTONELLA, *Pareti verdi – Nuove tecniche*, II edizione, Napoli, Sistemi Editoriali, 2009, pp.235 (ed. orig. BELLOMO, ANTONELLA, *Pareti verdi – Linee guida alla progettazione*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2003, pp.155)
17. BENVENUTI, STEFANO, *Aspetti biologici ed ecologici della flora infestante dell'ecosistema urbano*, Università di Pisa, Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie, documento on-line disponibile all'indirizzo http://www.avanzi.unipi.it/comunicazione/convegni/incontro_tec_diserbo_non_chimico/documenti_dis_non_chimico/benvenuti.pdf, pp.57
18. BERDINI, PAOLO, *Il consumo di suolo in Italia: 1995-2006*, documento on-line tratto dal sito <http://eddyburg.it>, pp.9
19. BERGER, RONEN, MCLEOD, JOHN, "Incorporating nature into therapy: a framework for practice", *Journal of Systemic Therapies*, n.25, 2006, pp.80-94
20. BERGER, RONEN, Using contact with nature, creativity and rituals as a therapeutic medium with children with learning difficulties: a case study", *Emotional and Behavioural Difficulties*, n.11, 2006, pp.135-146
21. BERTAGNIN, MAURO, *Bioedilizia – Progettare e costruire in modo ecologicamente consapevole*, Edizioni GB, 1996, pp.320
22. BETTINI, VIRGINIO, *Elementi di ecologia urbana*, Torino, Einaudi, 1996, pp.259
23. BIT, EDOARDO, "Dal giardino verticale all'orto in facciata – Studio di sistemi innovativi per l'integrazione fra chiusure edilizie e vegetazione naturale", p.47, in *BIOEDILIZIA ITALIA 2009 – Congresso Nazionale sull'Edilizia Sostenibile – Terza edizione*, Torino, Ed. Environment Park, 2009
24. BIT, EDOARDO, *Dal giardino verticale all'orto in facciata – Sistemi innovativi per l'integrazione fra chiusure edilizie e vegetazione naturale*, Atti del congresso *BIOEDILIZIA ITALIA 2009 – III edizione*, Sessione Poster n.2, Torino, 08/10/2009, pubblicazione on-line al seguente indirizzo: http://www.envipark.com/eeb09/files/Paper%20BI09_3.zip
25. BIT, EDOARDO, et al., *Il progetto dell'interfaccia architettonica – Tecnologie per la definizione della frontiera*, Seminario OSDOTTA 2009, Reggio Calabria, settembre 2009, pp.22 – Documento pubblicato on-line nel sito web dell'Università degli Studi di Reggio Calabria: <http://www.unirc.info/osdotta09/tavoli1-3/Settembre/TAV1/1-FERRARA.pdf>
26. BIT, EDOARDO, GIACOMELLO, ELENA, "L'integrazione fra sistemi di involucro e componenti vegetali per la mitigazione ambientale nel clima Mediterraneo", pp.6, in GERMANÀ, MARIA LUISA (a cura di), *Permanenze e Innovazioni nell'architettura del Mediterraneo – Materiali del VI Seminario OSDOTTA*, 2011 (in corso di pubblicazione)
27. BLANC, PATRICK, *Il bello di essere pianta*, Torino, Bollati Boringhieri editore, 2008, pp.93
28. BLANC, PATRICK, *Le mur vegetal – De la nature a la ville*, Neully sur Seine, Editions Michel Lafone, 2008, pp.191
29. BLASI, CARLO, PRETTO, FRANCESCA, CELESTI-GRAPPO, LAURA, "La watch-list della flora alloctona d'Italia", pp.7-8, in GALASSO, G., GHIOZZI, G., AZUMA, M., BANFI, E., *Le specie alloctone in Italia: censimenti, invasività e piani di azione*, Memorie della Società Italiana di Scienze Naturali e del Museo Civico di Storia Naturale di Milano, Vol.XXXVI, Fascicolo I

30. BOERI STUDIO, "Bosco verticale", pp.72-79, in AA.VV., *P&P – Progetti e paesaggi*, BolognaFiere 2008, Mondadori, Milano, 2008
31. BONESI, LAURA, VASCOTTO, MARIANNA (a cura di), *Specie invasive – Specie aliene invasive in Italia*, Università degli Studi di Trieste – Documento on-line disponibile all'indirizzo <http://www2.units.it/specieinvasive/invasive>
32. BONTE, LEON-HUGO, *Réaliser et entretenir son mur végétal*, Paris, Eyrolles Editeur, 2008, pp.88,*
33. BRETZEL, FRANCESCA, *Terreno: un aspetto trascurato nel verde pubblico*, documento on-line disponibile all'indirizzo <http://culturadelverde.imagelinetwork.com/cura-del-verde/terreno-un-aspetto-trascurato-nel-verde-pubblico-00256.cfm>
34. BUTERA, FEDERICO MARIA, *Dalla caverna alla casa ecologica – Storia del comfort e dell'energia*, Milano, Edizioni Ambiente, 2008, pp.238
35. CAILLE, E., "Le végétal: maison d'été à Dyngby, Danemark", *Moniteur Architecture AMC*, n.126, 2002, pp.104-105
36. CALLEBAUT, VINCENT, "Giungla Urbana – Perfumed Jungle – Hong Kong", *L'Arca*, n.244, febbraio 2009, pp.34-41
37. CALLEBAUT, VINCENT, "Lily pads", *L'Arca*, n.243, gennaio 2009, pp.24-31
38. CAMPO BAEZA, ALBERTO, *Alberto Campo Baeza – Progetti e costruzioni*, Milano, Electa, 2004 (ed. orig. 1999), pp.231
39. CARRIA, FABIO, "Le facciate verdi", pp.59-66, in *Il rinnovo delle facciate – Nuovi ruoli dell'involucro edilizio*, Palermo, Dario Flaccovio Editore, 2009
40. CECCHERINI NELLI, LUCIA, "Schermature per esterno", pp.81-109, in SALA, MARCO (a cura di), *Schermature solari*, Firenze, Alinea, 2000
41. CELESTI-GRAPPOW, L., ALESSANDRINI, A., ARRIGONI, P.V., BANFI, E., BERNARDO, L., BOVIO, M., BRUNDU, G., CAGIOTTI, M.R., CAMARDA, I., CARLI, E., CONTI, F., FASCETTI, S., GALASSO, G., GUBELLINI, L., LA VALVA, V., LUCCHESI, F., MARCHIORI, S., MAZZOLA, P., PECCENINI, S., POLDINI, L., PRETTO, F., PROSSER, F., SINISCALCO, C., VILLANI, M. C., VIEGI, L., WILHALM, T., BLASI, C., "Inventory of the non-native flora of Italy", *Plant Biosystem*, n.143 (2), 2009, pp.386-430
42. CENTRO TEMATICO ACQUE INTERNE E MARINO COSTIERE, *Metodologie analitiche della componente vegetazionale negli ambienti di acque correnti (Macrofite)*, ARPA Toscana, pp.57 – Documento pubblicato on-line all'indirizzo http://www.arpa.vda.it/allegati/Macrofite_2623.pdf
43. CHICCO, GIANFRANCO, "Le mille luci della lattuga di Tokyo", *Wired*, n.2, aprile 2009, pp.33-36
44. CHIESURA, ANNA, "The role of urban parks for the sustainable city", *Landscape and Urban Planning*, n.68, 2004, pp.129-138
45. CHIUPPANI, ANNA ELISA, PREST, TATIANA, *La progettazione del verde per il controllo microclimatico*, Monfalcone, EdicomEdizioni, 2008, pp.119
46. CLÉMENT, GILLES, *Manifeste pour le Tiers paysage*, Paris, Editions Sujet/Objet, 2003, (tr. ital. *Manifesto del terzo paesaggio*, Quodlibet Editore, Macerata, 2005, pp.96)
47. COMELLI, ELENA, "Genetica verde 2.0", *Nòva24 – Insetto settimanale de Il Sole 24 Ore*, n.179, 25/06/2009, pp.12-14
48. COMELLI, ELENA, "Rivoluzione colturale", *Nòva24 – Insetto settimanale de Il Sole 24 Ore*, n.179, 25/06/2009, p.1

