



# Università degli Studi di Ferrara

## DOTTORATO DI RICERCA IN "SCIENZE DELL'INGEGNERIA"

CICLO XXVII

COORDINATORE Prof. Trillo Stefano

CONSERVAZIONE, SOSTENIBILITA' E RESILIENZA DEI CENTRI STORICI:  
IL COMUNE DI ARSITA (TE) E  
LA CHIESA DI SANTA MARIA DELLE GRAZIE A PETTINO (AQ)

Settore Scientifico Disciplinare ICAR/08

### **Tutore**

Prof. Tralli Antonio Michele

### **Dottorando**

Dott. Gambatesa Teresa

---

(firma)

---

(firma)

### **Cotutore esterno**

Dr. Indirli Maurizio

---

(firma)

Anni 2012/2014





## Ringraziamenti

*Rivolgo sentiti ringraziamenti ai tutori, il Prof. Antonio Michele Tralli e il Dr. Maurizio Indirli, che mi hanno consentito di approfondire i temi della Conservazione, della Sostenibilità e della Resilienza dei Centri Storici, affrontati nella presente tesi. Sono particolarmente grata al Dr. Maurizio Indirli per l'incoraggiamento che mi ha dato nel corso di questi anni, per l'interesse con il quale ha seguito l'elaborazione della tesi e per l'attenzione che ha rivolto ai contenuti che saranno di seguito presentati.*

*Ringrazio il network accademico ANDROID (Academic Network for Disaster Resilience to Optimise Educational Development), che ha guidato la Scuola di Dottorato 2013 sul tema della Resilienza, in particolare il Working Group WP3: Prof. Srinath Perera (Northumbria University, UK), Dr.ssa Irina Shklovski (University of Copenhagen, Denmark), Dott. Hans Jorgen Henriksen (Geological Survey of Denmark and Greenland, Denmark), Dott.ssa Alexandra Lima Revez (National University of Ireland, Ireland), con il supporto Lifelong learning programme dell'Unione Europea. L'esperienza condotta è stata un'occasione unica e significativa per condividere approcci metodologici diversi e acquisire nuovi strumenti d'indagine.*

*Ringrazio il Comune di Arsita (TE) per l'accoglienza degli abitanti e per la collaborazione del Sindaco, Enzo Lucci, durante l'elaborazione del Piano di Ricostruzione dopo il sisma del 6 aprile 2009, coordinato dal Dr. Maurizio Indirli (ENEA C. R. Bologna) con la partecipazione dell'Università di Napoli "Federico II", dell'Università di Chieti - Pescara "Gabriele D'Annunzio" e dell'Università degli Studi di Ferrara. Grazie all'ospitalità del Comune è stato possibile condurre un'approfondita analisi sulla vulnerabilità del costruito e sulle potenzialità di sviluppo del territorio e dell'insediamento urbano, descritte nel primo caso di studio.*

*Ringrazio il Dr. Giuseppe Marghella, che ha reso disponibile il materiale conoscitivo sulla Chiesa di Santa Maria delle Grazie a Pettino (AQ), della società "Il Cenacolo S.r.l.". La chiesa, selezionata in accordo con la Dr.ssa Anna Marzo, è oggetto di approfondimento del secondo caso di studio.*

*Infine, rivolgo ancora un ringraziamento al Dr. Marco Munari, che ha illustrato le procedure automatiche "Vulnus" e "c-Sisma", sviluppate dall'Università degli Studi di Padova, applicate ai casi di studio, rendendosi disponibile per ogni chiarimento.*



## INDICE

<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>11</b>
---------------------------	-----------

### Parte Prima

#### 1. STORIA URBANA E APPROCCI INNOVATIVI

1.1. L'EVOLUZIONE DELLE CITTA' ITALIANE .....	24
1.1.1. La Città nel Medioevo .....	26
1.1.2. La Concezione Rinascimentale .....	29
1.1.3. La Visione Urbana nel Barocco .....	33
1.1.4. La Città Illuminata .....	36
1.1.5. La Città Industriale .....	38
1.1.6. La Città Moderna e le Aree Metropolitane .....	40
1.2. LE CITTA' SOSTENIBILI .....	44
1.2.1. Gli Approcci Ecosistemici .....	46
1.2.2. Sicurezza e Vivibilità dell'Ambiente Urbano .....	48
1.2.3. La Partecipazione Sociale .....	49
1.2.4. La Governance .....	51
1.2.5. La Smart City .....	52
1.3. LA RESILIENZA URBANA .....	54
1.4. L'ANALISI URBANA .....	58
1.4.1. Ambiti Applicativi .....	58
1.4.2. Metodi d'Analisi .....	60
1.4.3. Metodi Rappresentativi .....	63

## 2. IL RESTAURO ARCHITETTONICO E URBANO

2.1. CENNI SULLE TEORIE DEL RESTAURO ARCHITETTONICO .....	67
2.1.1. Il Restauro Archeologico .....	72
2.1.2. Eugène Emmanuel Viollet-Le-Duc .....	74
2.1.3. John Ruskin .....	76
2.1.4. Camillo Boito .....	78
2.1.5. Alois Riegl .....	81
2.1.6. Gustavo Giovannoni .....	84
2.1.7. Cesare Brandi .....	88
2.1.8. Renato Bonelli .....	92
2.2. CENNI SUL RESTAURO URBANO .....	94
2.2.1. Il Tema della Ricostruzione .....	96
2.2.2. Il Rapporto Edificio - Spazio Urbano .....	101
2.3. LE CARTE DEL RESTAURO .....	106
2.3.1. Il D. M. 21 Luglio 1882 e La Circolare 21 Luglio 1882 N. 683 Bis .....	106
2.3.2. La Carta di Atene del 1931.....	106
2.3.3. La Carta del Restauro del 1932 .....	107
2.3.4. La Carta di Venezia del 1964 .....	108
2.3.5. Le Carta del Restauro del 1972 .....	109
2.3.6. La Carta di Amsterdam e la Dichiarazione di Amsterdam del 1975 .....	111
2.3.7. La Carta di Machu Picchu del 1978 .....	114
2.3.8. La Carta di Firenze del 1981 .....	116
2.3.9. La Carta di Noto del 1986 .....	116
2.3.10. La Dichiarazione di Washington del 1987 .....	117
2.3.11. La Carta C.N.R. del 1987 .....	118
2.3.12. La Carta di Cracovia del 2000 .....	120
2.4. GLI ATTUALI ORIENTAMENTI DEL RESTAURO .....	121

**Parte Seconda****3. IL RISCHIO SISMICO**

3.1. ASPETTI METODOLOGICI .....	128
3.2. LA PERICOLOSITÀ SISMICA (SEISMIC HAZARD), di Maurizio Indirli .....	130
3.3. LA VULNERABILITÀ SISMICA .....	134
3.3.1. Le Metodologie Schedografiche .....	141
3.3.1.1 La Scheda Urbanistico - Architettonica .....	142
3.3.1.2 La Scheda AeDES .....	148
3.3.1.3 Le Schede Chiese e Palazzi .....	151
3.3.1.4 La Scheda GNDT II Livello per Edifici in Muratura .....	155
3.3.1.5 La Metodologia Formisano .....	161
3.3.1.6 La Metodologia MEDEA .....	161
3.3.1.7 La Metodologia FaMIVE .....	166
3.3.1.8 La Scheda di 1° Livello per il Rilievo della Tipologia e della Qualità della Muratura .....	168
3.3.2. Cenni sui Metodi Empirici e sui Metodi Analitici .....	177
3.4. L'ESPOSIZIONE .....	189
3.5. IL RUOLO DEL RILIEVO .....	191
3.6. DALLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO A QUELLA DELLA RESILIENZA .....	195

**4. LE COSTRUZIONI IN MURATURA**

4.1. LE MURATURE .....	199
4.1.1. Tipologie Murarie .....	209
4.1.2. Sistemi Costruttivi Storici .....	211
4.1.3. Cenni sul Comportamento delle Murature .....	215
4.1.4. Caratteristiche Meccaniche delle Murature .....	225

4.1.5. Tecniche di Indagine Diagnostica .....	235
4.1.5.1. Le Termografie .....	236
4.1.5.2. La Magnetometria o Pacometria .....	236
4.1.5.3. Le Indagini Soniche .....	237
4.1.5.4. Gli Ultrasuoni .....	239
4.1.5.5. Le Prove Sclerometriche .....	239
4.1.5.6. I Carotaggi .....	240
4.1.5.7. Le Endoscopie .....	241
4.1.5.8. I Martinetti Piatti .....	241
4.2. LO STUDIO DEI CINEMATISMI MURARI .....	243
4.2.1. I Meccanismi del Primo Modo .....	249
4.2.2. I Meccanismi del Secondo Modo .....	252
4.2.3. L'Analisi Locale: c-Sisma .....	254
4.2.4. L'Analisi degli Aggregati: Vulnus .....	258
4.2.4.1. La Scheda di Rilievo .....	259
4.2.4.2. Meccanismi di Rottura e Forze di Contenimento .....	263
4.2.4.3. La Determinazione degli Indici $I_1, I_2, I_3$ .....	266
4.2.4.4. Le Valutazioni di Vulnerabilità .....	268
4.3. OBIETTIVI DEGLI INTERVENTI NEGLI EDIFICI IN MURATURA .....	270

## Parte Terza

### 5 IL COMUNE DI ARSITA (TE)

5.1 CENNI SUL TERREMOTO IN ABRUZZO DEL 2009 .....	275
5.1.1 Il Caso di Arsita (TE) .....	278
5.2 IL PIANO DI RICOSTRUZIONE DI ARSITA (TE) .....	280
5.2.1 Inquadramento Territoriale.....	281
5.2.2 Cenni Storici .....	283
5.2.3 Evoluzione delle Strutture Insediative .....	285

5.2.4	Analisi Urbanistico - Architettonica .....	288
5.2.5	Vulnerabilità del Costruito .....	295
5.2.6	Qualità Muraria .....	301
5.2.7	Le Azioni del Piano .....	304
5.2.7.1	Tipologie d'Intervento .....	306
5.2.7.2	Riqualificazione dell'Abitato .....	311
5.2.7.3	Rilancio Socio - Economico .....	312
5.2.7.4	Sum: Considerazioni sull'Insediamento di Arsita (TE) .....	312
5.3	L'APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA VULNUS AD ARSITA (TE) .....	316
5.3.1	Il Caso di Studio .....	317
5.3.2	I Parametri Sismici Considerati .....	321
5.3.3	L'Analisi Statistica .....	325
5.3.4	Gli Esiti di Vulnerabilità .....	327
5.3.5	Le Frequenze Attese di Danno .....	331
5.3.6	Le Curve di Vulnerabilità Ricavate da Vulnus e dalla Scala EMS98 .....	332
5.3.7	Conclusioni .....	334
5.3.7.1	Considerazioni sui Risultati delle Metodologie Applicate .....	335
5.3.7.2	Proposte d'Intervento del Piano di Ricostruzione .....	340

## **6 LA CHIESA DI SANTA MARIA DELLE GRAZIE A PETTINO (AQ)**

6.1	IL QUADRO FESSURATIVO .....	342
6.2	IL MANUFATTO ARCHITETTONICO .....	344
6.2.1	Cenni Storici .....	345
6.2.2	Il Rilievo Geometrico .....	346
6.2.3	L'Indagine Diagnostica .....	350
6.3	L'APPLICAZIONE DI c-SISMA .....	354
6.3.1	I Parametri Considerati .....	354
6.3.2	Le Analisi Svolte .....	357
6.3.3	Conclusioni .....	362

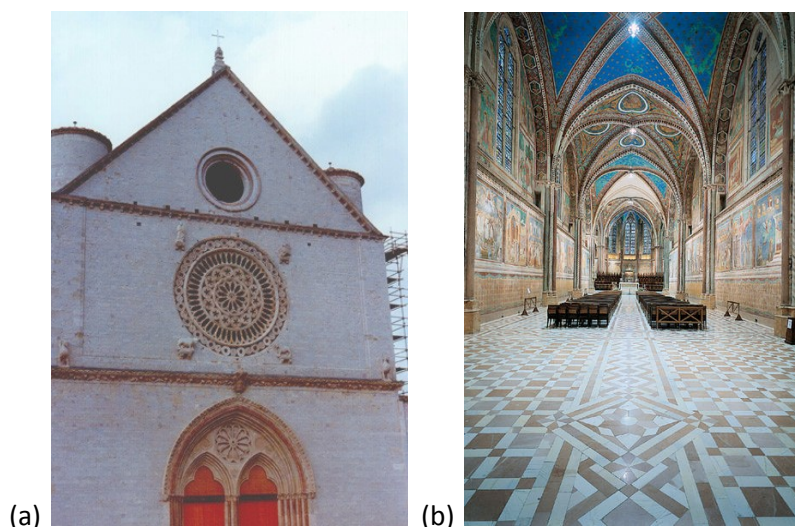
**BIBLIOGRAFIA ..... 366**



## INTRODUZIONE

Gli eventi naturali e quelli causati dalle attività antropiche, che colpiscono il territorio, hanno spesso portato alla distruzione di ampie aree urbanizzate e le conseguenze sono state drammatiche per la perdita di vite, prima di tutto, ma anche per i danni subiti dal patrimonio culturale: si pensi, a riguardo, all'inestimabile valore di statue, decori, dipinti o affreschi persi per crolli di coperture e pareti oppure gravemente danneggiati, come nel caso della Basilica Superiore di San Francesco ad Assisi<sup>1</sup>.

A seguito del terremoto del 26 settembre 1997, infatti, furono frantumati alcuni affreschi realizzati sulle volte collegate alla facciata e in corrispondenza dell'incrocio con il transetto della Basilica, opere del Cimabue e probabilmente di un giovane Giotto. Soltanto dopo la classificazione dei frammenti e grazie all'indispensabile ausilio della documentazione fotografica, è stato possibile ricollocare gli affreschi nella posizione originale, benché non sia stato possibile recuperare integralmente tutte le opere artistiche. La basilica subì anche un danno strutturale generalizzato e fu necessario un restauro molto profondo, ricorrendo anche a tecnologie antisismiche innovative<sup>2</sup>. Un lavoro immane, che si è protratto per anni, coinvolgendo esperti di ambiti diversi e impegnando importanti risorse economiche, che hanno restituito, almeno parzialmente, all'umanità dei capolavori ineguagliabili.



**Fig. 1** La Basilica Superiore di San Francesco ad Assisi: (a) facciata e (b) interno (Autore: Starlight, <[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Assisi\\_Basilica\\_superiore.jpg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Assisi_Basilica_superiore.jpg)>, 30/06/2014)

Oltre all'importanza dei contenuti artistici, occorre anche considerare il valore dei contenitori che ospitano tali opere: si tratta di chiese, palazzi signorili, ville, castelli, musei o biblioteche antiche, che connotano l'identità delle città e che raccontano, attraverso la loro presenza, il fluire della storia. A causa degli eventi naturali o antropici, questi monumenti sono talvolta isolati dal contesto urbano, per la perdita delle infrastrutture territoriali, oppure sono abbandonati per anni, prima che risorse e interventi siano disponibili per la loro salvaguardia: la città de L'Aquila, devastata dal terremoto del 2009, è un caso emblematico del problema<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Approfondimenti in:

G. Rocchi, *La basilica di San Francesco ad Assisi: interpretazione e rilievo*, Sansoni, Firenze, 1982;

G. Rocchi, *La basilica di San Francesco ad Assisi: prima, durante e dopo il 1997*, Alinea, Firenze, 2002.

<sup>2</sup> M. Indirli, M. G. Castellano, *Shape Memory Alloy devices for the structural improvement of masonry heritage structures*, in «International Journal of Architectural Heritage», Vol. 2, N. 2, 2008, pp. 93-119.

<sup>3</sup> M. Indirli, I. A. Kouris, A. Formisano, R. P. Borg, F. M. Mazzolani, *Seismic damage assessment of unreinforced masonry structures after the Abruzzi 2009 earthquake: the case study of the historical centres of L'Aquila and Castelvechio Subequo*, in «International Journal of Architectural Heritage», Vol. 7, N. 5, 2013, pp. 536-578.

Anche le attività produttive sono duramente colpite dalle calamità. Queste sono, infatti, responsabili della distruzione di edifici industriali e magazzini, che sostengono in maniera significativa l'economia degli insediamenti: valga come esempio il recente caso dell'Emilia Romagna, che, dopo le sequenze sismiche del 2012, ha subito considerevoli danni agli edifici destinati proprio a ospitare le attività produttive<sup>4</sup>.

Conseguenze non meno importanti riguardano anche la sfera sociale. Sono numerose le popolazioni che subiscono i disagi derivanti dalla perdita di servizi collettivi come ospedali, scuole, centri amministrativi e direzionali, fondamentali per gestire la vita delle aree urbane, senza considerare i disagi derivanti dalla perdita del lavoro e delle abitazioni<sup>5</sup>.