49. CORRADO, MAURIZIO (a cura di), *High Green Tech Symposium 2009*, Atti dell'omonimo convegno tenutosi in data 11/09/2009 a Bologna, Bologna, Sistemi Editoriali, 2010, pp.127
50. CORRADO, MAURIZIO (a cura di), *Il Verde Verticale*, Bologna, Sistemi Editoriali, 2010, pp.224
51. CUTRONI, FABIO, "Vector Architects – CR Land Guanganmen Green Technology Showroom", *Materia*, n.63, settembre 2009, pp.88-95
52. DARLINGTON, ALAN, DIXON, MICHAEL, "The biofiltration of indoor air – Air flux and temperature influences the removal of toluene, ethylbenzene, and xylene", *Environmental Science Technology*, n.35, pp.240-246
53. DE FAVERI TRON, FLAMINIA, "Verde verticale", *Ville Giardini*, n.268, anno 1992, pp.90-93
54. DESPOMMIER, DICKSON, *The Vertical Farm – Feeding the world in the 21st century*, New York, St.Martin's Press, pp.320
55. DEVECCHI, MARCO, MERLO, FRANCESCO, RUFFONI, BARBARA, GIORDANO, ROBERTO, LARCHER, FEDERICA, "Ricerche sul verde verticale", *Nemeton*, n.4, settembre 2010, p.84
56. DI, H. F., WANG, D. N., "Cooling effect of ivy on a wall", *Experimental heat transfer*, n.12, 1999, pp.235-245
57. DONATI, CRISTINA, "Architetture nascoste", *Modulo*, n.350, aprile 2009, pp.282-289
58. DUNNETT, NIGEL, KINGSBURY, NOEL, *Planting Green Roofs and Living Walls*, London, Timber Press, 2008, pp.328
59. DUNNETT, NIGEL, KINGSBURY, NOEL, *Toits et murs végétaux*, Parc-Saint Joseph, Editions du Rouergue, 2005, pp., *
60. ENEA, *Rapporto energia e ambiente 2007 – Analisi e scenari*, Roma, 2008, pp.80
61. FABRIS, LUCA MARIA FRANCESCO, *Tecnonatura: progetti per la rivoluzione ambientale*, Santarcangelo di Romagna (RN), Maggioli Editore, 2009, pp.252
62. FILESI, LEONARDO, *Dispense del corso di Botanica – Prima parte*, Università IUAV di Venezia, Facoltà di Architettura, Corso per le lauree specialistiche, Venezia, A.A. 2006-07, pp.36
63. FILESI, LEONARDO, *Dispense del corso di Botanica – Seconda parte*, Università IUAV di Venezia, Facoltà di Architettura, Corso per le lauree specialistiche, Venezia, A.A. 2006-07, pp.83
64. FONTANARI, ENRICO, PATASSINI, DOMENICO (a cura di), *Terraced landscapes of the Alps – Projects in progress*, Venezia, Marsilio, 2008, pp.121
65. GALLO, CETTINA, "Gli spazi aperti urbani", *Edilizia popolare*, n.266, Il trimestre 2000, pp.30-35
66. GAUZIN-MÜLLER, DOMINIQUE, *L'architecture écologique*, Le Moniteur, Paris, 2001, (ed. ital. MORO, MARCO (a cura di), *Architettura sostenibile*, Milano, Edizioni Ambiente, 2003, pp.258)
67. GERI, VINCENZO, *Progettare l'ambiente, progettare nell'ambiente*, Milano, Il Sole 24 Ore/Pirola, 2002, pp.926
68. GIACOMELLO, ELENA, "Verde verticale - L'utilizzo del verde oltre le coperture", *Modulo*, n.349, marzo 2009, pp.154-161
69. GIRAUDO, EZIO, AROSSA, ALBERTO, BOLZACCHINI, PAOLO, *Il piacere dell'orto*, Bra (CN), Slow Food Editore, 2010, pp.256
70. GOTTARD, FERDINANDO, "Jordi Tiò + Fernando Amat – Hotel Casa Camper, Barcellona", *L'architettura naturale*, n.36, settembre 2007, pp.46-49
71. GRAHN, PATRIK, STIGSDOTTER, ULRICA A., "Landscape planning and stress", *Urban Forestry & Urban Greening*, n.2, 2003, pp.1-18