Fra le calamità ancora oggi più temute, sicuramente i terremoti continuano ad alimentare preoccupazioni e a muovere gli studi verso le possibili metodologie di prevenzione sismica. Alcune località sono tristemente note proprio per le distruzioni dovute ai terremoti, come San Francisco, devastata nel 1906 (USA, Magnitudo Momento Mw 7.9), oppure Tokyo e Yokohama, distrutte nel 1923 (Grande Kanto, Giappone, Mw 7.9); ma il più intenso sisma mai ricordato finora è il terremoto avvenuto nel 1960, nella zona meridionale del Cile (Valdivia, Mw 9.5), seguito nel 1964 da un evento quasi della stessa entità ad Anchorage in Alaska (Mw 9.2). Ricordiamo, inoltre, le città cinesi di Tientsin e Tangshan, segnate dai catastrofici sismi del 1976 (rispettivamente Mw 7.9 e 7.8), e Città del Messico, devastata nel 1985 (Mw 8.3). Dieci anni dopo, un intenso terremoto sfigura anche le città di Kobe, Osaka e Kyoto (Hanshin-Awaji, Giappone, Mw 7.3). In un'altra parte del mondo, nel dicembre del 2003 la cosiddetta cittadella di Bam (raro e monumentale insediamento in terra cruda), in Iran, è rasa al suolo da un evento sismico di magnitudo medio-alta (Mw 6.6). Nel 2004 un tragico terremoto, seguito da uno tsunami, (con onde alte fino a 15 metri), lascia uno scenario di morte e desolazione in una vasta area del sud-est asiatico, provocando più di 200000 morti in Indonesia, Thailandia, Sri Lanka e India (Mw 9.3)<sup>6</sup>. Nell'elenco dei terremoti e dei maremoti più recenti, vogliamo ricordare anche quello di Fukushima (Sendai e Tōhoku, Mw 9.0), in Giappone<sup>7</sup>, che nel 2011 provoca quattro incidenti distinti all'omonima centrale nucleare.



**Fig. 2 L'antica città di Bam, Iran**

(Autore: Ales.kocourek, <[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Ancient\\_Bam,\\_2002.png](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Ancient_Bam,_2002.png)>, 21/06/2014)

Abbiamo menzionato soltanto alcune città e alcune aree territoriali, benché l'elenco sia piuttosto lungo, per evidenziare l'importanza di un fenomeno che non ha confini geografici e che non possiamo prevedere a breve termine. L'unica arma di cui disponiamo è dunque la cultura della prevenzione, che dovrebbe guidare le scelte di coloro che sono chiamati a intervenire sul costruito, nell'ottica di accrescere la resilienza urbana e implementare le capacità degli edifici di rispondere all'azione sismica.

Un messaggio chiave risiede nel progetto dell'Imperial Hotel di Tokyo, realizzato fra il 1916 e il 1922, in cui Frank Lloyd Wright ha espresso sapientemente il concetto della prevenzione sismica, attraverso il progetto delle fondazioni dell'edificio, ritenute, ancora

<sup>4</sup> A. Marzo, G. Marghella, M. Indirli, *The Emilia-Romagna earthquake: damages to precast/prestressed reinforced concrete factories*, in «Ingegneria sismica», Anno XXIX, N. 2-3, 2012, pp. 132-147.

<sup>5</sup> G. Caporale, *L'Aquila non è Kabul. Cronaca di una tragedia annunciata*, Castelvevchi Editore, Roma, 2009.

<sup>6</sup> *I maggiori terremoti nel mondo a partire dal 1000 d. C.*, in <[http://www.markrage.it/nuova\\_pagina\\_5.htm](http://www.markrage.it/nuova_pagina_5.htm)>; *Il terremoto del 2003*, in <[http://it.wikipedia.org/wiki/Bam\\_\(Iran\)](http://it.wikipedia.org/wiki/Bam_(Iran))>.

<sup>7</sup> *Disastro di Fukushima Dai-ichi*, in <[http://it.wikipedia.org/wiki/Disastro\\_di\\_Fukushima\\_Dai-ichi](http://it.wikipedia.org/wiki/Disastro_di_Fukushima_Dai-ichi)>.

oggi, determinanti nel limitare i danneggiamenti subito dopo il terremoto di Tokyo del 1923<sup>8</sup>. L'Imperial Hotel, abbattuto comunque nel 1968, disponeva di pali di cemento rastremati del diametro di circa 23 cm e dalla lunghezza di circa 2,5 m, collocati lungo le pareti dell'edificio a intervalli di circa 60 cm, a coppie o gruppi di tre. L'albergo sorgeva su uno strato di terreno soffice, profondo quanto la lunghezza dei pali, al di sotto del quale si trovava uno strato di depositi alluvionali di circa 23 m; all'interno di questo correvano acque sotterranee a circa 60 cm dalla superficie. L'idea di creare una massa monolitica poggiante su un cuscino soffice di fango ha determinato una discontinuità fra il terreno e l'edificio, così da consentire alla costruzione lo slittamento dovuto all'azione del sisma<sup>9</sup>. In sostanza, il progetto anticipava le ricerche sull'isolamento sismico degli edifici di circa sessant'anni successive. L'Imperial Hotel aveva anche altri punti forza come il sistema di sicurezza "waiter's tray", costituito da supporti centrati al di sotto dei solai in grado di bilanciare i carichi, mentre la sua configurazione in elevazione prevedeva mura più spesse e pesanti alla base, più esili e leggere in cima. Anche le aperture seguivano un esemplare concept antisismico: infatti, erano piccole al piano terra e più ampie ai livelli superiori.



Fig. 3 Foto d'epoca dell'Imperial Hotel, Tokyo, 1916-1922

(Autore: en:user:Fg2, <<http://en.wikipedia.org/wiki/File:ImperialHotelFacade.jpg>>, 30/06/2014)

Wright scriveva<sup>10</sup>: «“we solved the problem of the menace of the quake by concluding that rigidity couldn't be the answer, and that flexibility and resiliency must be the answer... Why fight the quake? Why not sympathize with it and outwit it?”». Wright, per questo, si era avvalso di utili accorgimenti come dividere l'edificio in parti, ossia delle scatole in grado di galleggiare, egli aveva, inoltre, utilizzato giunti di separazione e proposto una copertura leggera. I suoi insegnamenti hanno portato l'attenzione su questioni riguardanti l'interazione fra il terreno e la struttura, sulle scelte morfologiche degli edifici e dei materiali da costruzione, sulla giusta applicazione delle leggi fisiche al design progettuale. Le soluzioni adottate nell'Imperial Hotel hanno finalmente aperto un dialogo fra il mondo

<sup>8</sup> R. King Reitherman, *Frank Lloyd Wright's Imperial Hotel: a seismic re-evaluation*, Proceedings 7WCEE (7 World Conference on Earthquake Engineering), 1980, Istanbul, Turkey, vol. 4, pp. 145-152, in <[http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/7\\_vol4\\_145.pdf](http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/7_vol4_145.pdf)>;

B. B. Pfeiffer, *Frank Lloyd Wright*, Taschen, Köln, 2007, pp. 92-94.

<sup>9</sup> A. Parducci, *Nuove concezioni per il progetto sismico. Una sfida per l'architettura e l'ingegneria*, in «La sfida dell'isolamento sismico», EdA, speciale giugno 2007.

<sup>10</sup> “abbiamo risolto il problema della minaccia del terremoto dalla conclusione che la rigidità non può essere la risposta, e che flessibilità e resilienza devono essere la risposta ... Perché combattere il terremoto? Perché non simpatizzare con esso e superarlo in astuzia?”

R. King Reitherman, *op. cit.*, p. 150.



dell'architettura e quello dell'ingegneria. Oltre ad essere un apprezzato rappresentante del Movimento Moderno, Wright è diventato forse il promotore di una nuova cultura, basata sull'integrazione dei saperi, che purtroppo continua a soffrire per l'ostilità verso una rinnovata concezione dell'approccio progettuale; il suo esempio è un invito a ripensare l'ideazione degli edifici, soprattutto in zona sismica.

Dopo il progetto dell'Imperial Hotel saranno realizzate a San Francisco alcune architetture di interesse per l'adozione di accorgimenti antisismici, come l'Alcoa Building, progettato da Skidmore, Owings e Merrill nel 1964 oppure la Transamerica Pyramid di William Pereira, ultimato nel 1972<sup>11</sup>. Nel primo di questi, oltre all'impiego di elementi diagonali incrociati di facciata, è stato posto particolare attenzione al piano terra, dove le diagonali di acciaio interagiscono con i pilastri di base, a loro volta rinforzati, e dove lo stesso solaio del primo livello collabora con i nuclei centrali di cemento armato. La Transamerica Pyramid, invece, si caratterizza per la sua forma assottigliata, una scelta compositiva elegante e funzionale nel rendere l'edificio deformabile sotto l'azione del sisma. Interessante è, ancora una volta, il progetto dei primi tre livelli che, grazie all'allargamento della struttura, rende più stabile l'edificio e gli regala ampi spazi aperti. Alcune realizzazioni molto audaci riguardano anche l'inserimento dell'isolamento sismico (retrofit) in edifici monumentali esistenti in muratura<sup>12</sup>, in Figura 4, 5 e 6.



**Fig. 4 (a) Salt Lake City & County Building (USA, 1894), (b) San Francisco City Hall (USA, 1912), (in Indirli, Martelli, 2009)**



**Fig. 5 (a) The Asian Art Museum at San Francisco (USA), (b) Dettaglio fondazioni: inserimento isolatori, (in Indirli, Martelli, 2009)**



**Fig. 6 (a) The Wellington Parliament (New Zealand, 1921), (b) The Maritime Museum at Auckland (New Zealand), (in Indirli, Martelli, 2009)**

<sup>11</sup> A. Martelli, U. Sonnino, A. Parducci, F. Braga, *Moderni sistemi e tecnologie antisismici. Una guida per il progettista*, 21<sup>mo</sup> Secolo, Milano, 2008, pp. 141-144.

<sup>12</sup> M. Indirli, A. Martelli, *Innovative protection of cultural heritage and urban habitats against earthquakes and other natural disasters*, Proc. EACH 2009, Cultural Heritage Congress, Science and Technology, Cairo, Egitto, 2-4 dicembre, 2009.

Nell'epoca delle soluzioni smart, sono sempre più numerosi i comuni italiani che hanno adottato sistemi "intelligenti" e moderne tecnologiche per salvaguardare gli edifici pubblici e strategici dall'elevata esposizione al rischio sismico. Vogliamo ricordare ad esempio la ricostruzione della scuola elementare "Francesco Jovine" di San Giuliano di Puglia (CB), crollata con il terremoto del 2002, che si avvale ora di moderni isolatori sismici, o il Centro della Protezione Civile di Foligno (PG)<sup>13</sup>, isolato con tecniche analoghe, di rilievo anche per la soluzione architettonica, studiata in armonia con le esigenze di tipo ingegneristico.



**Fig. 7 L'edificio principale del Centro Operativo Emergenza e Formazione del Centro della Protezione Civile di Foligno (PG), (in Martelli, Forni, 2009)**

In altri casi sono stati invece adottati sistemi di dissipazione energetica (controventi a X o V rovesciata e dispositivi di varia tipologia nei punti con massima deformazione), i quali possono essere inseriti come rinforzo nella maglia strutturale di edifici a telaio in cemento armato. I cosiddetti Sistemi Dissipativi sono stati impiegati per adeguare soprattutto edifici scolastici esistenti, come la scuola "Gentile-Fermi" di Fabriano oppure il complesso scolastico "G. Viola" di Potenza<sup>14</sup>. I casi citati non vogliono indurre ad affermare che solo edifici con tecniche e materiali moderni, o quelli che possiedono già determinati requisiti formali, possano essere adeguatamente protetti. Studiare soluzioni a misura di centro storico è probabilmente uno degli obiettivi più complessi, tuttavia molto sentito dai ricercatori e dai tecnici del settore per migliorare le prestazioni sismiche di porzioni di città in cui è spesso difficile intervenire per elevare la sicurezza.



**Fig. 8 Facciata del Duomo di Siena e dettaglio della parte posteriore del timpano**

<sup>13</sup> A. Martelli, M. Forni, *La protezione degli edifici dal terremoto mediante isolamento sismico e dissipazione d'energia*, in «Energia, Ambiente e Innovazione», 3/2009, pp. 89-106.

<sup>14</sup> A. Martelli, U. Sonnino, A. Parducci, F. Braga, *op. cit.*, pp. 154-156.

Nel gruppo dei sistemi di dissipazione energetica si collocano anche i dissipatori viscosi ricentranti, ad esempio, applicati nel caso del Duomo di Siena<sup>15</sup>, in Figura 8. Per prevenire l'eventuale ribaltamento del timpano della facciata, in caso di sisma, è stata realizzata una struttura metallica addossata al lato posteriore del timpano e collegata a questo tramite i dissipatori.

Nei nuclei storici incontriamo tipologie strutturali completamente diverse da quelle odierne, in cemento armato o in acciaio, che possiamo ricondurre all'esteso gruppo delle costruzioni in muratura. Queste hanno rappresentato per secoli l'unica forma edilizia del passato, producendo opere di impareggiabile valore culturale, uniche e quindi ancor più preziose. L'impegno condiviso della comunità scientifica riguarda proprio l'individuazione delle soluzioni più adatte a innalzare il livello di sicurezza degli edifici in muratura e garantire, nel tempo, la loro conservazione e la tutela dei caratteri distintivi del periodo e del gusto architettonico che li ha prodotti. Le difficoltà operative che si incontrano nei siti di antica edificazione e nelle aree archeologiche sono di varia natura: ideologica, scientifica, tecnica prima di tutto, ma anche economica, burocratica, normativa. In sintesi, si tratta di risolvere positivamente, spesso caso per caso, il conflitto tra il raggiungimento di indispensabili livelli di prestazione antisismica e il rispetto dei principi di conservazione dovuti al patrimonio storico-artistico (integrità, compatibilità, reversibilità e durabilità).

Gli aspetti ideologici sono legati a considerazioni maturate nella storia da autorevoli teorici: posizioni a volte contrastanti, elaborate dopo interventi, non sempre apprezzati o ritenuti idonei, eseguiti su edifici di interesse storico. Le teorie sul restauro dei monumenti e dei centri urbani si sono sviluppate soprattutto nei Paesi che hanno una lunga storia architettonica come la Francia, la Gran Bretagna, la Germania e l'Italia, che ha sicuramente partecipato all'elaborazione dei concetti dominanti della materia del restauro, attraverso le interpretazioni fornite da C. Boito, G. Giovannoni, C. Brandi e R. Bonelli, solo per citare alcuni dei maestri italiani più rappresentativi. Nell'elenco degli studiosi che hanno lasciato un decisivo contributo, con le loro ricerche, considerando anche quelle di natura prettamente scientifica, segnaliamo il lavoro di Antonino Giuffrè, che oltre ad aver approfondito gli studi nel campo delle costruzioni in muratura, ha mostrato un grande interesse e un'attenta partecipazione all'analisi dei caratteri edilizi dei centri storici<sup>16</sup>.

Dopo la seconda guerra mondiale, molti edifici monumentali sono stati distrutti o parzialmente lesionati dai bombardamenti. Il problema che si era subito posto, di natura ideologica, riguardava il tema della ricostruzione, oggi molto sentito dopo le vicende del centro storico de L'Aquila, devastato dal terremoto del 2009, oppure quelle dei comuni dell'Emilia Romagna colpiti più recentemente dalle sequenze sismiche del 2012.

Roberto Pane sosteneva che «salvare i resti di forme preziose il cui abbandono sarebbe inconciliabile con una società colta e civile»<sup>17</sup> è una necessità che motiva i compromessi poco coerenti con le teorie del restauro moderno ma, prendendo come riferimento le chiese parzialmente demolite, aggiunse:

*L'estrema varietà e necessità dei casi da risolvere sta a dimostrare come non sia possibile contenere il restauro entro limiti rigidamente prestabiliti poiché si tratta di passare dal puro e*

---

<sup>15</sup> M. G. Castellano, S. Infanti, *Sistemi di protezione per la sicurezza delle costruzioni*, in Atti del Convegno Internazionale «Bioarchitettura e ingegneria ambientale - Progetti di sviluppo e mobilità sostenibile per il territorio», Pistoia, 3-5 ottobre 2007, in <[http://www.fipindustriale.it/public/area\\_stamp/pub-it/NT1702.pdf](http://www.fipindustriale.it/public/area_stamp/pub-it/NT1702.pdf)>;

M. Indirli, A. Martelli, *Innovative protection of cultural heritage and urban habitats against earthquakes and other natural disasters*, Proc. EACH 2009, Cultural Heritage Congress, Science and Technology, Cairo, Egitto, 2-4 dicembre, 2009.

<sup>16</sup> A. Giuffrè, *Monumenti e terremoti*, Multigrafica Editrice, Roma, 1988;

A. Giuffrè, *Studi e interventi sull'edilizia storica*, in C. Gavarini, A. Giuffrè, G. Longhi, *Ingegneria antisismica*, Milano, ESA, 1991, Vol. 2, pp. 203-385;

M. Indirli, R. Cami, B. Carpani, C. Algeri, P. Panzeri, G. Rossi, L. Piova, *The antiseismic rehabilitation of Marchesale Castle at San Giuliano di Puglia*, Proc. V International Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions, Possibilities of Numerical and Experimental Techniques (SAHC), New Delhi, India, 6-8 Novembre 2006.