72. GRHC – GREEN ROOFS FOR HEALTHY CITIES, *Introduction to Green Walls – Technology, Benefits & Design*, pubblicazione on-line disponibile all'indirizzo <http://www.greenroofs.org>, 2008, pp.38
73. GROULT, JEAN-MICHEL, *Créer un mur végétal en intérieur et en extérieur*, Paris, Editions Eugen Ulmer, 2008, pp.192, *
74. HERZOG, THOMAS, KRIPPNER, ROLAND, LANG, WERNER, *Atlante delle facciate*, Torino, UTET Professionale S.r.l., 2005, pp.320
75. HOYANO, AKIRA, "Climatology uses of plants for solar control and the effects on thermal environment of a building", *Energy and Buildings*, n.11, 1988, pp.181-199
76. IAMONICO, DUILIO, "La flora esotica d'Italia", *Atti del I Convegno del Forum Natura Mediterraneo*, Selva di Paliano (FR), 20-21/03/2009
77. ISTITUTO LINA BO & P.M. BARDI, *Lina Bo Bardi*, Milano, Charta, 1994, pp.333
78. IP, K., LAM, M., MILLER, M., "Bioshaders for sustainable buildings", in *CIB World Building Congress 2004*, 02-07/05/2004, Toronto, Ontario, Canada
79. IPCC, *Climate Change 2007: Synthesis Report – Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment*, Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)], Geneva, IPCC, 2008, pp.104
80. JODIDIO, PHILIP, *Green architecture now!*, Cologne, Taschen 2009, pp.416
81. JOHNSTON, JACKLYN, NEWTON, JOHN, Mayor of London, *Building Green – A guide to using plants on roof, walls and pavements*, London, Greater London Authority City Hall, 2004, *
82. KALTENBACH, FRANK, "Living Walls, Vertical Gardens – From the Flower Pot to the planted System Façade", *Detail*, n.12, 2008, pp.1454-1466
83. KANG, JIAN, "Paesaggio sonoro e comfort acustico negli spazi urbani aperti", pp.55-62, in ROGORA, ALESSANDRO, DESSI, VALENTINA (a cura di), *Il comfort ambientale negli spazi aperti*, Monfalcone, EdicomEdizioni, 2005
84. KANG, JIAN, ZHANG, MEI, "Acoustic simulation and soundscape in urban squares", *Proceedings of the 10th International Congress on sound and vibration*, Stockholm, Sweden, luglio 2003, *
85. KUO, FRANCES E., SULLIVAN, WILLIAM C., "Environment and crime in the inner city – Does vegetation reduce crime?", *Environment and Behavior*, n.33, 2001, pp.343-367
86. KURANISI, MIKIO, "I paesaggi di Mindscape", *Nemeton*, n.1, aprile 2009, pp.52-53
87. LAM, M., IP, K., MILLER, M., "Development of bioshaders for office buildings in the United Kingdom", *CIB Student Chapters International Symposium, Innovation in Construction and Real Estate*, The Hong Kong Polytechnic University, settembre 2003
88. LAMBERTINI, ANNA, "Artificial Wilderness. Patrick Blanc's Vertical Gardens", *A+U*, n.463, aprile 2009, pp.48-53
89. LAMBERTINI, ANNA, "Giardini verticali e metamorfosi urbane", pp.213-228, in CONFORTI, PAOLA, NADDEO, DARIO PIETRO (a cura di), *Parma bellezza capitale*, Comune di Parma – Agenzia per la Qualità Urbana e Architettura, 2008
90. LAMBERTINI, ANNA, "Giardini verticali. Sperimentazioni oltre la terza natura", *Atti del Seminario Verde verticale – Progettazione e sistemi*, Bologna, 27 marzo 2009
91. LAMBERTINI, ANNA, *Giardini in verticale*, Firenze, Verbavolant, 2007, pp.240
92. LE CORBUSIER, *Maniera di pensare l'urbanistica*, Roma, Laterza, 1997, pp.206 (ed. orig. *Manière de penser l'urbanisme*, Editions Gonthier, Paris, 1963)

93. LONGHI, GIUSEPPE, "Vegetazione – Aumentare l'autosostenibilità dell'edificio", pp.101-103, in *Linee guida per una progettazione sostenibile*, Roma, Officina edizioni, 2003
94. LORENZETTI, R., "Il suolo nell'ambiente urbano", Atti del *I Convegno del Forum Natura Mediterraneo*, Selva di Paliano (FR), 20-21/03/2009
95. MALORGIO, FERNANDO, INCROCCI, LUCA, DIMAURO, BIAGIO, PARDOSSI, ALBERTO (a cura di), *La tecnica della coltivazione fuori suolo*, Progetto interregionale "Orticoltura" 2001-2004, Sottoprogetto "Colture protette", pp.142
96. MARIANI, LUIGI, "Clima urbano e alberi: risorse e limiti", pp.7, Atti della giornata di studio intitolata *La vita degli alberi in città – Un equilibrio instabile*, Milano, Triennale di Milano, 28/09/2009
97. MASOTTI, SIMONE, "Soluzioni verdi", *Arketipo*, n.21, marzo 2008, pp.112-113
98. MCQUAID, MATILDA, *Shigeru Ban*, London, Phaidon, 2003, pp.240
99. MINGUZZI, GIANLUCA, *Architettura sostenibile – Una scelta responsabile per uno sviluppo equilibrato*, Milano, Skira Editore, 2008, pp.287
100. MITCHELL, RICHARD, PAPHAM, FRANK, "Effect of exposure to natural environment on health inequalities: an observational population study", *Lancet*, n.372, 2008, pp.1655-1660
101. MIZZONI, GIULIO, "Skyland Vertical Farm: modello di agroecosistema energetico", Atti del workshop *VERDE HIGH-TECH*, Padova, 10 settembre 2009
102. MONTACCHINI, ELENA, BOUVET, DANIELA, *La vegetazione nel progetto – Uno strumento per la scelta delle specie vegetali*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2007, pp.144
103. MOROZZI, CRISTINA, "Boeri Studio - Il terzo paesaggio", pp.62-71, in AA.VV., *P&P – Progetti e paesaggi*, Bologna Fiere 2008, Mondadori, Milano, 2008
104. MOROZZI, CRISTINA, "Un modo di essere", *Interni*, n.573, anno 2007, pp.34-37
105. MUSACCHIO, ANTONIO, TATANO, VALERIA, "Superfici naturalizzate", pp.105-112, in BARUCCO, MARIAANTONIA, TRABUCCO, DARIO, (a cura di), *ARCHITETTURA_ENERGIA – Un'indagine sul complesso rapporto tra la professione dell'architetto e la questione energetica*, Monfalcone, EdicomEdizioni, 2007
106. NALI, CRISTINA, "Le piante e l'inquinamento dell'aria", *L'architettura naturale*, n.1, giugno 1998, pp.53-55
107. NIERI, MARCO, *Bioenergetic Landscape – La progettazione del giardino terapeutico bioenergetico*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2009, pp.256
108. NOWAK, DAVID J., CRANE, DANIEL E., STEVENS, JACK C., "Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States", *Urban Forestry & Urban Greening*, n.4, 2006, pp.115-123
109. OKE, TIM R., *Boundary layer climates*, Londra, Methuen & Co. Ltd., 1978, pp.371
110. PAGANIN, GIANCARLO (ed. ital. a cura di), *Guida alle tecniche di costruzione – Volume II: Strutture e involucro*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2006, pp.330
111. PAGLIARI, FRANCESCO, "Caixa Forum – Madrid, Spain – Herzog & De Meuron", *The Plan*, n.26, maggio 2008, pp.72-89
112. PAPADAKIS, G., TSAMIS, P., KYRITSIS, S., "An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buildings", *Energy and buildings*, n.33, 2001, pp.831-836
113. PAVARINI, STEFANO, "Il grande cono – Vulcania Theme Park", *L'Arca Plus*, n.46, III trimestre 2005, pp.52-61