<sup>17</sup> R. Pane, *Il restauro dei monumenti*, in «Aretusa», 1/1944, pp. 7-20 e R. Pane, *Restauro dei Monumenti*, in «La ricostruzione del patrimonio artistico italiano», Libreria dello Stato, Roma, 1950, p. 10 cit. in M. P. Sette, *Il restauro in Architettura: quadro storico*, UTET, Torino, 2001, p. 165.

*semplice consolidamento alla ricostruzione ex novo di imponenti masse di una fabbrica, e cioè a percorrere tutta la distanza che si pone fra il restauro vero e proprio e la moderna costruzione architettonica*<sup>18</sup>.

In casi estremi, come è avvenuto per il terremoto del Belice del 1968, che pare abbia danneggiato più del 90% del patrimonio edilizio<sup>19</sup>, il problema da affrontare non riguarda la ricostruzione di singoli beni, ma interessa intere aree urbanizzate e si estende all'ipotesi di delocalizzare, in altri siti, abitazioni e edifici specialistici. Detta operazione, che in pratica coincide con la fondazione di un nuovo insediamento urbano, che sia esso un quartiere o un'intera città, sulla base di canoni estetici "moderni" e probabilmente con una diversa organizzazione funzionale, deve essere sempre valutata con estrema cautela, valutando attentamente costi e benefici. Nel caso del Belice il problema ha interessato diverse città, distrutte o fortemente danneggiate: Gibellina, Menfi, Montevago, Partanna, Poggioreale, Salaparuta, Salemi, Sambuca, Santa Margherita Belice e Santa Ninfa<sup>20</sup>. La ricostruzione di intere aree edificate non è una scelta certamente semplice, ma possiamo pensare che sia dettata prima di tutto dalla necessità di ricreare un ambiente urbano sicuro per i suoi abitanti. Questo fine è attualmente perseguito dalle normative tecniche vigenti nella maggior parte delle regioni del mondo. Quando, infatti, non possiamo più salvare la sostanza storica, racchiusa nelle città, non resta che riprogettare nella prospettiva del futuro un nuovo contesto urbano, applicando i principi e le regole che possono accrescere le performance strutturali del patrimonio edilizio. Uno straordinario esempio è dato dalla delocalizzazione e ricostruzione più a valle dei paesi distrutti dal devastante terremoto che investì la Val di Noto in Sicilia nel 1693<sup>21</sup>, oggi nella lista dell'UNESCO come patrimonio dell'umanità.

Alla luce anche di tali osservazioni, sembra che il restauro filologico, nell'interpretazione del Pane, abbia dei limiti che altri teorici avevano già considerato, tanto da indurre, ad esempio, Gustavo Giovannoni a sostenere la causa del restauro stilistico. Quest'ultimo soddisfa, infatti, l'esigenza ampiamente diffusa di restituire alle città ferite i monumenti che le hanno rappresentate, nonostante non siano più autentici<sup>22</sup>.

Uno degli interventi più rappresentativi, che sarà richiamato nel successivo Capitolo 2, riguarda la ricostruzione del ponte Santa Trinita di Firenze, progettato originariamente da Bartolomeo Ammannati. L'antico ponte in pietra è stato ricostruito con i suoi decori e persino con le stesse irregolarità antecedenti alle distruzioni belliche, animando un serrato dibattito fra i sostenitori di un progetto moderno, innovativo e quelli che invece volevano la ricostruzione integrale<sup>23</sup>. I primi protagonisti delle due opposte posizioni sono stati Renuccio Bianchi Bandinelli e Bernard Berenson<sup>24</sup>. Quest'ultimo nell'articolo *Come ricostruire la Firenze demolita*, pubblicato nel primo numero della rivista "Il Ponte", ha assunto un atteggiamento «nostalgico» e più incline alla riproposizione delle antiche forme, mentre Bianchi Bandinelli nell'articolo *Come non ricostruire la Firenze demolita*, pubblicato nel successivo numero della stessa rivista, era del tutto contrario alle «contraffazioni» e accoglieva favorevolmente le proposte dell'architettura contemporanea. Dopo di loro e nei tre anni successivi si susseguirono ancora altri scontri ideologici, ma era prevalsa sin dall'inizio la volontà di ricostruire il ponte nelle fattezze originarie. Delle rovine rimaste, era stato recuperato soltanto il 13% del materiale lapideo. Si era

<sup>18</sup> R. Pane, *Restauro dei Monumenti*, in «La ricostruzione del patrimonio artistico italiano», Libreria dello Stato, Roma, 1950, p. 10 cit. in M. P. Sette, *Il restauro in Architettura: quadro storico*, UTET, Torino, 2001, p. 165.

<sup>19</sup> *Terremoto del Belice 1968*, in

<[http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/terremoto\\_belice.wp.%3Bjsessionid=F80114040B0940BA200466BCC2A60CF4](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/terremoto_belice.wp.%3Bjsessionid=F80114040B0940BA200466BCC2A60CF4)>.

<sup>20</sup> Approfondimenti storici e artistici sulle città danneggiate in:

G. Antista, D. Sutura (a cura di), *Belice 1968-2008: Barocco perduto, Barocco dimenticato*, Caracol, Palermo, 2008.

<sup>21</sup> L. Trigilia (a cura di), *1693 Iliade funesta. La ricostruzione delle città del Val di Noto*, Arnoldo Lombardi, Palermo, 1994.

<sup>22</sup> M. P. Sette, *Il restauro in Architettura: quadro storico*, UTET, Torino, 2001, p. 165-166.

<sup>23</sup> *Ibid.*, p. 170.

<sup>24</sup> G. Belli, A. Belluzzi, *Una notte d'estate del 1944*, Edizioni Polistampa, Firenze, 2013, pp. 59-74.



dimostrata interessante anche l'osservazione del critico Gillo Dorfles che considerava le ferite inflitte nel corpo delle città e la perdita dei monumenti come un'occasione per manifestare la creatività delle nuove generazioni. Della stessa opinione era anche l'architetto Giovanni Michelucci, che farà delle proposte per borgo San Jacopo. Questo punto di vista sembra cogliere l'ampiezza di un problema che non investe un solo monumento: a Firenze il bombardamento del 1944 aveva danneggiato anche l'edilizia residenziale della zona vicina a Ponte Vecchio.



Fig. 9 Vista del Ponte Santa Trinita, Firenze

Il caso del ponte fiorentino non è un episodio isolato: anche le volte della basilica di San Francesco, già citata, sono state ricostruite, secondo tecniche e materiali il più possibile aderenti a quelli originali. Tuttavia il clamore del primo esempio è forse dovuto al fatto di dover ricostruire l'intero ponte e non di intervenire, come ad Assisi, su un edificio che, nonostante i danneggiamenti, continuava a essere riconoscibile, presenza ancora viva nella città. Non pretendiamo di dare un'interpretazione inconfutabile, ma possiamo immaginare che nel caso di Firenze sia stata eseguita una vera e propria clonazione, mentre ad Assisi siano stati impiantati nuovi arti, senza produrre alcun fabbricato nuovo nelle sembianze di un corpo antico: due approcci molto diversi che portano l'attenzione sul tema della riconoscibilità del valore monumentale e della sua identificazione all'interno di un determinato contesto. Possiamo, ad esempio, affermare che la Basilica di San Francesco sta ad Assisi come le falangi stanno alle mani? In caso positivo, è sufficiente tale relazione a motivare qualunque intervento, anche quelli che comportano la riproduzione completa del monumento distrutto? Possono essere formulati diversi interrogativi analoghi e possono essere date diverse risposte, ma la complessità del problema probabilmente non può essere ricondotta alla risoluzione di un'equazione. Ogni caso è dunque unico e diventa anche difficile credere che esista una risposta univoca valida per tutte le circostanze.

Il Pane concludeva le sue osservazioni affermando:

*Occorre (...) in altre parole riconoscere che l'opera del restauratore non può compiersi con il solo ausilio dell'esperienza critica e storica, e che la creazione di una nuova unità estetica esige l'intervento del gusto e della fantasia<sup>25</sup>.*

Anche l'illustre storico e architetto ha lasciato sottintendere l'unicità dell'intervento di restauro e la necessità di progettare soluzioni diverse secondo i casi. Domandarsi ancora se oggi sia lecito ricostruire l'antico e inserire la società contemporanea nelle forme del passato e nel linguaggio storico è un quesito che non ha una soluzione certa; sono, infatti, numerose le osservazioni che storici, sociologi e antropologi potrebbero addurre, oltre alle opinioni personali che tutti possiamo formulare. Probabilmente le parole del Pane

---

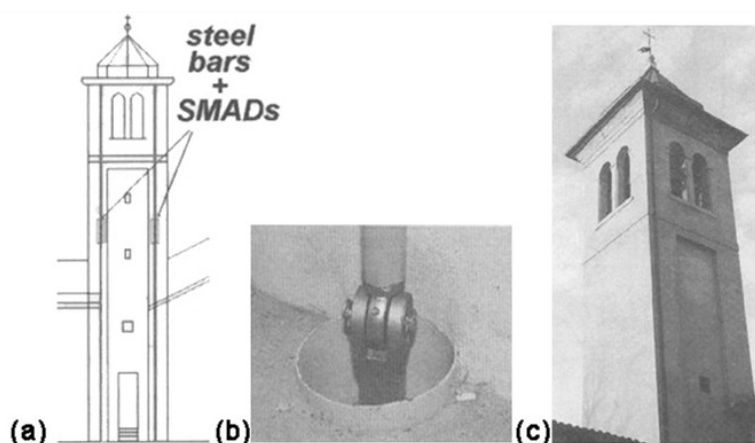
<sup>25</sup> R. Pane, *Restauro dei Monumenti*, in «La ricostruzione del patrimonio artistico italiano», Libreria dello Stato, Roma, 1950, p. 12 cit. in M. P. Sette, *Il restauro in Architettura: quadro storico*, UTET, Torino, 2001, p. 174.



invitano, però, a riflettere su altre questioni, come il concetto di opera d'arte o di valore storico, che nelle teorie sul restauro sono particolarmente sentite.

Anche se le distruzioni causate dai terremoti rinnovano sempre i dubbi sul *modus operandi* e sull'impiego di nuove tecniche e materiali, alcuni interventi realizzati negli ultimi anni sono diventati un esempio per indirizzare i progetti di restauro dei monumenti storici verso la cultura della prevenzione sismica. Una delle prime applicazioni delle cosiddette Tecniche Innovative Antisismiche (TIA), distinte da quelle Tradizionali (TTA), è stata sviluppata dopo il sisma del 15 ottobre 1996 e applicata al campanile della chiesa di San Giorgio in Trignano (S. Martino in Rio, Reggio Emilia)<sup>26</sup> gravemente lesionato dalle scosse e oggetto di un restauro che non solo ha restituito al campanile l'integrità strutturale persa ma ha anche migliorato le sue prestazioni antisismiche.

Gli interventi di tipo tradizionale sul campanile di Trignano avevano riconferito uniformità al tessuto murario lesionato, prevedendo anche la ricostruzione di solai leggeri in legno, mentre, grazie all'intervento innovativo, sono stati impiegati quattro tiranti metallici verticali post-tensionati negli angoli interni del campanile, senza la perforazione della muratura esistente. In serie ai tiranti verticali, sono stati poi inseriti quattro dispositivi SMAD in Lega a Memoria di Forma (Shape Memory Alloy Devices), dal comportamento superelastico e in modo da conferire alla muratura una calcolata (e moderata) precompressione. Le opere realizzate si sono dimostrate efficaci già dopo il successivo sisma del 2000: il campanile, infatti, non presentava alcuna lesione.



**Fig. 10 (a) Proposta d'intervento con dispositivi SMADs, (b) Dettaglio dell'ancoraggio, (c) La torre dopo l'intervento (in Indirli, Castellano, 2008)**

Il consolidamento eseguito è il risultato di una sperimentazione pilota, non invasiva e reversibile (nell'ambito del Progetto Europeo ISTECH, "Development of Innovative Techniques for the Improvement of Stability of Cultural Heritage, in Particular Seismic Protection", 1996 -1999, Environment and Climate Programme, Fourth Framework Programme), condotta su una struttura muraria storica in risposta alle difficoltà scientifiche proprie di questa tipologia costruttiva. Il progetto di consolidamento si è avvalso dell'analisi numerica per verificare il corretto funzionamento di tiranti e SMAD. Anche gli aspetti tecnologici sono stati affrontati e risolti con grande attenzione, come l'ideazione degli ancoraggi alle fondazioni e alle estremità del campanile, attraverso soluzioni specifiche.

<sup>26</sup> M. Forni, M. Indirli, A. Martelli, G. Venturi, F. Armani, M. G. Castellano, R. Medeot, G. Borellini, D. Rinaldis, *Rehabilitation of Cultural Heritage Damaged by the 15<sup>th</sup> October 1996 Earthquake at San Martino in Rio, Reggio Emilia, Italy*, in *Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control of Seismic Vibrations of Structures - Proceedings of the International Post-SMiRT Conference Seminar*, Taormina, Italia, 25-27 agosto 1997; GLIS, Bologna, 1998, pp. 767-781; M. Indirli, B. Carpani, M. G. Castellano, P. Clemente, M. Forni, A. Martelli, *L'Applicazione Pilota dei Dispositivi con Lega a Memoria di Forma: il Campanile della Chiesa di S. Giorgio in Trignano*, Proc. 28° Convegno Nazionale AIM "Il Convegno del 2000", 8-10 novembre 2000, Milano, Italia.

M. Indirli, M. G. Castellano, *Shape memory alloy devices for the structural improvement of masonry heritage structures*, in «International Journal of Architectural Heritage», 2/2008, pp. 93-119.

Le stesse tecnologie (tiranti metallici orizzontali in serie con dispositivi a Memoria di Forma, al fine di prevenire i meccanismi di ribaltamento, ancora in ambito ISTECH) sono state anche utilizzate ad Assisi<sup>27</sup>, dove sono stati impiegati 47 SMAD per collegare il tetto ai due timpani del transetto (danneggiati dal sisma e restaurati tramite rigenerazione muraria con tecniche tradizionali). Altri interventi si sono avvalsi di questi sistemi: la cattedrale di San Feliciano a Foligno e la Chiesa di San Serafino a Montegranaro, entrambe danneggiate a causa del terremoto umbro-marchigiano del 1997, lo stesso che ha colpito la Basilica di Assisi<sup>28</sup>.

Le applicazioni degli SMAD, come dimostrano i casi citati, migliorano le connessioni fra le pareti, aiutano a controllare gli spostamenti fuori dal piano, limitano la trasmissione delle azioni dinamiche, permettono un quasi completo ricentraggio. Tali tecniche, che sono annoverate fra le metodologie innovative, possono essere intese come una naturale evoluzione tecnologica dei sistemi tradizionali (TTA): è, infatti “naturale” che la ricerca scientifica contribuisca con le nuove acquisizioni alla materia del restauro dei monumenti e per questo le TIA possono essere considerate una spontanea evoluzione delle tecniche costruttive.

Infine, è stato valutato anche l'utilizzo di SMAD in serie con strisce di FRP (Fibre Reinforced Polymers) per interventi di messa in sicurezza a basso costo ed elevata efficacia, in modo da evitare il ribaltamento di pareti in muratura, già svincolate dall'eccitazione sismica, in caso di rilevanti aftershock<sup>29</sup>.



**Fig. 11 Utilizzo degli SMADs: (a) Basilica di San Francesco, (b) Cattedrale di San Feliciano, (c) Chiesa di San Serafino (in Indirli, Castellano, 2008)**

In sostanza, i progressi raggiunti in ambito scientifico e tecnologico hanno apportato alla materia del restauro importanti contributi utili a migliorare gli interventi finora attuati con le sole tecniche tradizionali e in linea con le raccomandazioni espresse già dalla Carta del Restauro del 1987. Sembra, infatti, condivisa l'esigenza di integrare le conoscenze, affinché il progetto di restauro possa avvalersene per risolvere, in alcuni casi, le perplessità ideologiche sul modo di intervenire: le tecnologie richiamate agiscono senza compromettere l'autenticità del manufatto. Nelle «Considerazioni preliminari» della Carta del 1987 era stato delineato un concetto di restauro “moderno” e ancora attuale:

*Il compito del restauro architettonico è di interpretare un manufatto storico, individuando le aggiunte e le manomissioni subite, dandogli un adeguato e controllabile miglioramento statico con mezzi compatibili e reversibili (reintegrazioni murarie, speroni, tiranti non occultati ecc.). Sinora l'esigenza di dissimulare i mezzi di rinforzo per non alterare l'aspetto e il carattere degli edifici ha giustificato il ricorso a tecnologie innovative che permettono di realizzare rinforzi invisibili, ma generalmente irreversibili, adulteranti, incompatibili e poco durabili, conservando di fatto l'aspetto e non la struttura della fabbrica<sup>30</sup>.*

<sup>27</sup> M. Indirli, M. G. Castellano, *op. cit.*, pp. 103-109.

<sup>28</sup> M. Indirli, P. Clemente, B. Carpani, A. Martelli, B. Spadoni, M. G. Castellano, *Research, Development and Application of Advanced Anti-Seismic Techniques for Cultural Heritage in Italy*, Proc. 8<sup>th</sup> World Seminar on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures, Ottobre 2003, Yerevan, Armenia.