114. PIERUCCINI, PIERLUIGI, *Il sistema climatico di Wladimir Köppen*, Università degli Studi di Siena, Laurea in Scienze Geologiche, Corso di Geografia Fisica, documento on-line disponibile all'indirizzo http://www.smfn.unisi.it/smfn_lauree/matdid/1673.pdf, pp.66
115. PIGNATTI, SANDRO, *Flora d'Italia*, Opera in 3 volumi, Bologna, Edagricole, 2002 (ed. orig. 1982), pp. tot.2302
116. POLI, TIZIANA, "Architettura ...in vegetale - Non solo moda", *Modulo*, n.320, aprile 2006, pp.274-280
117. POLI, TIZIANA, "Pelle verde", *Modulo*, n.319, marzo 2006, pp.164-172
118. POLI, TIZIANA, "Sottosistema in evoluzione", *Arketipo*, n.21, marzo 2008, pp.110-111
119. POLI, TIZIANA, "Verde in quota", *Modulo*, n.324, settembre 2006, pp.786-790
120. POLI, TIZIANA, FIORI, MATTEO, "La tecnologia "verde"", p.114-115, in AA.VV., *Una nuova stagione per l'housing*, Milano, BE-MA Editrice, 2009
121. POLI, TIZIANA, FIORI, MATTEO, GATTONI, LUCA, ZAPPALÀ, DANIELE, DAGNA, PARIDE, "Il respiro della città. L'influenza dell'involucro verde sulle variazioni microclimatiche nell'area metropolitana milanese," pp.479-488, in *Artec, L'involucro edilizio*, atti del convegno ARTEC 2007 – Ancona 22-24/11/2007
122. POZZI, CARLO, *Ibridazioni architettura/natura*, Roma, Meltemi editore, 2003, pp.118
123. REDAZIONALE di *Cityproject*, "Verde Verticale", *Cityproject*, n.1, gennaio 2010
124. REDAZIONALE DI *Detail*, "Zahnklinik in Otake", *Detail*, n.12, 2006, pp.1406-1408
125. REDAZIONALE DI *Edilizia Popolare*, "Un giardino verticale in via Laurentina", *Edilizia Popolare*, Il trimestre 2000, pp.36-37
126. REDAZIONALE di *FOCUS*, "Il giardino verticale", *Focus*, n.179, settembre 2007, pp.72-73
127. REDAZIONALE DI *L'Arca*, "Il verde laminato", *L'Arca*, n.166, 2010, pp.70-73
128. REDAZIONALE DI *The Architectural Review*, "Vertical garden city", *The Architectural Review*, n.1137, 1991, pp.38-41
129. REDAZIONALE DI *The architectural review*, "Vertical garden city", *The architectural review*, n.1137, novembre 1991, pp.38-41
130. REDAZIONALE DI *The Plan*, "Nicolas G. Hayek Center – Shigeru Ban Architects", *The Plan*, n.27, giugno-luglio 2008, pp.110-119
131. REDAZIONALE DI *The Plan*, "Slowecture M – Tennis Dome Miki City, Hyogo – Shuhei Endo Architect Institute", *The Plan*, n.27, giugno-luglio 2008, pp.122-132
132. RICCHI, DARIO (a cura di), "Cities from Scratch – Intervista a Mitchell Joachim", *Area*, n.99, luglio-agosto 2008, pp.160-163
133. RICHARDSON, PHYLLIS, *XS Green: big ideas, small buildings*, London, Thames & Husdon, 2007, pp.224
134. ROGORA, ALESSANDRO, "Eco Buildings in Hot Climate – EQUILIBRIO TRA ILLUMINAZIONE ED APPORTI SOLARI PER IL COMFORT VISIVO", Atti del convegno *In Case Of Sun*, Bolzano, Libera Università di Bolzano, 29 aprile 2010
135. ROGORA, ALESSANDRO, DESSÌ, VALENTINA (a cura di), *Il comfort ambientale negli spazi aperti*, Monfalcone, EdicomEdizioni, 2005, pp.152
136. ROMEO, MONICA, VALERIO, LUCIA, "Giardini verticali", *Ville Giardini*, n.6, anno 2004, pp.146-151
137. ROTA, ITALO, "La casa cangiante", *Abitare*, n.486, ottobre 2008, pp.109-121