<sup>29</sup> M. Indirli, P. Corvaglia, R. Angiuli, L. Lanza, M. Merlin, R. Rizzoni, A. Chiozzi, A. Tralli, S. Briccoli Bati, M. Fagone, *Fibre Reinforced Polymers (FRP) strips in series with Shape Memory Alloy (SMA) wires: theory, application and experimental results of a prototypal anti-seismic device in the framework of the MAMAS project*, 15<sup>th</sup> WCEE, 15th World Conference of Earthquake Engineering, 24-28 Settembre 2012, Lisbona, Portogallo.

<sup>30</sup> Carta della conservazione e del restauro degli oggetti d'arte e di cultura, 1987, Quinta parte, Allegato B - Istruzioni per la conservazione, manutenzione e restauro delle opere di interesse architettonico - *Considerazioni preliminari*, in <[http://www.webalice.it/inforestaurato/carta\\_b.htm](http://www.webalice.it/inforestaurato/carta_b.htm)>.

Le tecnologie innovative cui si riferisce la Carta non sono certamente quelle adottate per il campanile della Chiesa di San Giorgio, all'epoca non ancora sviluppate, quanto piuttosto quelle legate ai materiali da costruzione contemporanei che molte volte hanno completamente rimodellato gli edifici antichi, pensiamo alla sostituzione delle coperture in legno con quelle più pesanti in latero-cemento.

Per quanto riguarda le difficoltà di natura economica legate al tema degli investimenti nel settore della ricerca e legate alla mancanza di fondi da destinare agli interventi di miglioramento sismico, non possiamo fare molte considerazioni, essendo le questioni citate a loro volta condizionate dalle scelte e dalle disponibilità finanziarie di ogni Paese, analogamente per quanto attiene alla sfera burocratica.

Un altro aspetto che senza dubbio influisce nelle scelte progettuali del restauro è legato alla disponibilità di un'aggiornata normativa tecnica e alla classificazione sismica del territorio. La normativa antisismica<sup>31</sup> ha lo scopo di individuare i criteri che possono ridurre il danneggiamento degli edifici a causa di un evento sismico, mentre la classificazione sismica è effettuata sulla base di considerazioni tecnico-scientifiche basate su varie metodologie (affrontate nel seguito). Entrambe sono adottate attraverso i Decreti del Ministero dei Lavori Pubblici.

In Italia la prima legislazione antisismica è rappresentata dalla legge del 02/02/1974 n. 64 (Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche) che ha anche sostituito le precedenti leggi del 1962 e del 1971 sulle opere in cemento armato e sulle strutture metalliche. I successivi decreti approvati fra il 1981 e il 1984 hanno classificato il 45% del territorio nazionale che risultava pertanto obbligato a rispettare le relative norme per le costruzioni, contenute nel nuovo D. M. 02/07/1981 (Normativa per la riparazione e il rafforzamento degli edifici danneggiati dal sisma nelle regioni Basilicata, Campania, e Puglia). Questo faceva riferimento ai soli interventi di adeguamento e di riparazione. Il concetto di miglioramento sismico sarà introdotto più tardi con il D. M. 24/01/1986 (Norme tecniche relative alle costruzioni sismiche), cui è seguito il D. M. 20/11/1987 (Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento) che è il primo testo normativo, a carattere tecnico, sulla tipologia muraria. Con il D. M. 16/01/1996 è introdotta una norma più completa, che fornisce indicazioni su tutte le tipologie costruttive.

All'indomani del terremoto del 31 ottobre 2002 che ha colpito il Molise, è stata effettuata la riclassificazione sismica dell'intero territorio nazionale in quattro zone a pericolosità crescente, come risulta dall'OPCM n. 3274 - *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*. Il successivo aggiornamento risale al 2006 con l'OPCM n. 3519 - *Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento delle medesime zone*. Dopo l'elaborazione delle nuove mappe di pericolosità sismica sono state formulate le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008), approvate con il D. M. 14/01/2008, ma in regime di proroga fin al 2009 e quindi successivamente aggiornate nel 2013.

Il breve resoconto sull'evoluzione normativa italiana dimostra che l'attenzione ai fenomeni sismici e la prevenzione delle loro conseguenze sono diventate questioni d'interesse solo dopo gravi disastri e soprattutto nell'ultimo decennio: se l'evoluzione delle norme in Italia fosse stata più rapida, al passo con l'elaborazione degli Eurocodici, molte vite umane sarebbero potute essere salvate e i danni da terremoto grandemente ridotti.

Le argomentazioni proposte riassumono i punti essenziali del presente lavoro. Non abbiamo la pretesa di rispondere in maniere esauriente e conclusiva agli studi pluridisciplinari che interessano i centri storici, ma ci proponiamo di comprendere lo stato dell'arte della materia, di approfondire le possibili soluzioni sul restauro dei centri storici e

<sup>31</sup> *Normativa antisismica*, in <[http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/leg\\_rischio\\_sismico.wp](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/leg_rischio_sismico.wp)> e *La normativa antisismica prima del 2003*, in <[http://www.camera.it/cartellecomuni/leg4/RapportoAttivitaCommissioni/testi/08/08\\_cap15\\_sch01.htm](http://www.camera.it/cartellecomuni/leg4/RapportoAttivitaCommissioni/testi/08/08_cap15_sch01.htm)>.

dei manufatti di interesse storico, suggerendo proposte riguardanti le modalità operative applicabili. I concetti di conservazione, sostenibilità e resilienza, che saranno spiegati nel prosieguo, costituiscono i presupposti che motivano l'interesse verso la materia e che guidano le scelte progettuali presentate nei casi di studio: il Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita (TE) e la Chiesa di Santa Maria delle Grazie a Pettino (AQ).

## Parte Prima

## 1. STORIA URBANA E APPROCCI INNOVATIVI

### 1.1 L'EVOLUZIONE DELLE CITTÀ ITALIANE

*La città fabbrica, la città del capitale, la città per parti, la città collage, la città di latta, la città di quarzo, la città dei bite, la città fortezza, la città postmoderna, la città evento, oppure la città vivente, istantanea, analoga, frontale, fisica, invisibile, visibile, intermedia, dialettica, diffusa, bella, generica, generale, atopica, globale, narcotica, disfatta, digitale, banale, variabile, aperta, perduta, interrotta, sana, concreta, aleatoria, necessaria, elementare, complessa, possibile, dispersa, emergente; la città sembra non avere più consistenza, se non attraverso una serie di aggettivi che la specificano e le conferiscono un'essenza tendenziosa, sottraendola a un processo di costante e inarrestabile perdita di identità. In effetti essa sta subendo da tempo una vera e propria emorragia di significati, di prospettive interpretative e di risorse trasformatrice in un processo entropico che rende quanto mai difficile pensare ad essa e ai progetti chiamati a modificarla in rapporto a un corpo di teorie e di pratiche dotato di una vera solidità. A fronte di realtà insediative che hanno superato la stessa soglia della megalopoli, come Città del Messico, San Paolo, Rio De Janeiro, Los Angeles, New York, Buenos Aires, Shanghai, Tokyo, Bombay, Calcutta, Lagos, tanto per citarne alcune, la forma città, un'entità concettuale che ha sostenuto la crescita urbana negli ultimi duecentocinquanta anni, sembra definitivamente incapace di individuare narrazioni adeguate e interpretazioni progettuali conformi alla natura dei problemi da risolvere<sup>32</sup>.*

Franco Purini, attraverso le aggettivazioni adottate negli anni per descrivere i nuovi prototipi di città, evidenzia proprio come l'evoluzione storica dei centri urbani e la crescita continua di megalopoli abbiano lasciato irrisolti temi di natura progettuale che, possiamo aggiungere, sono connessi anche alla sicurezza e alla conservazione dei centri storici oppure alla governance e alle strategie di intervento applicabili nelle nostre città per favorire la tutela del costruito e delle aree verdi, la memoria storica delle origini urbane nonché l'espansione controllata delle città, lo sviluppo sostenibile e una maggiore attenzione ai problemi energetici e ambientali in genere. Si tratta di temi ancor più importanti se relazionati a fenomeni naturali quali terremoti, tsunami, dissesti idrogeologici ed ogni altra calamità improvvisa che abbia messo in pericolo vite umane ed insediamenti. In particolare gli eventi sismici, che costituiscono una minaccia costante e che non siamo in grado di prevedere se non tramite scenari a medio termine spazio-temporale<sup>33</sup>, come si vedrà in dettaglio nel Capitolo 3, dedicato al rischio sismico, rendono ancor più necessarie riflessioni sulle modalità di intervento e sulla gestione del restauro urbano e ci inducono a sostenere il ricorso ad analisi oggettive del patrimonio edilizio, finalizzate alla riduzione della vulnerabilità urbana, senza tralasciare aspetti di natura ideologica riguardanti la conduzione del progetto o l'impiego di tecnologie d'avanguardia.

Convinti che la conoscenza storica e la consapevolezza urbana siano il primo strumento utile a comprendere l'identità dei luoghi e la conseguente necessità di prevenzione, tutela e valorizzazione delle città, si individuano con una breve sintesi storiografica, limitata al territorio italiano, le principali tappe dell'evoluzione urbana fino a delineare un *moderno* modello di riferimento, quello della città resiliente, che ha recentemente debuttato anche nelle teorie urbanistiche. Questo concetto ha portato l'attenzione sui nuovi obiettivi della pianificazione.

<sup>32</sup> F. Purini, R. Albiero, V. Tronchin, *Città e luoghi: materiali per la "Città rimossa"*, Gangemi, Roma, 2004, pp. 9-10.

<sup>33</sup> G. F. Panza (a cura di), A. Peresan (con il contributo di), *Previsione dei terremoti e scenari deterministici del moto del suolo*, in M. Dolce, A. Martelli, G. Panza, *Proteggersi dal terremoto: le moderne tecnologie e metodologie e la nuova normativa sismica*, 21<sup>mo</sup> SECOLO, Milano, 2005, pp. 71-112.

Non indagheremo, dunque, sui quesiti riguardanti la definizione di città e sulle motivazioni socio-politiche che hanno determinato specifici assetti territoriali, ma intendiamo capire quali sono i caratteri che contraddistinguono, nelle varie epoche, i centri urbani e quali sono i tratti distintivi che segnano il passaggio verso nuovi periodi storico-culturali e le relative trasformazioni seguite. Il disegno del tessuto urbano e gli aspetti costruttivi tipici di determinate epoche sono, infatti, un corpuso insieme di informazioni che possono guidare l'individuazione delle migliori scelte d'intervento, non solo quelle riguardanti la manutenzione e la conservazione delle città così come le abbiamo ereditate dal passato, ma possono anche guidare le scelte sull'interpretazione della città storica: un'opera d'arte da lasciare intatta o un organismo vivente che nasce, evolve con i cambiamenti della società e muore? Cosa sarebbe oggi Venezia senza il campanile di San Marco<sup>34</sup>? E' lecito ricostruire all'insegna del motto «dov'era e com'era», perseguito anche nel caso del duomo di Venzone in Friuli, dopo il terremoto<sup>35</sup>?



Fig. 1.1 L'attuale Campanile di San Marco, Venezia

Occorre chiedersi come affrontare il tema della ricostruzione, soprattutto dopo eventi naturali o antropici, come i bombardamenti delle guerre mondiali, che hanno compromesso l'immagine delle città storiche, cancellando le tracce evolutive dei luoghi e delle popolazioni locali. Probabilmente non esiste un'univoca risposta e nella storia del restauro si sono susseguite posizioni diverse, che inducono a riflettere sulla complessità del tema. Sicuramente ogni città è unica, ha una sua storia, matrice del patrimonio urbano che abbiamo ereditato e merita attente considerazioni di varia natura: dobbiamo capire cos'è l'opera d'arte, cosa significa per l'umanità conservare le nostre città, come è *giusto* intervenire e qual è il *costo* delle nostre scelte. Queste possono e devono essere di volta in volta diverse in relazione ai luoghi che analizziamo, guidate dalla logica e dalle conoscenze sullo stato dell'arte della materia.

<sup>34</sup> Il 14 luglio 1902 il campanile della Basilica di San Marco a Venezia crollò e il sindaco Filippo Grimani il 25 aprile 1903, giorno della posa della prima pietra della ricostruzione, pronunciò la famosa frase: «dov'era e com'era». AA.VV., *Il campanile di San Marco - Il crollo e la ricostruzione*, Milano, Silvana editoriale, 1992.

<sup>35</sup> P. Marconi, *Materia e significato: la questione del restauro architettonico*, Laterza, Roma, 2003, pp. 131-134.

### 1.1.1 La Città nel Medioevo

Lo studio della città medioevale prenderà in esame il periodo storico compreso fra il VI e il XII secolo, dalla fine delle grandi invasioni barbariche, che hanno portato alla scomparsa dell'impero d'Occidente, fino alla formazione, nell'Italia centrosettentrionale e in alcuni centri commerciali europei, dei Comuni, destinati a diventare signorie cittadine, nelle quali si ambienterà il Rinascimento. Saranno utilizzati, quali indicatori dei cambiamenti registrati in questo periodo, la viabilità, il ruolo delle piazze e degli edifici pubblici, di culto e non, la struttura urbana degli insediamenti all'interno delle mura e il rapporto del costruito con gli spazi verdi, la mutata concezione della campagna.

Nell'alto Medioevo si osserva un sostanziale rapporto di continuità con la città antica che implica una inevitabile conservazione dei sistemi difensivi preesistenti, dei ponti e dei porti. Dall'assetto romano si eredita la viabilità principale, costituita da strade rettilinee che dalle porte urbane conducono al centro cittadino; tuttavia, pur mantenendosi inalterata la funzione dell'arteria principale, cambia l'uso del filo stradale che perde l'impostazione rettilinea a causa del mancato controllo dell'autorità pubblica e a causa dei mutamenti delle proprietà private costruite sui fili stradali. Si assiste, come sostiene il Guidoni<sup>36</sup>, al crollo della «qualità urbana». Le strade importanti sembrano restringersi, diventano irregolari per l'inosservanza dell'antico ordine geometrico e la sede stradale è invasa dalle abitazioni e dalle botteghe, sono soprattutto i porticati ad accrescere l'occupazione viaria. Tra il VII e VIII secolo, nel periodo longobardo, sia le strade esistenti sia quelle di nuovo impianto di tipo radiale non sono luoghi di sosta, destinati ad attività collettive, bensì sono puri collegamenti fra i nodi principali della città: la piazza, le porte, le mura e le chiese. Analogamente alla rete viaria, anche i principali edifici dell'antichità continuano a essere importanti riferimenti urbani ma cambia la loro destinazione d'uso: teatri e anfiteatri, per la forma convessa, erano ritenuti dai barbari luoghi ideali per la difesa; altri monumenti saranno considerati solo depositi per l'approvvigionamento di materiali da costruzione, ma garantiranno il riuso urbano dei luoghi e l'edificazione di nuove abitazioni nelle prossimità dei monumenti esistenti. La continuità urbanistica con la città antica rappresenta una società in crisi, dal punto di vista economico, demografico, organizzativo che si serve del passato per avviare un'epoca di trasformazioni necessarie alle mutate esigenze sociali.

Le trasformazioni più evidenti riguardano la viabilità territoriale; le strade del commercio e quelle del pellegrinaggio diventano una vera rete di collegamenti per le città europee, mentre la viabilità interna dei singoli nuclei urbani, costituita dalla maglia storica preesistente, è affiancata fra l'VIII e il IX secolo da un sistema di nuove arterie, in coincidenza con un certo incremento demografico. Si tratta di strade dall'andamento curvilineo, frutto della spontaneità e non di una logica programmatica che definisce standard di forma e ampiezza, a indicare l'appartenenza a una determinata cultura, offuscata dall'impero romano ma destinata a riemergere in gran parte del territorio europeo. Le tradizioni dei popoli germanici, legate al culto degli elementi naturali, soprattutto fiumi e alberi, saranno fonte d'ispirazione nel disegnare l'andamento delle nuove strade. Anche le tecniche costruttive dell'epoca, basate sull'uso prevalente di materiali *leggeri* come il legno, hanno contribuito alla diffusione di linee meno rigide, in particolare nella realizzazione dei recinti composti di terrapieno e palizzata. In questo modo è stata favorita la formazione di strade dall'andamento tortuoso, una scelta formale dei costruttori, appartenenti per lo più alla classe contadina. Le strade medioevali sono state realizzate nell'epoca «dell'autocostruzione della città»<sup>37</sup>: senza gli strumenti dell'agrimensore e solo con l'abilità dell'occhio e la manualità personale. Per dimensionarle si usavano criteri *popolari*, ad esempio la larghezza era pari almeno a quella di un carro, ma per il tracciato non si seguivano regole di visuale, gli allineamenti stradali o ragioni funzionali alle nuove lottizzazioni. Le strade, inoltre, avevano degli

<sup>36</sup> E. Guidoni, *Il Medioevo: secoli VI-XII*, Laterza, Roma - Bari, 1991, p. 6.

<sup>37</sup> *Ibid.*, p. 40.



appellativi che ne delineavano la natura, così la «*strata viarum*»<sup>38</sup> era la via pavimentata e coincideva con un tracciato principale; non si intendeva distinguere solo le strade principali da quelle secondarie, ma si gerarchizzavano le stesse in base alla funzione che avevano. La gerarchia era imposta dalla loro larghezza: dalla via regia ampia ben 64 piedi, a quella principale di 32 piedi, alla via comune di 16 piedi, dalla via carrareccia larga 8 piedi a quella minore di soli 4 piedi.