138. RUROS – REDISCOVERING THE URBAN REALM AND OPEN SPACES, *Progettare gli spazi aperti nell'ambiente urbano: un approccio bioclimatico*, Edito da: C.R.E.S. – Centre for Renewable Energy Sources, 2004, pp. 61 (tr. it. a cura di SCUDO, GIANNI, DESSÌ, VALENTINA, ROGORA, ALESSANDRO)
139. SANTI, VALENTINA (a cura di), *Gli strumenti normativi inerenti l'uso del verde in copertura e in facciata*, Università IUAV di Venezia, ArTec – Archivio delle Tecniche e dei materiali per l'architettura e il disegno industriale, documento on-line disponibile all'indirizzo <http://www.iuav.it/Ricerca1/centri-e-l/ARTEC/sostenibil/PROGETTARE/Normative-di-riferimento-per-le-supe.pdf>, pp.19
140. SATTA, ELISA, INDERST, CHRISTIAN, "La sfida del verde verticale", *Nemeton*, n. di anteprima, ottobre 2008, pp.16-17
141. SCHITTICH, CHRISTIAN (a cura di), *Involucri edilizi - Progetti, strati funzionali, materiali*, Monaco, Edizioni DETAIL, 2003, pp.196
142. SCHLEIFER, SIMONE, *Edificios espectaculares*, Köln, Taschen, 2007, pp.382
143. SCUDO, GIANNI, "La vegetazione domestica e il controllo del microclima", *L'architettura naturale*, n.1, giugno 1998, pp.25-35
144. SCUDO, GIANNI, LICATA, SIMONETTA, "Il verde come elemento del progetto", *L'architettura naturale*, n.1, giugno 1998, pp.18-19
145. SCUDO, GIANNI, OCHOA DE LA TORRE, JOSÉ MANUEL, *Spazi verdi urbani – La vegetazione come strumento di progetto per il comfort ambientale negli spazi abitati*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2003, pp.223
146. SEELAND, KLAUS, DUBENDORFER, SABINE, HANSMANN, RALF, "Making friends in urban Zurich's urban forest and parks: The role of public green space for social inclusion of youths from different cultures", *Forest Policy and Economics*, n.11, 2009, pp.10-17
147. SHAN, YIN, JINGPING, CAI, LIPING, CHEN, ZHEMIN, SHEN, XIAODONG, ZOU, DAN, WU, WENHUA, WANG, "Effects of vegetation status in urban green spaces on particle removal in a street canyon atmosphere", *Acta Ecologica Sinica*, n.27, 2007, pp.4590-4595
148. SHARP, RANDY, "Green walls in Vancouver", p.7, in atti del *Fifth Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference*, Minneapolis, 29 aprile-01maggio 2007
149. SICURELLA, ANNIBALE, *Progettare il verde - Tecniche e soluzioni*, Napoli, Sistemi Editoriali, 2003, pp.187
150. SILVESTRINI, GIANNI, "Interazioni energetiche tra verde e ambiente costruito", *L'architettura naturale*, n.1, giugno 1998, pp.20-24
151. SINOPOLI, NICOLA, "Costruire sotto terra", *Rassegna*, n.87, giugno 2007, pp.160-161
152. SINOPOLI, NICOLA, TATANO, VALERIA (a cura di), *Sulle tracce dell'innovazione – Tra tecniche e architettura*, Milano, Franco Angeli, 2002, pp.279
153. SIRAGUSA, LUCA (a cura di), *Prestazioni energetiche dei sistemi di inverdimento verticale*, Università IUAV di Venezia, ArTec – Archivio delle Tecniche e dei materiali per l'architettura e il disegno industriale, documento on-line disponibile all'indirizzo <http://www.iuav.it/SISTEMA-DE/Archivio-d/approfondi/progettare/00-indice-energetiche.pdf>, pp.40
154. STEC, W.J., VAN PAASSEN, A.H.C., MAZIARZ, A., "Modelling the double skin facade with plants", *Energy and buildings*, n.37, 2005, pp.419-427
155. STRANO, CARMELO, "Patrick Blanc è un'artista? - Vegetal Walls", *L'Arca*, n.223, marzo 2007, pp.76-79

156. SULLIVAN, WILLIAM C., KUO, FRANCES E., DEPOOTER, STEPHEN F., "The fruit of urban nature - Vital neighborhood spaces ", *Environment and Behavior*, n.36, 2004, pp.678-700
157. TAKANO T., NAKAMURA, K., WATANABE, M., "Urban residential environments and senior citizens' longevity in megacity areas: the importance of walkable green spaces", *J. Epidemiol. Community Health*, n.56, 2002, pp.913-918
158. TATANO, VALERIA (a cura di), "Involucri vegetali", *Costruire*, n.307, dicembre 2008, pp.63-70
159. TATANO, VALERIA (a cura di), *VERDE: naturalizzare in verticale*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli Editore, 2008, pp.229
160. TOMAŠEVIĆ M., VUMKIROVIĆ Z., RAJSIĆ S., TASIĆ M., STEFANOVIĆ B., "Characterization of trace metal particles deposited on some deciduous tree leaves in an urban area", *Chemosphere*, n.61, 2005, p.753-760
161. TUCCI, FABRIZIO, "Sistemi tecnologici per la schermatura bioclimatica dall'irraggiamento solare", pp.225-273, in *Involucro ben temperato – Efficienza energetica ed ecologica in architettura attraverso la pelle degli edifici*, Firenze, Alinea, 2006
162. ULRICH, ROGER S., "View through a window may influence recovery from surgery", *Science*, n.224, 1984, pp.420-421
163. UNGERS, OSWALD MATHIAS, KLOTZ, HEINRICH, *Oswald Mathias Ungers: 1951-1984. Bauten und Projekte*, Braunschweig, Vieweg, 1986, pp.274
164. VERBAKEL, DERMAN, VERBAKEL, WARD, "Image Quality Plan per Bonheiden", *L'architettura naturale*, n.38, marzo 2008, pp.2-9
165. VERDEROSA, FEDERICO, "Ambasz, Dongiovanni, Roberto – Resort Nova Yardinia, Taranto", *L'architettura naturale*, n.36, settembre 2007, pp.34-41
166. VERONESE, MARIO, "Ciclo dell'acqua e fitodepurazione nell'edilizia sostenibile", *Atti del corso ANAB di Architettura naturale (modulo A)*, 2009, pp.106
167. WANG, G., JIANG, G., ZHOU, Y., LIU, Q., JI, Y., WANG, S., CHEN, S., LIU, H., "Biodiversity conservation in a fast-growing metropolitan area in China: a case study of plant diversity in Beijing", *Biodiversity & Conservation*, n.16, 2007, pp.4025-4038
168. WELLER, BERNHARD, REXROHT, SUSANNE, "Material wirkt – Neue Entwicklungen an der Fassade", *Detail*, n.11, 2005, pp.1292-1298
169. WELLS, NANCY M., EVANS, GARY W., "Nearby Nature: A Buffer of life stress among rural children", *Environment and Behavior*, n.35, 2003, pp.311-330
170. WINES, JAMES, *Green architecture*, Köln, Taschen, 2008, pp.240
171. WISMER, SUSAN, *Living Wall, a feasibility study for the SLC – Final report ETS 250*, University of Waterloo Press, 2002,*
172. ZAIYI, LIAO, NIU, J. L., *Study on thermal function of ivy-covered walls*, 6th International IBPSA Conference, 1999
173. ZAMBELLI, MATTEO, "Suolo prismatico", *Arketipo*, n.21, marzo 2008, pp.56-67
174. ZANNONI, GIOVANNI, "I limiti della composizione architettonica tra possibilità tecnologiche e aspetti di sostenibilità", pp.105-119, in GASPARI, JACOPO (a cura di), *Sfide per una dimensione sostenibile del costruire – Contributi sull'uso dell'energia in architettura*, Monfalcone (GO), Edicom Edizioni, 2009