Altro elemento distintivo del periodo medioevale è l'attenzione per i sistemi di difesa delle città, come la costruzione di alte mura o la realizzazione di fossi e terrapieni, per i centri sorti in posizione privilegiata, come Orvieto. La necessità del controllo centralizzato e la conseguente formazione di città radiali consentiva una facile suddivisione delle mura ai suoi abitanti che ne curavano la costruzione e la manutenzione, in concorso con la popolazione delle campagne. Per quanto riguarda la realizzazione dei forti, questi servivano non solo come strumento di avvistamento ma anche per alloggiare i disertori nemici e trattenere i fuggitivi, assumendo il ruolo dei moderni istituti penitenziari divisi per categorie; infine, i forti erano punti di raccolta per le truppe. La loro costruzione avveniva secondo strategie militari per tenere sotto controllo il potenziale nemico e allontanarlo. Oggi sono poche le città che conservano intatte o quasi le fortificazioni di epoca medioevale: ricordiamo a proposito le città di Lucca, Ferrara e Bergamo.



Fig. 1.2 Città di Lucca: (a) Porta San Pietro, (b) Mura della città, (c) Porta San Gervasio

Il terzo aspetto identificativo dell'epoca è la nascita e la diffusione delle abbazie. Costruzioni rurali destinate alla preghiera, alla riflessione e allo studio, questi luoghi sono simboli del potere religioso e strumenti di controllo delle campagne, dove si sposta il peso economico delle città. Nel periodo carolingio, le architetture monumentali assumeranno significati simbolici come quello della *civitas* e le stesse abbazie saranno intese come piccole città, un recinto rettangolare chiuso, il cui centro è rappresentato dal chiostro, che dal XII secolo, soprattutto nelle abbazie cistercensi, diventerà il modello della piazza centrale.

Tra il X e l'XI secolo, l'incremento demografico è propulsore delle nuove urbanizzazioni e dell'individuazione di nuove aree da destinare all'agricoltura intensiva. Le città medioevali non crescevano a dismisura: si avvalevano di criteri di proporzionalità e adottavano principi di decentramento funzionale; questo motiva la dislocazione delle chiese nelle varie parti della città. Gli ampliamenti urbani venivano effettuati con l'abbattimento delle

<sup>38</sup> *Ibid.*, p. 40.

vecchie mura e la costruzione di nuove, come nel caso di Firenze<sup>39</sup>, dove nel 1172 viene progettata una nuova cinta, ormai scomparsa, sostituita circa un secolo più tardi da una nuova cerchia muraria. Le limitazioni alla crescita urbana erano dettate dagli scarsi approvvigionamenti di viveri e di acqua, e da decreti municipali emanati per contrastare i fenomeni di immigrazione. Si preferiva, dunque, fondare nuove città, spesso non molto distanti da quelle esistenti; in Francia la distribuzione nel territorio delle nuove città avveniva secondo un preciso schema, per cui la distanza dall'una all'altra era pari a un giorno di cammino per andare e venire. I nascenti centri sono progettati secondo diverse ideologie culturali: il modello anglosassone guiderà tutta la corrente nord-occidentale verso il sistema della croce di strade, quello tedesco sostiene la croce di chiese e l'assialità architettonica, la corrente bizantina predilige strade parallele, infine l'influsso islamico si orienta sulla concezione radiale. Lo schema delle città islamiche si può riassumere in tre elementi: lo «*shari*»<sup>40</sup> che prevede una strada di attraversamento e di collegamento delle varie porte principali, il «*darb*»<sup>41</sup>, una sorta di via secondaria che distribuisce la densità urbana nei vari quartieri e l'«*azukac*»<sup>42</sup> cioè il vicolo cieco a servizio delle residenze. Le terminologie musulmane sono abbastanza varie nelle diverse aree della cultura islamica, tuttavia il modello urbano si riconosce facilmente e avrà influssi sull'area europea, in particolare in Spagna e in Italia. La città di Palermo accoglie e fa propri i vicoli e alcune caratteristiche delle abitazioni islamiche. Fra i vari influssi culturali appena citati, quello di matrice bizantino - monastica sarà probabilmente il più diffuso nel periodo tardo medioevale, essendo facile da adattare a ogni situazione altimetrica. Esempi di questo impianto si trovano sia nell'Italia del Sud, come a Taranto, ma anche nell'area centro-settentrionale e in particolare nell'area piemontese e in quella veneto-adriatica.

Nel periodo ottoniano, nella regione tedesca, acquista importanza il luogo del mercato e la città di Magdeburgo diventa il simbolo della libertà di commercio. I primi mercati erano collocati in pianura, in un punto favorevole ai traffici, spesso ai piedi di un'altura fortificata e implicavano la formazione di una piazza quadrangolare posta all'incrocio di arterie principali. Anche in Italia, intorno alla metà dell'XI secolo, l'autonomia cittadina inizia a condizionare le scelte urbanistiche; infatti, all'interno dello stato-città di giurisdizione vescovile, si forma un'area mercantile e laica dove, nel Duecento, nasceranno vere e proprie piazze mercantili. Queste assumeranno nella città un ruolo sempre più centrale; verranno, infatti, ospitate ai piedi della cattedrale oppure, come avviene a Parma, sarà realizzato uno stretto passaggio che collega la piazza mercantile a quella del duomo. Costituiscono casi emblematici i centri marinari di Genova, Pisa e Venezia, che nel XII secolo diventano noti centri commerciali, determinando la formazione di due organizzazioni: la «*funda*»<sup>43</sup> e la «*cathena*»<sup>44</sup>. La prima rappresenta il vero e proprio luogo per lo scambio dei prodotti, funzione che ritroviamo anche nelle città dell'entroterra; la cathena, invece, è l'area vicina al porto, dove avvengono le operazioni di carico e scarico delle merci e le relative imposizioni daziarie: prende il nome dalle catene di ferro che chiudono l'accesso ai bacini portuali in situazioni di attacco nemico. Intanto, in Francia e nelle Fiandre si diffondono persino delle associazioni di mercanti o gilde per il controllo dei luoghi e delle vie di comunicazione.

Tra XI e XII secolo, nei comuni italiani viene del tutto soppiantata l'autorità vescovile; sono coinvolte anche le antiche famiglie feudali, responsabili delle scelte riguardanti le nuove modalità costruttive e le nuove tipologie edilizie. Si diffonde la tecnica delle costruzioni in muratura in sostituzione dei materiali vegetali e le famiglie nobiliari iniziano a costruirsi proprie residenze fortificate, spesso caratterizzate da piccole torri. Accanto alle residenze dei benestanti nascono le prime case a schiera: il piano terra era utilizzato come bottega

---

<sup>39</sup> *Ibid.*, p. 238.

Maggiori dettagli in: R. Davidsohn, *Storia di Firenze. Le origini*, Edizioni di storia e letteratura, Roma, 2009.

<sup>40</sup> E. Guidoni, *op. cit.*, p. 102.

<sup>41</sup> *Ibid.*, p. 102.

<sup>42</sup> *Ibid.*, p. 102.

<sup>43</sup> *Ibid.*, p. 303.

<sup>44</sup> *Ibid.*, p. 303.

artigianale, ai piani superiori erano alloggiati i vani dell'appartamento e sul retro dell'abitazione si trovava un piccolo orto per la coltivazione domestica, nel quale si riciclavano anche i rifiuti prodotti dalla famiglia e dagli animali posseduti. Erano abitazioni complete: la presenza del verde, oltre ad essere funzionale, era anche un retaggio delle tradizioni ereditate e questo modello abitativo, come sostenuto da Mumford, conferiva alle città un carattere «rurale»<sup>45</sup>, garante dell'igiene urbana; i problemi di sovraffollamento riguardano quindi il periodo post-medievale. L'analisi dell'edilizia storica e l'individuazione delle cellule abitative primarie sono state affrontate in Italia, in particolare, nella seconda metà del Novecento da vari studiosi come S. Muratori e A. Giuffrè, come si preciserà meglio in seguito, ma con analoghe finalità: la comprensione dei caratteri evolutivi dei tipi edilizi<sup>46</sup>.

Nelle città padane e dell'Europa centrale si lasciavano ampie zone inedificate in occasione degli ampliamenti urbani: era il cosiddetto «“verde di nuova inclusione”»<sup>47</sup>, dove spesso nascevano orti urbani, una vera risorsa alimentare in situazioni di emergenza, come assedi o calamità. Questi spazi nei secoli successivi saranno occupati dai conventi, responsabili della coesistenza di due tipologie verdi: gli orti urbani e il verde mistico dei chiostrini<sup>48</sup>. In questo periodo si accentuano le differenze fra il Nord e il Sud dell'Italia: mentre nel Centro-Nord l'indipendenza economico-politica favorisce la formazione di città-stato, dove la campagna è assoggettata alle esigenze comunali e dove è forte il potere dalle classi mercantili, nel Sud il sistema feudale impedisce la creazione di autonomie locali, non sussiste nessun legame fra politica ed economia ed analogamente nessuna dipendenza della campagna dalla città.

### 1.1.2 La Concezione Rinascimentale

Dopo il Trecento, segnato, in tutto il continente, da una profonda crisi economica, inizia una fase di rinascita che in Italia, nel clima dell'Umanesimo, è portatrice di una nuova era urbanistica, soprattutto in alcune zone come la Toscana e l'Umbria, dove si diffondono schemi di tipo policentrico. Questo modello è conseguenza della perdita, da parte della chiesa, del ruolo centrale assunto nel Medioevo, e già nel Trecento la costruzione delle chiese seguiva nuovi principi urbani: non erano più isolate dal contesto, centralizzate e valorizzate dal vuoto delle piazze che dominavano, ma venivano allineate lungo uno dei lati della piazza e in molti casi con un asse stradale; inoltre, non erano più elementi fuori scala che emergevano dal contesto, ma si adeguavano a questo con nuovi rapporti di proporzionalità, forse a simboleggiare l'atteggiamento francescano che sosteneva la semplicità di vita e la ricerca della luce come mezzo di lettura degli affreschi, ora realizzati più in basso sulle pareti. Con l'Umanesimo anche gli edifici, simbolo del potere politico ed economico, non sono più poli attrattori; così in città come Roma, Firenze e Venezia si affermano nuovi equilibri urbani basati sul decentramento delle funzioni e sulla suddivisione della città in quartieri. La prima conseguenza di tale atteggiamento è lo svuotamento del centro storico e la dispersione delle famiglie benestanti e dei palazzi-banca nel resto della città.

La suddivisione in quartieri non implica solo una forma urbana chiusa, ma risponde anche a esigenze di tipo figurativo e indica infine un nuovo ordine politico, consentendo di uniformare all'interno dello stesso quartiere le classi sociali, con l'inevitabile formazione di

<sup>45</sup> L. Mumford, *La cultura della città*, Edizioni di Comunità, Torino, 1999, pp. 30-36.

<sup>46</sup> G. Caniggia, G. L. Maffei, *Composizione architettonica e tipologia edilizia*, vol. 1 - *Lettura dell'edilizia di base*, Marsilio, Venezia, 1995;

A. Giuffrè (a cura di), *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso Ortigia*, Editori Laterza, Roma - Bari, 2006.

<sup>47</sup> V. Bettini, *Elementi di ecologia urbana*, Einaudi, Torino, 1996, p. 210.

<sup>48</sup> *Ibid.*, p. 210.

ghetti poveri. L'Alberti<sup>49</sup> sosteneva che il modello della suddivisione urbana era un utile strumento per dirimere eventuali rivolte popolari, anche se lo stesso Alberti precisava che i quartieri non dovevano servire a dividere le classi agiate da quelle popolari o a separare le aree residenziali della città da quelle produttive, ma al contrario in ogni quartiere bisognava integrare strati sociali e funzioni, così da rendere il popolo partecipe alla vita comunitaria. Inoltre, l'Alberti non considerava le chiese e i palazzi del passato dei riferimenti urbani da valorizzare, ma puntava l'attenzione sulle piazze e sui palazzi di pubblico incontro, dove nessuno poteva essere discriminato in base ad una classe di appartenenza e dove era forte il sentimento dell'uguaglianza. Queste teorie furono ben accolte nel Quattrocento, accompagnate dalla specializzazione funzionale urbana, che interessava singole strade, piazze e riguardava soprattutto la distribuzione delle attività economiche nella città; nel secolo successivo la specializzazione funzionale sarà adottata per intere aree urbane e riguarderà anche la distribuzione del residenziale all'interno del tessuto, determinando tuttavia la dissociazione funzionale delle attività e delle classi.

Il rapporto della città col territorio, fino alla metà del Duecento, era basato sull'integrazione funzionale della parte urbana con la campagna, poi con la suddivisione sociale in tre classi, quella aristocratica, quella popolare e la borghesia mercantile; con il prevalere di quest'ultima a seguito dello sviluppo commerciale, l'inurbamento aumentò a discapito dell'agricoltura. La presenza fisica delle mura rendeva il divario fra le due realtà ancor più percepibile. Nel Quattrocento, c'è di nuovo un dialogo fra ambiente naturale e ambiente antropico: dopo un periodo di pestilenze, iniziò, infatti, una fase di incremento demografico, direttamente responsabile della nascita di ville e casali sparsi nel territorio. Da un lato si riscontra una certa valorizzazione delle campagne, attraverso il rispetto dell'orografia e delle forme naturali del paesaggio, dall'altro la campagna subisce l'influenza dell'ordine e delle geometrie urbane tanto che gli alberi sono piantati in filari regolari e i campi sono segnati da confini squadrati. Il gusto per la perfezione figurativa riflette le tendenze che in questo periodo si affermano anche in architettura e urbanistica, mentre, nel Cinquecento, non solo si rompe ogni legame fra città e campagna, ma le rappresentazioni pittoriche mostrano il prevalere della natura sulla città, invertendo la tendenza del secolo precedente. La campagna sarà figurata come un'immagine sognata, poco reale, di nuovo irregolare, simbolo della decadenza agricola, che si stava attuando in favore della pastorizia e in conseguenza della rifeudalizzazione del territorio.

Le città non hanno una rigida forma circolare, teorica e astratta: in sostanza la concezione urbana a cerchi concentrici, risalente a Platone e sostenuta dall'Alberti, di fatti non era «reale»<sup>50</sup>. Le città rinascimentali avevano una forma poligonale, come mostrano Pienza o Ferrara, per rispondere a esigenze concrete, in particolare quella di aderire alla conformazione dei siti e garantire la sicurezza dai pericoli naturali. Nel Rinascimento l'unica città fondata ex-novo è quella di Cortemaggiore. Si può immaginare che i limiti alle nuove urbanizzazioni hanno due motivazioni: di tipo economico e di tipo teorico. La prima riguarda lo sviluppo demografico del Quattrocento, che non consente di cumulare ricchezze; la seconda, dell'Alberti<sup>51</sup>, indica che il piano urbano non deve essere attuato in un solo tempo ma è necessario un legame storico fra la città del passato, quella presente e la città del futuro e per questo sono preferibili gli interventi di ristrutturazione a quelli di nuova fondazione. Fino alla seconda metà del Quattrocento, gli interventi urbani sono relazionati solo con l'ambiente circostante, così ogni caso è risolto in modo diverso; dopo la metà del secolo si assume una visione globale e unitaria della città e tutti gli interventi sono gestiti con maggior coerenza fra loro e con l'esistente, secondo una visione «universale»<sup>52</sup> che assimila la città a un «microcosmo»<sup>53</sup>, come avviene a Roma e Milano.

---

<sup>49</sup> G. Simoncini, *Città e società nel Rinascimento*, Einaudi, Torino, 1974, pp. 24-29.

<sup>50</sup> *Ibid.*, pp. 46-51.

La forma a cerchi concentrici era frutto di una visione ideale della città, teorizzata sia da Leonardo Bruni che da Leon Battista Alberti ed è presentata dal Simoncini come «la città reale» in relazione «alla tendenza di adattare la forma circolare urbana all'ambiente naturale», p. 47.

<sup>51</sup> *Ibid.*, pp. 51-52.

<sup>52</sup> *Ibid.*, pp. 91-93.

Nel Cinquecento la città, prima reale e poi universale, cede il passo alla città «ideale»<sup>54</sup>, in coincidenza con la diffusione dei principati. La sua immagine è quella di un centro urbano racchiuso all'interno di mura regolari, basato su un impianto di tipo radiale e in alcuni casi a scacchiera, centralizzato nel luogo della piazza del castello o della cattedrale. In realtà, in questo periodo la diffusione delle armi rende le sole mura inadeguate a garantire la sicurezza urbana; la costruzione di bastioni, che consentono la difesa da posizioni laterali, determinò l'incremento delle fortificazioni, non più adattate alle preesistenze urbane e naturali. La forma delle città in questo secolo è definita, dunque, dalla primaria esigenza di difesa e dalla volontà di accrescere il prestigio del principe.