Normativa tecnica e legislazione

175. D.P.R. del 6 giugno 2001, n. 380 – *Testo unico delle disposizioni legislative e regolamenti in materia di edilizia*
176. D.Lgs. del 19 agosto 2005, n. 192 – *Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia*
177. D.Lgs. del 29 dicembre 2006, n. 311 – *Disposizioni correttive ed integrative al D.Lgs. agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia*
178. UNI 11235:2007, *Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione, il controllo e la manutenzione di coperture a verde*
179. UNI 8290-1:1981, *Edilizia residenziale – Sistema Tecnologico – Classificazione e terminologia.*
180. UNI 8369-1:1988, *Edilizia – Chiusure verticali – Classificazione e terminologia*

Tesi di Dottorato di Ricerca

181. FINOCCHIARO, SEBASTIANO, *Architetture verdi – Elementi vegetali di integrazione per i sistemi di involucro. Applicabilità e applicazioni in ambiente mediterraneo*, Tesi di Dottorato di Ricerca, tutor Pastura, Francesco, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, Dottorato in Strategie per il Controllo e la Progettazione dell'Esistente, XXI ciclo, 2009
182. GORTAN, EMANUELLE, *Misura dello stato idrico di Fraxinus ornus L. quale biomonitor dell'aridità ambientale in siti diversi del carso triestino*, Tesi di Dottorato di Ricerca, tutor Tretiach, Mauro, Università degli Studi di Trieste, Dottorato in Metodologie di biomonitoraggio della alterazione ambientale, XX ciclo, 2008, pp.112
183. OLIVIERI, MICHELE, *SUPERFICI VEGETALI APPLICATE ALL'INVOLUCRO EDILIZIO per il controllo microclimatico dell'ambiente costruito*, Tesi di Dottorato di Ricerca, tutor Zaffagnini, Theo, Università degli Studi di Ferrara, Dottorato in Tecnologia dell'Architettura, XXII ciclo, 2009, pp.422
184. STAFFOLANI, LAURA, *Studio ecologico del potenziale fitoallergenico nell'ecosistema urbano dell'Italia centrale*, Tesi di Dottorato di Ricerca, tutor Kruniča, Hruska, Università degli Studi di Camerino, Dottorato in Scienze e tecnologie per l'ambiente, la natura e la salute dell'uomo, XIX ciclo, 2007, pp.101

Tesi di Laurea

185. ARIAUDO, FEDERICA, *Il verde parietale e i suoi aspetti architettonici e fisico-tecnici. Esempio di applicazione alla Cascina San Luigi di Stupinigi*, Tesi di Laurea, Rel. Tamagno, Elena, Fracastoro, Gian Vincenzo, Pistone, Giuseppe, Politecnico di Torino, Il Facoltà di Architettura, Corso di Laurea specialistica in Architettura (Costruzione), 2006, *

186. BELLOMO, ANTONELLA, *Una pelle verde per l'involucro edilizio*, Tesi di Laurea, Rel. Scudo, Gianni, Politecnico di Milano, Corso di Laurea in Architettura, A.A. 1996-1997, *
187. BRACHET COTA, LAURA, PEOLA, ELENA, *L'idroponica in verticale: la sostenibilità ambientale mediante l'utilizzo di una parete verde*, Tesi di Laurea, Rel. De Paoli, Orio, Montacchini, Elena, Politecnico di Torino, Il Facoltà di Architettura, Corso di Laurea in Architettura, A.A. 2007-2008, *
188. CASALE, GIULIA, FRONGIA, ALESSIA, *Pareti verdi tra tradizione e innovazione*, Tesi di Laurea, Rel. De Paoli, Orio, Montacchini, Elena, Politecnico di Torino, Il Facoltà di Architettura, Corso di Laurea in architettura, A.A. 2006-2007, *
189. ENRIETTO, ELISA, FRA, ELENA, *Il verde verticale. Tecnologia e immagine*, Tesi di Laurea, Rel. Bazzanella, Liliana. Politecnico di Torino, I Facoltà di Architettura, Corso di Laurea in Architettura, A.A. 2008-2009, *
190. RAIMONDO, DANIELA, *Pareti verdi: qualcosa in più oltre il fattore estetico. Esempi architettonici, tecniche costruttive e comportamento fisico-tecnico*, Tesi di Laurea, Rel. Corgnati, Stefano Paolo, Robiglio, Matteo, Politecnico di Torino, Il Facoltà di Architettura, Corso di Laurea specialistica in Architettura (Costruzione), 2008, *
191. ZAVARISE, STEFANIA, *Verde parietale: linee guida alla progettazione*, Tesi di Laurea, Rel. Scudo, Gianni, Correl. Bellomo, Antonella, Politecnico di Milano, Corso di Laurea in Architettura, A.A. 2001-2002, *

Sitografia

Informazione e ricerca sugli involucri a verde, integrazione natura/architettura, sostenibilità ³

- <http://www.aivep.org>

Sito web ufficiale dell'AIVeP: Associazione Italiana Verde Pensile.

- <http://www.livingroofs.org>

Associazione inglese per la promozione, informazione e ricerca sul verde pensile e verticale.

- <http://www.worldgreenroof.org>

WGRIN - World Green Roof Infrastructure Network.

- <http://www.greenroofs.org>

Associazione nordamericana *Green Roofs for Healthy Cities*.

- <http://www.majaformazione.net>

MAJA, associazione dedicata alla formazione di tecnici e operatori del verde e dell'architettura naturale.

³ Ultima visita ai siti web di seguito citati: venerdì 18 febbraio 2011.

- <http://www.verticalgardenpatrickblanc.com>

Sito ufficiale di Patrick Blanc, ricercatore botanico francese, inventore della tecnologia per il *Mur Vegetal*.

- <http://www.culturadelverde.it>

Sito per la promozione e la diffusione nell'utilizzo del verde.

- <http://www.genitronsviluppo.com>

Web-magazine dedicato allo sviluppo sostenibile, alla bio-architettura e all'*eco-design*.

- <http://www.verticalfarm.com>

Sito ufficiale del movimento *Vertical Farming*. Vengono illustrati gli intenti del movimento e vi sono pubblicati numerosi esempi progettuali.

- <http://www.archgreen.info>

Spazio virtuale dedicato allo studio di sistemi per l'integrazione fra chiusure edilizie (superiori e verticali) e vegetazione.

- <http://www.muroverde.it>

Sito ufficiale del progetto denominato "Muro Verde di Porta Ticinese a Milano".

- <http://www.vegitecture.net>

Veg.itecture (abbreviazione della locuzione inglese *Vegetated Architecture*) è uno spazio web dedicato ad argomenti quali coperture a verde, pareti vegetate, Vertical Farming e vegetazione urbana.

- <http://www.livingwallart.com>

Sito web che si occupa esclusivamente di Verde Verticale, in tutte le sue possibili declinazioni.

- <http://www.lushe.com.au>

Sito dedicato alla tecnologia costruttiva di chiusure verticali vegetate e muri vegetali.

- <http://www.insideurbangreen.org>

Spazio virtuale inerente alle varie forme d'ibridazione tra vegetazione e architettura urbana.

- <http://www.urbanarbolismo.es>

Urbanarbolismo è un'«impresa (spagnola, *NdA*) che opera ai fini dell'integrazione fra architettura e natura». Tale azienda si occupa sia di progettazione edilizia che di realizzare e brevettare sistemi tecnologici ospitanti vegetazione naturale; il sito contiene anche un *blog* interessante, sempre aggiornato in merito a sistemi e progetti provenienti da ogni parte del mondo.

Siti aziendali e brevetti per l'inverdimento parietale ⁴

- <http://www.verdecrea.com>

Sito web della ditta Verdecrea, partner italiano di Patrick Blanc e detentore per l'Italia dei diritti di commercializzazione del brevetto *Mur Vegetal*.

- <http://www.artaqua.de/it>

Ditta Art Aqua, produttrice del sistema *GrüneWand* per la realizzazione di chiusure vegetate da interni finalizzate all'umidificazione naturale dell'aria-ambiente.

- <http://www.optigruen.it>

Sito italiano della ditta tedesca Optigrün, produttrice di sistemi per verde pensile e verticale.

- <http://www.copijn.nl>

Studio olandese Copijn di architettura del paesaggio, detentore del brevetto *Wonderwall*.

- <http://www.greenwall.fr>

Portale della ditta francese Greenwall s.a.s., produttrice del brevetto *Végétalis*.

- <http://www.peverelli.it/verdeverticale/verde.asp>

Ditta Peverelli, partner italiano di Greenwall s.a.s.

- <http://www.reviplant.it>

Sito della ditta italiana Reviplant, produttrice di tecnologie per pareti e tetti verdi.

- <http://www.greenwall.com.au>

Sito di Greenwall Company, azienda australiana che produce e commercializza una grande varietà di superfici verticali naturalizzate.

- <http://www.g-sky.com>

Portale della ditta americana G-Sky, produttrice di giardini, tetti e pareti verdi.

- <http://www.canevaflor.com>

Portale della ditta francese Canevaflor che produce la gamma di sistemi denominati *Carac-terre* per pareti verdi (chiusure vegetate e rivestimenti vegetali) da esterni, da interni, o trasportabili.

- <http://www.mobilane.eu>

Mobilane, azienda detentrica del brevetto *Green Screen* per pareti autoportanti piantumate a rampicanti. La ditta possiede partner in praticamente tutti gli stati europei e in Cina.

- <http://www.poliflor.net>

Ditta Poliflor, azienda italiana che produce un'ampia varietà di sistemi per verde verticale.

⁴ Ultima visita ai siti web di seguito citati: venerdì 18 febbraio 2011.

- <http://www.greenscreen.com>

Sito della ditta americana Greenscreen che produce l'omonimo brevetto per pareti autoportanti piantumate a rampicanti.

- <http://www.giardininverticale.com>

Sito web dedicato al brevetto *GiardinInVerticale*, prodotta dall'azienda italiana Verde Profilo.

- <http://www.agreenroof.com>

Portale della ditta americana Green Living Technologies, produttrice di tetti verdi e sistemi per verde verticale.

- <http://www.elteasygreen.com>

Sezione della ditta americana Elevated Landscape Technologies, dedicata ai sistemi per pareti o tetti verdi da loro prodotti, denominati *ELT Easy Green*.

- <http://www.elmich.com/elmich/vgm/about.php>

Pagina web dedicata al brevetto *VGM Vertical Greening Module*, prodotto dalla collaborazione tra le ditte Elmich e Tournesol.

- http://www.tournesolworks.com/products/gr_vgm.asp

Pagina web dedicata al brevetto *VGM Vertical Greening Module*, prodotto dalla collaborazione tra le ditte Elmich e Tournesol.

- <http://www.naturewall.eu>

Sito dedicato al sistema per l'inverdimento parietale *Naturewall*.

- <http://www.daku.it>

Daku, ditta che produce il sistema brevettato *Vertical* per facciate verdi, e diverse tipologie di sistemi per coperture a verde.