Intanto le conseguenze dello schema policentrico e poligonale, del primo Rinascimento, sono evidenti in particolare sulla viabilità, mentre città esistenti come Firenze o Bologna ereditano e conservano l'impianto anulare, ma in luogo delle antiche mura verranno in seguito realizzati circuiti viari; in altri centri, come nel caso di Cittaducale, sono sperimentate soluzioni a schema ortogonale. Nelle città americane questo modello sarà quello prediletto, soprattutto per ragioni culturali e tecniche. La griglia richiama, infatti, il sistema cardo-decumano di epoca romana ma consente anche una buona gestione del traffico e un'adeguata rete di difesa della città. In questo modo la conformazione urbana era assolutamente modulare ed elementi eterogenei erano così uniti nella molteplicità dei luoghi. Secondo l'Alberti<sup>55</sup> non dovevano essere gli aspetti funzionali a definire la forma dei moduli ma viceversa, quindi prima il disegno dell'ossatura urbana, poi l'organizzazione del costruito; il disegno della città per moduli era l'unico strumento che serviva a dare unità a città in continua crescita. Accanto alla modularità dell'impianto si affermava la necessità di costruire per tipologie edilizie, spesso diversificate in relazione alla classe sociale di appartenenza. Questa tendenza si rafforza nel Cinquecento, con il ricorso a soluzioni standardizzate, applicabili su tutto il tessuto urbano. Contemporaneamente, lo schema ortogonale e la modularità saranno sostituiti dal sistema radiale ritenuto più adatto alla difesa urbana in caso di attacco: questo modello sarà preferito fino al Settecento inoltrato.

La città rinascimentale mantiene la viabilità dell'epoca precedente ma i tracciati sono rettificati, ampliati per fini militare e diventano finalmente un luogo di incontro, così le strade del Medioevo, strette, tortuose, prive di visuali, sono modificate dai progetti di ristrutturazione stradale. La necessità di intervenire sulla viabilità era dettata inizialmente da esigenze pratiche: la graduale diffusione delle carrozze richiedeva percorsi più adatti; ma ben presto si sono imposte anche esigenze di tipo figurativo: la diffusione della prospettiva centrale richiedeva la visione d'insieme da un solo punto di vista, e questo ha avuto inevitabili conseguenze sull'architettura dei palazzi e naturalmente sulla viabilità. Il primo esempio di ristrutturazione stradale è rappresentato dalla città di Gubbio, ma sono diverse le città oggetto di interventi urbani: si ricordano ancora Firenze, che rettificò le attuali Via Cavour e Via Maggio, e Ferrara dove nel 1492, su commissione di Ercole I, fu realizzata la cosiddetta *Addizione Ercole*<sup>56</sup>. Il progetto di Biagio Rossetti si basava su due assi ortogonali, quello di Via dei Prioni, ora Corsi Porta Mare, B. Rossetti, Porta Po e quello di Via degli Angeli, ora Corso Ercole I d'Este, una strada residenziale preservata dai rumori delle attività commerciali e dal traffico.

---

*La città che derivò da questo atteggiamento, era ancora la città reale, ed in essa prevaleva ancora la considerazione per una concezione integrata dei fatti figurativi, funzionali e sociali, del passato e del presente; ma l'intervento non si esauriva più nel particolarismo del periodo precedente, bensì aveva un respiro che lo portava a divenire rappresentativo di un modo diverso di concepire la città intera, ed in questo senso si può affermare che la città della seconda metà del quattrocento è una città universale.* p. 92.

<sup>53</sup> *Ibid.*, p. 92.

<sup>54</sup> *Ibid.*, pp. 160-196.

Il Simoncini si riferisce in particolare alla forma urbana e il concetto di «ideale» interpreta i caratteri funzionali, strutturali e formali che rappresentano la città del Cinquecento: una città interessata da una forte specializzazione funzionale, la sua struttura è di tipo «cellulare» e organizzata secondo uno schema radiale o stellare.

<sup>55</sup> *Ibid.*, pp. 56-59.

<sup>56</sup> R. Rimondi, *Ferrara: la nuova guida*, Cirelli e Zanirato Editore, Ferrara, 2011, p. 71;

Approfondimenti in: C. Bassi, *Nuova guida di Ferrara*, Italo Bonavolonta editore, Ferrara, 2012, pp. 70-104.





**Fig. 1.3** Incrocio fra Corso Ercole I d'Este e Corso Biagio Rossetti con vista di Palazzo dei Diamanti, Ferrara

Le strade, come nel periodo precedente, hanno una specificazione funzionale ma, mentre le attività commerciali erano prima situate solo nelle strade secondarie, ora, in base al loro valore economico, trovano posto anche in strade principali. Queste si presentavano, dunque, come strade rette, fiancheggiate da portici e palazzi allineati, come teorizzato dall'Alberti, dal Martini, dal Filarete e da Leonardo. Le strade secondarie, invece, anche se rettilinee per favorire il deflusso delle piogge, non avevano portici ed erano di dimensioni minori, la loro ampiezza dipendeva dal clima: in quelli caldi si preferivano strade strette per ripararsi dal sole, mentre in climi freddi erano ampie per migliorare il soleggiamento. La distinzione fra strade primarie e secondarie resterà anche nel Cinquecento, ma le prime saranno qualificate da esigenze di tipo militare e sarà solo grazie al Palladio che le strade principali saranno ritenute adatte all'ubicazione di edifici di rappresentanza, di culto e di governo. Le strade secondarie, invece, nella visione del Palladio, dovevano rispettare criteri di forma-funzione e quindi erano ben apprezzate le considerazioni sul clima locale. L'elemento che contraddistingue la strada cinquecentesca dalle altre epoche è l'edificio di interesse posto come fondale: a Firenze la Via dei Servi è centralizzata da una parte sulla Chiesa dell'Annunziata e dall'altra sulla cupola di Santa Maria del Fiore; a Roma la Via Trinitatis è centralizzata sulla Trinità dei Monti. Sono, tuttavia, esempi rari, poiché la viabilità era rappresentata da prospettive aperte, caratterizzate dalla vista di scorcio di edifici significativi.



**Fig. 1.4** Vista da Via dei Condotti, ex Via Trinitatis, della Chiesa della Santissima Trinità, Roma

Nel Quattrocento, si possono distinguere due tipologie di piazze: quelle ristrutturare, dalla configurazione aperta, relazionate all'ambiente circostante e specializzate dal punto di vista funzionale e le piazze nuove, prevalentemente di tipo chiuso, che assumono un aspetto distaccato dal contesto urbano e sono considerate luoghi d'incontro, dove più funzioni coesistono insieme. Esempio di nuova realizzazione è Piazza della Santissima Annunziata a Firenze, il cui impianto è determinato dalla costruzione dell'Ospedale degli Innocenti di F. Brunelleschi, caratterizzato dalla presenza del loggiato. La Piazza si basa sugli allineamenti di Via de' Servi con la Chiesa della SS. Annunziata e dalla Confraternita dei Servi di Maria, realizzata a completamento della piazza, con l'Ospedale.



Fig. 1.5 Viste da Via dei Servi, Firenze: (a) Piazza e Chiesa della Santissima Annunziata, (b) Cupola di Santa Maria del Fiore

Nel Cinquecento, cambia la concezione delle piazze ed è ancora il Palladio a indicare la chiave interpretativa del loro ruolo. Egli ritiene necessario distinguere la piazza principale, centro della città ideale, caratterizzata dalle funzioni del governo, dell'economia e della giustizia, perfettamente rappresentata da Piazza San Marco a Venezia, dalle piazze secondarie, più piccole, sparse nel tessuto e monofunzionali. Si può inoltre osservare come sia cambiato nei secoli il rapporto fra la piazza e gli edifici: nel primo Rinascimento erano elementi figurativi distinti oppure se correlati non c'era il predominio dell'uno sull'altro. Nel Cinquecento, la piazza oltre a non essere più intesa come luogo di incontro, perde soprattutto la sua autonomia figurativa, si rapporta necessariamente all'edificio che vi prospetta e quindi se l'edificio era pubblico la piazza assumeva una configurazione piuttosto larga, mentre se l'edificio era religioso la piazza era progettata in profondità con l'edificio sul lato corto. Nello stesso periodo si afferma anche il gusto per la centralizzazione della piazza su elementi di decoro come statue, obelischi, fontane; fino alla metà del secolo precedente, al contrario, questi elementi erano collocati spesso in posizione angolare.

### 1.1.3 La Visione Urbana nel Barocco

Il periodo storico che analizziamo è il Seicento, un secolo che vede nascere nuove concezioni urbane e architettoniche, nonostante il rapporto di continuità con la seconda metà del secolo precedente. Cercheremo di oltrepassare la visione della città come «luogo di spettacolo»<sup>57</sup>, legata al mondo del teatro e della scenografia e andremo a evidenziare i due elementi contraddittori e rappresentativi del Barocco.

<sup>57</sup> E. Guidoni, A. Marino, *Il Seicento*, Laterza, Roma - Bari, 1979, p. 18.

Anzitutto l'aspetto metodico e astrattamente matematico, espresso alla perfezione nei rigorosi piani stradali, nelle ordinate piante urbane, nei giardini geometricamente disposti e nell'organizzazione del paesaggio naturale. Ma nello stesso tempo attraverso la pittura e la scultura di questo periodo, ne riassume l'aspetto sensuale, ribelle, eccessivo, anticlassico e antimeccanico, espresso negli abiti, nella vita sessuale, nel fanatismo religioso e nell'assurdo regime politico<sup>58</sup>.

Dal mondo della biologia e della botanica, l'urbanistica farà propria la tendenza a classificare forme e tecniche operative, segno che anche la pianificazione urbana si avvale ora di un nuovo approccio scientifico. Altrettanto importante è l'influenza culturale dei territori colonizzati. Le compagnie delle Indie e le spedizioni missionarie, dei gesuiti in particolare, hanno stabilito rapporti sempre più stretti con l'Africa, l'America e le isole minori del Sud-Est asiatico, per cui, se da un lato è vero che il mondo occidentale si è imposto con le sue tendenze nei paesi sottomessi, è anche verificato il fenomeno inverso.

Le città, che brevemente citeremo, e i relativi interventi, che ricorderemo, consentono di individuare i tratti distintivi del Barocco: la nascita del *corso*, come lo intendiamo oggi, come luogo di passeggio, ma anche come asse viario della circolazione su *ruota*; la diffusione delle *borse*, gli edifici del potere economico dove si incontrano uomini d'affari; l'edificazione pianificata secondo *tipologie* standardizzate; il carattere *pubblico* della progettazione e l'*ordine* perseguito nella pianificazione urbana; l'immagine delle *chiese*, non solo luoghi di culto, ma anche monumenti rappresentativi destinati, insieme agli edifici pubblici, a impreziosire l'aspetto delle città; la diffusione di statue, fontane e obelischi celebrativi, simboli della retorica seicentesca.

Nell'Italia meridionale una delle città più rappresentative del Barocco è Palermo. L'intervento che certamente ha trasformato l'aspetto della città è il prolungamento dell'antico asse del Cassaro, oggi Via Vittorio Emanuele, con la realizzazione, nel 1609, di una nuova arteria ortogonale a questa, Via Maqueda. Al centro della «croce di strade»<sup>59</sup> è posta una teatrale Piazza Vigliena, nota come Ottagono del Sole, così da cancellare definitivamente l'aspetto medievale della città e accrescere la percezione dello spazio pubblico, ora diviso in quattro quartieri schematici e rappresentato da un polo ottico di forma ottagonale.

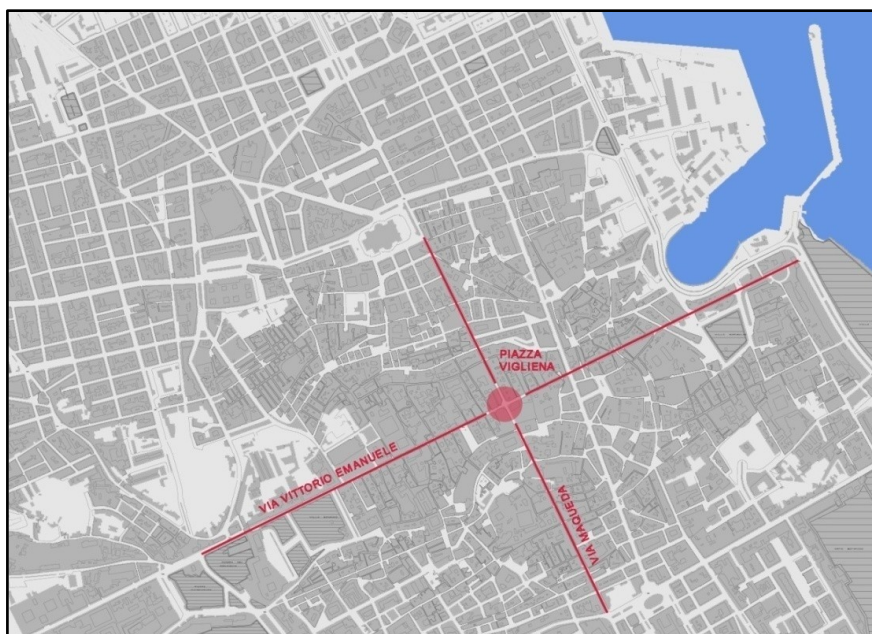


Fig. 1.6 La città di Palermo: incrocio fra Via Vittorio Emanuele e Via Maqueda (base cartografica in: [http://www.archweb.it/dwg/geografia\\_mappe\\_dwg/citta\\_italiane/citta\\_italiane\\_dwg.htm](http://www.archweb.it/dwg/geografia_mappe_dwg/citta_italiane/citta_italiane_dwg.htm), 26/06/2014)

<sup>58</sup> L. Mumford, *La città nella storia*, Bompiani, Milano, 2002, Vol. 2, p. 442.

<sup>59</sup> E. Guidoni, A. Marino, *op. cit.*, p. 70.



Una croce di strade di pari valore la ritroviamo anche a Messina, nell'incrocio fra Via Austria e Via Cardines; nella stessa città con la realizzazione della nuova via del porto, che rende accessibile il lungomare, la Strada Colonna, è realizzato uno straordinario intervento, la Palazzata, distrutta dal terremoto del 1783, ricostruita nell'Ottocento e nuovamente distrutta dal devastante terremoto del 1908. Il progetto mostrava come la visione urbana potesse partecipare alla dimensione paesistica: non era un edificio militare di tipo difensivo, ma, al contrario, un anfiteatro marittimo in muratura.

Consideriamo ora il caso della città di Roma, dove il livello demografico resta pressoché stabile per tutto il secolo e gli interventi riguardano solo ampliamenti, realizzazioni monumentali, opere di arredo urbano. All'epoca di Paolo V il progetto di modifica di San Pietro, trasformata a croce latina e decorata da una nuova facciata, richiede una diversa concezione della piazza, che sarà risolta solo dal colonnato berniniano. Nello stesso tempo sono attuati alcuni interventi di urbanistica nel quartiere di Trastevere, dove si progettano le fognature, per migliorare le condizioni pubbliche d'igiene, e le pavimentazioni stradali, per la pubblica utilità; fra le opere d'interesse collettivo si ricorda anche la realizzazione dell'acquedotto dell'acqua Paola: ispirerà la progettazione di una fontana, che utilizza simbolicamente quattro colonne della vecchia facciata di S. Pietro per creare una perfetta quinta scenografica, capolavoro di G. Fontana. Infine, del pontificato di Paolo V si ricorda soprattutto l'apertura di due assi: Via di S. Francesco a Ripa e Via Paolina, che hanno per fondali chiese esistenti.

Il papa che forse meglio interpreta lo stile barocco è Urbano VIII Barberini. Attuando un vero distacco dal passato, il nuovo pontefice fa eseguire diversi restauri, come nell'area della Chiesa Nuova; farà anche realizzare in alcuni punti della cerchia aureliana una nuova cinta; sarà rafforzato il Quirinale e potenziato Castel Sant'Angelo: questi saranno gli ultimi interventi di fortificazione a Roma. Altri lavori importanti saranno attuati nell'epoca di Innocenzo X e poi di Alessandro VII, ma non citeremo la lunga e complessa storia romana in questo excursus.



Fig. 1.7 Alcuni interventi eseguiti nella città di Roma all'epoca di Paolo V (base cartografica in: [http://www.archweb.it/dwg/geografia\\_mappe\\_dwg/citta\\_italiane/citta\\_italiane\\_dwg.htm](http://www.archweb.it/dwg/geografia_mappe_dwg/citta_italiane/citta_italiane_dwg.htm)), 26/06/2014)

Fra le città dell'Italia settentrionale più rappresentative della concezione barocca troviamo Torino, interessata soprattutto da ampliamenti urbani. Il primo di questi riguarda il *castrum* romano, unito nella parte meridionale a una Città Nuova: da Piazza Castello parte un'arteria che attraversa il vecchio tessuto e arriva nell'area di espansione, costituita da lotti perfettamente squadrati ma di maggiori dimensioni rispetto a quelli antichi e con strade principali di maggior ampiezza. La parte antica e il nuovo nucleo saranno uniti dalla Piazza S. Carlo, progettata nel 1637 da C. di Castellamonte, un rettangolo allungato, porticato sui lati lunghi e attraversato, sui lati corti, dalla Strada Nuova. Nel 1632 verranno anche abbattute le vecchie mura per costruire una nuova fortificazione che abbraccia tutta

l'area di nuova espansione e la Porta Nuova sarà costruita in marmo. L'aspetto connotativo dell'ampliamento è la volontà di uniformare tutti i fronti stradali, anche quelli storici; il principale artefice di questa concezione è Vittozzo Vittozzi, che creò coperture continue e aggiunse alle piccole aperture grandi incorniciature, per dare a tutti i prospetti, le stesse caratteristiche. La suddivisione orizzontale delle facciate servirà anche a scandire la distribuzione sociale all'interno dei palazzi: così sulle botteghe del piano terra troviamo l'appartamento nobile; sopra ancora, le abitazioni borghesi; e nelle soffitte il proletariato urbano, una suddivisione che arriverà fino all'Ottocento.