- <http://www.jakob.ch>

Jakob, azienda svizzera produttrice di sistemi a cavi tesati in acciaio inox per la realizzazione di rivestimenti a verde.

- <http://www.promovas.it>

Sito della ditta Promovas, produttrice di «soluzioni per l'edilizia», tra le quali il brevetto *Greenover* per il rivestimento verde parietale.

- <http://www.v-ter.com>

Ditta Vivers Ter che produce il brevetto *Babylon* per inverdimento parietale e fitodepurazione integrata.

- <http://www.fytogreen.com.au>

Sito dell'azienda australiana Fytogreen che produce il brevetto *Fytowall* per la realizzazione di pareti verdi.

- <http://www.geomoss.com>

Geomoss, ditta francese produttrice dell'omonimo brevetto per l'inverdimento di pareti edilizie verticali.

- <http://www.naturaire.com>

Ditta nordamericana Nedlaw che produce il brevetto *NEDLAW Living Walls* per pareti vegetate con sistema di depurazione-aria integrato. Il presidente della Nedlaw è il Dr. Alan Darlington, ricercatore che teorizzò e realizzò il brevetto BioWall per la depurazione dell'aria tramite chiusura verticale vegetata.

- <http://www.sempergreenvertical.com>

Ditta olandese Sempergreen, che produce l'omonimo brevetto per la creazione di chiusure verticali inverdite.

- <http://www.wallup.it>

Sito di *Wall Up*: sistema "puntuale" per l'inverdimento di pareti edilizie verticali.

- <http://www.ilcantieresrl.it>

Pagina ufficiale del sistema *South Face – Verdeverticale* per l'inverdimento "puntuale" di pareti edilizie verticali. Sistema ideato dall'architetto Massimo Iosa Ghini e prodotto dalla ditta iLCANTIERE.

- <http://www.tecology.it>

Sito di Tecology, ditta italiana che produce il sistema *6.sesto punto* per la realizzazione di pareti ventilate piantumate a prato.

- <http://www.optimagiardinipensili.it>

Sito web dell'azienda italiana Optima, che commercializza due diversi sistemi per la realizzazione di pareti verdi, sia da esterno che indoor.

- <http://www.antologia.com>

Azienda Antologia di Burago Molgora (MB), produttrice del sistema *Giardini verticali – Sfagno*.

- <http://www.malegori.com>

Malegori di Monza (MB): ditta che produce il sistema denominato *Il muro verde*.

- <http://www.biotechure.uk.com>

Ditta inglese BioTecture Ltd. Produce il brevetto *BioWall* di chiusura vegetata modulare.

- <http://www.archiverde.it>

Ditta Archiverde, produttrice del sistema *The Archi Wall* per la realizzazione di pareti a verde.

- <http://www.sundaritalia.com>

Sundar, azienda che commercializza l'omonimo sistema per l'inverdimento parietale sia da esterni che indoor.

- <http://www.ustatic.com.ar>

Sito dell'azienda argentina Ustatic, produttrice del sistema *Grasswall* per la realizzazione di pareti verdi idroponiche.

- <http://www.schiavello.com.au/verticalgarden>

Sezione dal sito web della ditta australiana Schiavello, dedicata al sistema "puntuale" per l'inverdimento parietale denominato *vertical garden*.

- <http://www.greenovergrey.com>

Sito della ditta Green Over Grey, che produce l'omonimo sistema per la realizzazione di pareti verdi continue.

- <http://www.ceracasa.com>

Ceracasa, produce il sistema modulare per l'inverdimento parietale denominato *LIFEWALL*.

- <http://www.tecverde.it>

Sito dedicato al sistema *Tecverde* per la realizzazione di pareti vegetate impiegabili sia esternamente che all'interno.

- <http://www.terrascreen.com>

Sistema modulare e industrializzato per interni *TerraScreen*.

- <http://www.verticalgreen.eu>

Azienda francese che produce oggetti di design integranti vegetazione naturale.

- <http://www.verticalgardendesign.com>

LAR/MSA è uno studio svedese di architetti del paesaggio che si occupa della progettazione e realizzazione di muri vegetali che utilizzano del feltro sintetico come substrato.

- <http://www.greenfortune.com>

Greenfortune è un'azienda con base in Svezia ma presente in molte parti del mondo: tale azienda possiede il brevetto del sistema *Plantwall*, che utilizza del substrato in feltro sintetico come base per la crescita dei vegetali.

- <http://www.brandmeier.de>

Brandmeier, ditta tedesca produttrice di sistemi metallici: alcuni di questi sono dedicati al rivestimento vegetale.

- <http://www.tecnoimage.it>

L'azienda italiana Tecnoimage produce il sistema *Greenover* (composto da una rete in fibra di vetro e resine poliesteri termoindurenti) per rivestimenti a verde.

- <http://www.decorcable.com>

Carl Stahl DécorCable: ditta statunitense specializzata nella realizzazione di sistemi metallici (grigliati e a cavi tesati) per il rivestimento vegetale.

- <http://newsite.geoplast.it/ita/verde/wall-y>

Geoplast produce il sistema brevettato modulare *Wall-y* per rivestimenti a verde.

- <http://www.designeringsrl.com>

Designering, ditta produttrice di sistemi metallici. Tale azienda produce anche la linea *Unica Green* per l'inverdimento parietale.

- <http://www.s3i.co.uk>

S3i – Stainless Steel Solutions, azienda inglese produttrice di sistemi metallici: alcuni di questi sono dedicati al rivestimento a verde.

- <http://www.jakob.ch>

Jakob, ditta svizzera produttrice di sistemi a cavi tesati in acciaio inox per rivestimenti a verde.

- <http://www.cantieriverdi.it>

Sito web di Cantieri Verdi, ditta che si pone «l'obiettivo di diffondere servizi innovativi nel verde ornamentale, con particolare attenzione alla sostenibilità ambientale». Cantieri Verdi ha ideato il sistema *Totem Vegetale* per la realizzazione di orti verticali in auto-costruzione.

CONTATTI

Edoardo Bit architetto

mobile: **(+39) 347.62.11.463**

e-mail: [**edoardobit@tiscali.it**](mailto:edoardobit@tiscali.it)