Le città considerate mostrano tutto scarso interesse alla sistemazione, all'interno dell'area urbana, dei primi laboratori industriali e degli uffici dei mercati; in sostanza, il piano barocco non prendeva in esame la sistemazione degli edifici destinati alle attività lavorative e inevitabilmente, questi si collocheranno da soli ai margini delle città, senza alcun ordine. Al contrario di quanto avviene nella pianificazione delle aree produttive, durante il Barocco, cresce l'interesse per la progettazione di giardini e parchi pubblici; il verde in tutte le città è gestito con la realizzazione di geometrie floreali, il ricorso a prati perfettamente rasati e a vialetti alberati, secondo quel modello d'ordine che, come evidenziato, domina nella progettazione architettonica e nella pianificazione urbana. C'è un nuovo concetto di natura: gli organismi vegetali non crescono più spontaneamente ma sono piantati e modellati per mano di giardinieri e paesaggisti, attenti alle composizioni e al risultato formale, intenti a perseguire un ideale di bellezza che è quasi una formula matematica.

#### 1.1.4 La Città Illuminata

Nella prima metà del Settecento sarà sempre attiva la corrente del Barocco e fra le città italiane interessate da interventi urbanistici troviamo ancora Torino. Lo Juvarra, nominato sovrintendente ai lavori reali da Vittorio Amedeo II, progetterà fra il 1714 e il 1728 un nuovo ampliamento, basato sull'asse Est-Ovest verso porta Susina, in stretta continuità con l'impianto a scacchiera esistente. Nel 1736 il piano dell'Alfieri e del Planteri soppianderà l'asse di porta Susina con un tracciato più ampio e direttamente collegato alla zona direzionale centrale, l'attuale Via Garibaldi. Lo stesso Juvarra lavorerà anche ad alcuni progetti architettonici: la Basilica di Superga, la Villa della Regina, la Venaria Reale, il Complesso di Stupinigi, conseguenza di un organico piano urbanistico. La città, chiusa nelle sue fortificazioni, raggiunge un nuovo equilibrio, proseguendo la riorganizzazione già avviata nel secolo precedente e basata sullo sviluppo verticale dell'edilizia, con la tipologia del palazzo multipiano porticato.



Fig. 1.8 La Basilica di Superga, Torino (Autore: Turinboy, modificata da Bruce The Deus, <[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Basilica\\_Superga.jpg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Basilica_Superga.jpg)>, 03/07/2014)

Intanto nell'area veneta, accanto al revival palladiano, inizia una fase di rinnovo ideologico dell'architettura. I trattati sugli ordini e sulle proporzioni, dei due secoli precedenti, sono accantonati in favore di tendenze razionaliste e neoclassiche. Probabilmente fra gli intellettuali dell'epoca l'abate Carlo Lodoli è fra i primi ad individuare i nuovi principi dell'architettura. Il Lodoli non lascerà ai posteri le sue memorie ma ne conosciamo il contenuto grazie agli allievi F. Algarotti e A. Memmo. Quest'ultimo, che sosteneva interamente la posizione del Lodoli, più di vent'anni dopo la morte dell'abate, pubblica nel 1786 il testo *Elementi dell'architettura lodoliana*, nel quale spiega che l'architettura, diversamente dalla pittura e dalla scultura, è una scienza esatta, dunque il progetto non ha origine da ragioni estetiche, di gusto o di bellezza ma ha per presupposti la stabilità, risponde ad esigenze di durabilità, si relaziona alle caratteristiche dei materiali impiegati<sup>60</sup>. Sono proprio questi ideali funzionalisti a guidare l'urbanistica verso nuovi obiettivi: praticità e soprattutto utilità si impongono presto come presupposti del piano urbano.

Presso il Ducato di Parma il processo di trasformazione avviene per mano dell'architetto di corte, Ennemond Petitot, allievo di Soufflot, che a servizio dei Borboni a partire dal 1753, riprogetta il vecchio Palazzo Ducale, lavora all'attuale Tribunale di Corte d'Appello, alla Venaria Reale e al Casino di Sala e fa realizzare il cosiddetto «Stradone»<sup>61</sup>, un viale alberato, all'epoca considerato una strada per il passeggio.

Potremmo citare ancora altri casi, dal Ducato di Milano, alla Repubblica di Venezia, al Granducato di Toscana, fino al Regno di Napoli, ma vogliamo evidenziare come tutte le città rispondono alle nuove esigenze sociali in maniera sistematica e razionale, dotandosi di una viabilità efficiente, estesa in tutti i quartieri, rettilinea e sufficientemente ampia per esigenze militari e per favorire la circolazione. Inoltre, le città si dotano di una rete di edifici pubblici distribuiti sapientemente nel tessuto urbano, come il palazzo reale che volge da un lato verso la città, dalla quale provengono i redditi e i tributi, e dall'altro verso la campagna, dalla quale provengono gli uomini e le donne destinati a servire la corte.

Gli interventi architettonici e urbani di Parma sono conseguenza di un'estetica basata sull'interesse per l'archeologia, argomento dominante nei vari scritti del Piranesi sull'antica Roma, sui reperti di Ercolano e sulla Grecia. La documentazione raccolta nei suoi testi serviva ad evidenziare come la pluralità stilistica aveva radici storiche ed era quindi giustificato il ricorso ai nuovi linguaggi contro la concezione universale dello stile. In coincidenza con gli studi del Piranesi, si diffondono anche gli scritti del Winckelmann, che giunge a Roma proprio nel 1755; attraverso gli studi delle opere antiche egli individua modelli classici da riproporre in architettura; la seconda parte del secolo è dunque segnata dalla nascita del movimento Neoclassico. Nel progetto tardo barocco di villa Albani a Roma<sup>62</sup>, costruita dall'architetto Marchionni e del quale lo stesso Winckelmann ne era consulente, le statue neoclassiche che ornano l'interno e l'esterno della villa si affiancano al gusto pittorico, che, nato in Inghilterra, soprattutto nella progettazione dei giardini, si diffonderà con il nome di Pittoresco.

Nel Settecento si accresce l'interesse per il verde, incoraggiato già nel secolo precedente, quando nelle città erano comparsi i primi parchi pubblici. Sul finire del secolo l'Italia era considerata dai viaggiatori come «il giardino del mondo»<sup>63</sup>, ma in realtà, come farà notare il Goethe, dal punto di vista «tecnico»<sup>64</sup> era ancora arretrata rispetto ad altri Paesi. L'unica vera innovazione urbanistica riguardava la gerarchizzazione della viabilità, per volere di Napoleone, all'interno di una complessiva riorganizzazione del territorio. Così le strade che appartenevano alla prima classe erano quelle che portavano a Parigi, nella seconda classe erano incluse tutte le strade regionali e alla terza quelle locali, della rete minore. In questo modo sono stati riorganizzati anche i trasporti e i servizi postali.

<sup>60</sup> P. Sica, *Il Settecento*, Laterza, Roma - Bari, 1979, p. 214.

<sup>61</sup> *Ibid.*, p. 181.

<sup>62</sup> D. Watkin, *Storia dell'architettura occidentale*, Zanichelli, Bologna, 2000, p. 341.

<sup>63</sup> P. Sica, *op. cit.*, p. 311.

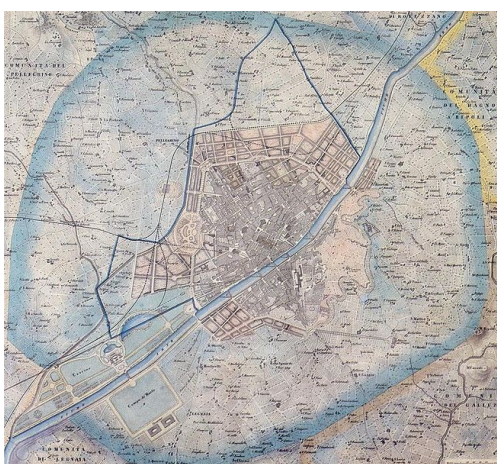
<sup>64</sup> *Ibid.*, p. 311.

Saranno infine realizzati nuovi assi. In particolare, nel 1797 iniziarono i lavori per il collegamento fra Parigi e Milano attraverso il valico del Sempione, asse che sarà inaugurato nel 1806. Nello stesso tempo le città italiane sono state interessate dal complessivo processo di rinnovamento amministrativo, basato sul sistema prefettizio.

### 1.1.5 La Città Industriale

L'Ottocento, ricordato come il secolo delle macchine e delle industrie, è segnato da un notevole incremento demografico, non solo nei paesi europei, ma anche negli Stati Uniti. Questo dato si traduce nella nuova domanda di abitazioni e nell'esigenza di ripianificare le città per accogliere una popolazione di lavoratori assai più numerosa che nei secoli precedenti. Non bisogna inoltre dimenticare la diffusione, intorno al 1830, della ferrovia. Inizialmente impiegate per trasportare dalle miniere i prodotti dell'estrazione verso le industrie, rotaie e locomotive raggiunsero ben presto tutte le città, portando con sé rumore e fumo. Anche il rapporto uomo-natura è minato dalla «disintegrazione»<sup>65</sup>: assistiamo allo sfruttamento intensivo delle campagne e alla feroce decimazione di numerose specie. L'equilibrio naturale è stato molto probabilmente compromesso.

La situazione italiana è legata soprattutto alle vicende politiche: nel 1861 a Torino è aperto il primo Parlamento nazionale e la Destra Storica resterà al potere fino al 1876. Un periodo breve, nel quale l'Italia punta alla valorizzazione delle risorse agricole. I redditi, distribuiti in modo diseguale nelle regioni, non garantiscono la crescita sperata, mentre il settore industriale si dimostrerà poco competitivo e avanzato nei confronti degli altri Paesi. Un importante cambiamento è rappresentato dal trasferimento della capitale, prima a Firenze e poi definitivamente a Roma, seguito dalla maggiore partecipazione dello Stato ai problemi economici e sociali del paese, attraverso le inchieste sulle condizioni di industrie e campagne e, in seguito, dall'adozione di una politica più protezionistica. Nonostante i provvedimenti presi, la concorrenza estera in agricoltura determina i primi flussi migratori degli italiani verso i Paesi più sviluppati; l'industria invece si sviluppa nel settore siderurgico e degli impianti di produzione meccanica e manifatturiera. Nelle valli fluviali del Nord si concentreranno le industrie tessili della seta, della lana e del cotone. Gli anni successivi saranno segnati dalle agitazioni di massa e dalla formazione di una nuova classe operaia; solo verso il 1880, con l'ammodernamento delle imprese e la loro diffusione, si registrerà un certo miglioramento del settore industriale.



**Fig. 1.9 Il Piano Poggi per Firenze Capitale, 1865 (Autore: Giuseppe Poggi, <[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Piano\\_Poggi\\_\(Firenze,\\_1865\)\\_-\\_1.JPG](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Piano_Poggi_(Firenze,_1865)_-_1.JPG)>, 28/06/2014)**

<sup>65</sup> L. Mumford, *La cultura della città*, cit., pp. 138-142.

L'espressione originaria è «Abbau» che in tedesco indica sia l'estrazione mineraria che la degradazione, Mumford si riferisce proprio a quest'ultima accezione terminologica che riguarda l'organizzazione delle attività collettive e l'ambiente. La «disintegrazione» è quindi riferita a tutte le forme vitali.



La prima legge urbanistica, in Italia, sarà emanata nel 1865, in materia di esproprio; allo stesso anno risale la prima legge per l'unificazione amministrativa del regno nonché il primo vero piano urbanistico, il Piano Poggi per Firenze Capitale (Fig. 1.9). In quella legge ben pochi articoli erano dedicati al piano regolatore e si affidava a questo il solo compito di sistemare le parti di città già edificate; occorreva ricorrere, invece, al cosiddetto «“piano di ampliamento”»<sup>66</sup> per pianificare l'edificazione in nuove aree. Non c'erano precisazioni sulla natura dei piani e non c'era una disciplina per le aree di sviluppo esterne ai perimetri urbani; la materia dell'esproprio, infine, era risolta con il ricorso alla stima del prezzo di mercato, quale indennità dell'esproprio stesso.

Non descriveremo l'estesa legislazione dell'urbanistica italiana, ma vogliamo evidenziare come le sorti delle città siano state condizionate, da quel momento in poi, dalle numerose leggi e dalla burocrazia introdotta. Osserviamo, inoltre, che solo nel 1889, a fronte dei numerosi interventi sul patrimonio edilizio esistente, sono nati i Commissariati regionali per le Antichità e Belle Arti, da cui saranno create le Soprintendenze, e al 1906 risale il primo provvedimento di tutela di un bene non monumentale, per la conservazione della pineta di Ravenna. La protezione dei beni naturali e paesaggistici all'epoca era affidata a iniziative isolate che non trovavano riscontro nell'attività legislativa.

Gli obiettivi post-unitari sono sostanzialmente due: intervenire sulle infrastrutture territoriali, in particolare, con l'implementazione della rete ferroviaria, e rafforzare i centri medi e grandi. L'interesse dei privati e del pubblico non era rivolto alla formazione di piani urbanistici organici e studiati, quanto alla realizzazione di tutti quei lavori che servivano a rilanciare dal punto di vista economico e sociale il paese. Al momento dell'unificazione, inoltre, erano in uso diversi canali in Lombardia, Emilia e Veneto ed erano navigabili alcuni tratti dell'Arno e del Tevere, ma le proposte avanzate sui collegamenti con le vie d'acqua vennero ben presto abbandonate; saranno eseguiti solo lavori di regimentazione e interventi di bonifica finalizzati allo sviluppo dell'agricoltura.

Se nel 1839, per il Cattaneo<sup>67</sup>, attrezzature e servizi erano persino sovradimensionati, dopo un trentennio saranno, al contrario, insufficienti sia a causa dell'incremento demografico che interessava i principali centri italiani, sia per le nuove ambizioni sociali e per lo sviluppo culturale in atto. Anche le competenze tecnologiche necessarie ad avviare la modernizzazione del Paese erano insufficienti; per questo, numerosi investitori esteri giunsero in Italia dalla Francia, dall'Inghilterra, dal Belgio e poi anche dalla Germania e dall'Austria per gestire le nuove tramvie, la rete dell'illuminazione pubblica e del riscaldamento a gas e in poche città anche il sistema degli acquedotti pubblici. Contemporaneamente, iniziò la requisizione degli immobili di enti religiosi, un patrimonio edilizio pronto a essere riconvertito per nuovi usi, come scuole, uffici, caserme e istituzioni di vario tipo. Un altro dato interessante è stato l'abbattimento, in alcune città, delle vecchie mura di fortificazione, come a Firenze e Bologna, anche se spesso non si trattava di un intervento dettato dalla pianificazione, ma dalla sola volontà di abbellire le città e forse di creare un legame con la parte esterna alle mura, in espansione.

Anche la sistemazione delle stazioni mostrava l'assenza quasi totale di uno studio urbanistico, così in alcune città la stazione diventava un riferimento per l'edificazione delle nuove aree che finiranno per collegarsi alla città antica, come mostrano Arezzo, Piacenza, Savona oppure Udine. In altri casi, le stazioni resteranno completamente esterne alla città determinando la formazione di aree periferiche, come avviene in Romagna, nelle Marche e in Versilia; mentre ci sono esempi di vera e propria rottura con la città storica, come nel caso di Caserta, dove la ferrovia è posta al margine Sud della Reggia vanvitelliana. L'edificazione delle stazioni era servita a individuare soltanto l'elemento catalizzatore dello sviluppo urbano, che mancava in tutte le città a causa dell'assenza o della scarsità di servizi. A riguardo invece della posizione delle industrie, se nate come evoluzione dell'artigianato, trovavano posto nel centro storico, ma in generale erano localizzate

<sup>66</sup> P. Sica, *L'Ottocento*, Laterza, Roma - Bari, 1992, p. 412.

<sup>67</sup> *Ibid.*, p. 428.

casualmente nelle periferie e nei centri satellite. Nelle stesse periferie saranno edificati i nuovi quartieri residenziali, non più caratterizzati da un tipo edilizio dominante e spesso, privi di un ordine preciso. La città, in conclusione, è frutto di interventi episodici e manca completamente una visione d'insieme degna di rappresentare la nascente società del capitalismo.

Nel quadro appena tracciato sono molte le città che si avvalgono, dagli anni '70 dell'Ottocento, di un regolamento edilizio, considerato, accanto alle disposizioni del codice civile, l'unico strumento di tipo urbanistico, utile a uniformare in termini di scelte e di procedure gli interventi sull'edificato. Soltanto dieci anni dopo anche questo strumento si dimostrerà inadeguato e nei centri dov'è forte la crescita e l'espansione si adotteranno i primi piani regolatori di allineamento interno e di ampliamento. I piani di allineamento erano impiegati per attuare il risanamento igienico-sanitario nelle aree degradate oppure per valorizzare specifiche parti di città. I piani di ampliamento, invece, riguardavano solo le zone in espansione e si basavano su sistemi di strade e isolati a maglia regolare, privi di alcuna gerarchizzazione. Non possiamo esaminare in dettaglio i piani che sono stati predisposti in tutte le principali città italiane nel periodo post-unitario, ma le considerazioni proposte sono sufficienti a delineare le caratteristiche della pianificazione ottocentesca. E' proprio in questo periodo che inizia il primo stadio dell'urbanizzazione, segnato dalla concentrazione nelle città di manodopera, prodotti e redditi di lavoro.

#### 1.1.6 La Città Moderna e le Aree Metropolitane

Dopo la prima guerra mondiale, il piano regolatore assumerà il primario compito di organizzare la città per aree che hanno diverse funzioni, dove sono applicati standard e tipologie differenti, a scopo di gestire in maniera armonica e ordinata l'intero sviluppo urbano. Si tratta delle prime applicazioni, nelle parti in espansione, della zonizzazione, che consente di distinguere le aree a carattere residenziale da quelle destinate ai servizi, a quelle di tipo industriale. Bisognerà tuttavia attendere la prima legge urbanistica, la legge 17 agosto 1942, n. 1150, prima che venga formalmente introdotto il piano regolare come strumento di gestione del territorio comunale e prima che localizzazione e zonizzazione diventino le tecniche operative del piano. Intanto, nel ventennio fra le due guerre la disciplina urbanistica si arricchirà anche dei contributi offerti dalla sociologia, dalla geografia e dall'economia e le trasformazioni urbane che seguiranno saranno inevitabilmente legate all'avvento del fascismo e al Movimento Moderno.

Sul finire degli anni '30 del Novecento sono progettati alcuni interventi che mostrano la nascente concezione dei residenziali di massa; un esempio è il quartiere operaio di Rebbio del 1938, ideato da Sartoris e Terragni come satellite della città di Como, ma mai realizzato, oppure i quartieri decentrati di Milano, firmati dai grandi urbanisti dell'epoca, anche in questo caso non realizzati. Sempre nel 1938 sarà disegnato da Albini, Gardella, Minoletti, Pagano, Predaval e Romano il progetto «*Milano Verde*»<sup>68</sup>, che interessava la zona del Sempione e proponeva un'ampia riorganizzazione e riqualificazione del tessuto in chiave provocatoria e competitiva rispetto alle soluzioni realizzate in altri paesi europei; più rigoroso è invece il progetto «*Città orizzontale*»<sup>69</sup> di Pagano, Diotallevi e Marescotti nel quale c'è un'evidente attenzione ai passaggi di scala progettuali. Accanto a Milano, anche Aosta è oggetto di studi urbani e proposte, commissionate da Adriano Olivetti allo studio BBPR<sup>70</sup> e, anche in questo caso, il progetto urbano è molto geometrizzato, mentre il tessuto antico è completamente sostituito dalle moderne tipologie edilizie.

---

<sup>68</sup> P. Sica, *Il Novecento*, Laterza, Roma - Bari, 1991, p. 345.

<sup>69</sup> *Ibid.*, p. 345.

<sup>70</sup> BBPR è l'acronimo usato dal gruppo di architetti formatosi nel 1932 e composto da: Gian Luigi Banfi, Lodovico Barbiano di Belgiojoso, Enrico Peressutti, Ernesto Nathan Rogers.

Col regime fascista, l'Italia è interessata da numerosi lavori pubblici, chiamati a rinnovare l'immagine della nazione attraverso opere di rilievo simboliche, come il monumento a Vittorio Emanuele e il Palazzo di Giustizia a Roma e indirizzati a risolvere lo stato di crisi che nel '29 aveva colpito anche il *bel paese*. Nel settore infrastrutturale saranno realizzate strade, autostrade, nuovi tracciati ferroviari e ristrutturati i porti esistenti. Nel settore dell'agricoltura, invece, oltre a proseguire gli interventi di bonifica, sarà promosso il rimboschimento e la messa a coltura di terreni ormai in stato di abbandono. L'investimento più importante riguarda l'Agro Pontino, dove l'ONC (Opera Nazionale Combattenti) attua il più grande programma pubblico di colonizzazione e lo stesso ente si occuperà della creazione dei nuovi borghi e del nuovo assetto amministrativo provinciale e comunale. Saranno urbanizzati ex-novo i centri di Pontinia, Littoria, oggi Latina, Sabaudia, Aprilia e Pomezia.



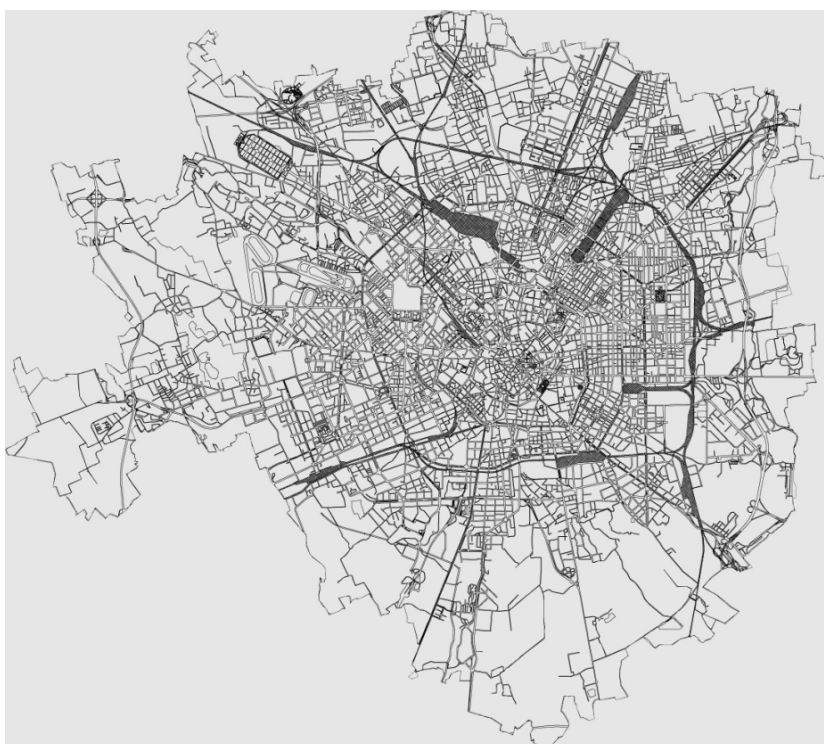
**Fig. 1.10** La città di Littoria (Utente: Archeologo, <[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Littoria\\_dall%27alto\\_\(1932\).jpg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Littoria_dall%27alto_(1932).jpg)>, 03/07/2014)

L'organizzazione dei borghi nascenti dimostra lo stretto legame voluto fra il mondo dell'agricoltura e quello della città e la triade potere - borgo - città esprimeva l'articolazione urbana attraverso tre livelli crescenti di complessità di tipo gerarchico. I poderi dovevano avere una dimensione compresa fra i cinque e i trenta ettari e le case coloniche erano costruite lungo le strade interpoderali. I borghi dovevano servire un gruppo di circa cento famiglie, avevano una concezione di tipo aziendale ed erano collocati all'incrocio della rete minore con la viabilità principale; essendo di maggior dimensione, erano sedi di attrezzature agricole, magazzini, silos, strutture amministrative e sanitarie, case del Fascio e chiese. Le città, infine, dovevano avere una dimensione compresa fra i 3000 e i 5000 abitanti ed essere ubicate in punti strategici, collegate alle infrastrutture maggiori. Essendo centri amministrativi e di rappresentanza, richiedevano la preliminare programmazione degli interventi e delle tipologie edilizie da adottare, in relazione alla densità abitativa. Fra queste, Littoria è certamente uno dei casi più espressivi; il piano urbanistico sarà predisposto da Oriolo Frezzotti e sarà basato su un impianto radiocentrico, ben rappresentativo della convergenza territoriale verso il centro urbano.

La ruralizzazione del territorio, attuata proprio tramite la gerarchia urbana, è un chiaro rifiuto all'idea della metropoli; la città di Roma, quale sede di rappresentanza nazionale, costituiva l'unica eccezione. Gli interventi che saranno, invece, attuati nei centri storici

delle città erano finalizzati solo al risanamento igienico e al decentramento; si ricorreva spesso alla demolizione integrale, considerata l'unica soluzione adeguata e attuata senza lunghe valutazioni, ma esclusivamente con considerazioni sullo stato di fatiscenza verificato. Questo metodo implicitamente serviva a risolvere anche il problema del sovraffollamento dei centri storici, con la conseguente dispersione nel tessuto insediativo del proletariato. Alle parti demolite presto si sostituirono edifici rappresentativi, amministrativi, commerciali e abitazioni lussuose.

Nel secondo dopoguerra l'abbandono delle campagne e il progressivo incremento delle attività industriali e del settore edilizio determinano un visibile aumento della popolazione nel Centro-Nord, dove sono localizzate le città più avanzate dal punto di vista economico. Si avvia dunque un secondo processo di urbanizzazione e, secondo le stime del Censis<sup>71</sup>, la superficie italiana urbanizzata passa da 757.000 ha del 1951 a 1.554.000 ha del 1980, determinando il graduale passaggio alla dimensione metropolitana, un sistema economico e funzionale che include più aree insediative. Le zone metropolitane sono caratterizzate da una rete di collegamenti fra ampie porzioni di territorio, non necessariamente continue, e i confini non sono mai nettamente stabiliti; la stessa forma urbana, vista dal satellite, non è chiaramente rappresentabile e ascrivibile a una definita geometria. Il fenomeno dell'urbanizzazione subirà intorno al 1970 un'inversione di tendenza; il calo demografico o la condizione di stasi sarà compensato dall'aumento delle cinture metropolitane, le cosiddette aree suburbane. Nonostante ciò, l'importanza dei grandi centri urbani ha continuato ad aumentare, accogliendo tutte le funzioni economiche, amministrative, sociali e diventando centri di coordinamento e poli decisionali strategici. In base allo studio SVIMEZ<sup>72</sup>, elaborato da Cafiero e Cecchini negli anni '80, quasi un quinto dei comuni italiani era già costituito da metropoli, occupando più di un decimo del territorio in cui vive più della metà della popolazione italiana. L'implementazione dei mezzi di trasporto e delle tecnologie ha contribuito in modo rilevante al processo di decentralizzazione avvenuto negli anni successivi e che possiamo ritenere ancora in atto.



**Fig. 1.11 Il Comune di Milano (base cartografica in:  
<[http://www.archweb.it/dwg/geografia\\_mappe\\_dwg/citta\\_italiane/citta\\_italiane\\_dwg.htm](http://www.archweb.it/dwg/geografia_mappe_dwg/citta_italiane/citta_italiane_dwg.htm)>,  
26/06/2014)**

<sup>71</sup> G. Martinotti (a cura di), *La dimensione metropolitana: sviluppo e governo della nuova città*, Il mulino, Bologna, 1999, p. 194.

<sup>72</sup> *Ibid.*, p. 196.



Le aree metropolitane possono essere distinte sia in base alla dimensione, sia in base alla presenza di uno o più centri organizzativi. Se adottiamo il primo criterio, s'individuano tre aree metropolitane, quelle di Milano, Roma e Napoli<sup>73</sup>, mentre se utilizziamo la seconda classificazione, andremo a distinguere le aree monocentriche e quelle policentriche; le città più popolate saranno di tipo policentrico e più diffuse nel Centro-Nord, quelle monocentriche saranno più frequenti nel Mezzogiorno. Negli anni, le aree metropolitane policentriche hanno manifestato sempre più la tendenza a unirsi, tanto che l'intero territorio assume oggi carattere metropolitano: pensiamo ancora al caso di Milano (Fig. 1.11), sempre più relazionata con Varese, Como, Lecco, Novara, Pavia, Brescia, città a loro volta collegate a quelle vicine, così da creare legami e relazioni a rete che possiamo considerare come una forma di urbanizzazione diffusa.

Attualmente le aree metropolitane sono ancora protagoniste delle dinamiche urbane: i cambiamenti climatici, i fenomeni di degrado sociale legati ai problemi dell'occupazione, alle condizioni delle periferie fatiscenti e delle vecchie aree industriali, in alcuni casi abbandonate e, infine, i disastri naturali sono il punto di partenza dei prossimi interventi nonché gli indicatori che descrivono lo stato di salute degli ambienti urbani in cui viviamo e in cui spesso restiamo vittime degli eventi incontrollati. Le problematiche che abbiamo ricordato non possono essere certamente risolte solo con le tecniche dell'urbanistica o di una nuova governance, ma implicano il coinvolgimento della scienza e della tecnologia affinché tutti i centri urbani, dai piccoli comuni alle grandi metropoli, possano beneficiare del know-how necessario a migliorare la sicurezza e la conservazione urbana verso il modello di sostenibilità che si afferma ormai da anni e che si traduce nell'implementazione della resilienza urbana.



**Fig. 1.12** La pianificazione urbana della città di Brasilia (base cartografica in: [http://www.sedhab.df.gov.br/mapas\\_sicad/index2.htm](http://www.sedhab.df.gov.br/mapas_sicad/index2.htm), 26/06/2014)

<sup>73</sup> *Ibid.*, p. 198.

Abbiamo finora fatto riferimento alla storia evolutiva delle sole città italiane, ma vogliamo evidenziare come l'influsso delle nuove correnti artistiche e architettoniche del Novecento abbiano avuto un forte eco soprattutto in America, dove nel 1956 inizia la costruzione della città di Brasilia<sup>74</sup> (Fig. 1.12). I lavori eseguiti esprimono il segno indelebile dei grandi progettisti che hanno ideato la nuova capitale brasiliana: Lucio Costa, per la pianificazione urbana; Oscar Niemeyer per la progettazione degli edifici pubblici; Roberto Burle Marx per la paesaggistica. Il piano era basato sulle teorie di Le Corbusier, che, già alcuni anni prima, aveva lavorato col gruppo di architetti guidato da Costa e col giovane Niemeyer. Il disegno urbano è molto diverso da quello delle città italiane: non possiamo individuare nella forma della città l'applicazione di uno schema già noto, come la scacchiera oppure l'impianto radiocentrico, policentrico, ecc.. Brasilia diventa espressione di una *modernità* unica e irripetibile, ma con le stesse esigenze delle vecchie città europee: conservazione del patrimonio edilizio, sviluppo sostenibile, resilienza del sistema urbano.

## 1.2 LE CITTA' SOSTENIBILI

Il risparmio energetico e l'uso di fonti alternative di energia sono considerati le principali risposte alla richiesta di sostenibilità, ma sono anche legate alla crisi petrolifera del 1973, seguita all'improvvisa interruzione del consueto flusso di approvvigionamento. Il problema non era soltanto la scarsità di greggio. I paesi maggiori produttori di petrolio, membri dell'OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries) iniziarono a gestire direttamente il prezzo delle esportazioni, fino a quel momento controllato da società occidentali. Nello stesso tempo scoppiò la guerra arabo-israeliana, cosiddetta dello Yom Kippur, il giorno sacro per gli ebrei. Da quel momento il prezzo del petrolio arrivò a quadruplicarsi; mentre gli Stati Uniti reagirono sviluppando la produzione del petrolio dell'Alaska, in Europa l'attenzione si è spostata sull'energia nucleare, sulla costruzione di nuovi impianti estrattivi, a beneficio di Scozia e Norvegia, e sulla ricerca di nuove fonti<sup>75</sup>.

Il concetto di sostenibilità, tuttavia, era già insito nella Conferenza ONU sull'Ambiente Umano, tenutasi a Stoccolma nel 1972, declinato nelle quattro dimensioni, ambientale, economico, sociale e istituzionale<sup>76</sup>. Nel 1980, inoltre, l'International Union for Conservation of Nature elaborò il documento "World Conservation Strategy" per delineare i punti chiave delle prossime azioni sostenibili: «il mantenimento dei sistemi vitali e dei processi ecologici essenziali, la conservazione della diversità genetica, l'utilizzo sostenibile delle specie e degli ecosistemi»<sup>77</sup>. La definizione, unanimemente condivisa sul concetto di sviluppo sostenibile, è stata introdotta nel 1987 dal Rapporto Brundtland, elaborata dalla Commissione Mondiale su Ambiente e Sviluppo, secondo cui: « Humanity has the ability to make development sustainable to ensure that it meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs ».<sup>78</sup> Si tratta di una formulazione innovativa, che porta l'attenzione sui temi dell'ecologia e dell'ambiente, ma anche sui temi della conservazione e della tutela dei centri urbani. L'evoluzione e il progresso tecnologico delle attuali città derivano da un graduale processo di industrializzazione, dallo sviluppo di una fitta rete di collegamenti stradali e dalla diffusione delle telecomunicazioni, tutti ritenuti responsabili dello sfruttamento delle risorse naturali e delle varie forme di inquinamento dell'aria, dell'acqua, della terra, del deterioramento dei monumenti e in generale degli agglomerati urbani. In sintesi, il

<sup>74</sup> F. el-Dahdah, *Lucio Costa: Brasilia's superquadra*, Prestel, Monaco, 2005;

P. Jodidio, *Niemeyer*, Taschen, Köln, 2012.

<sup>75</sup> M. Liberti, *La crisi energetica del 1973. In lotta per il petrolio*, in < [http://www.instoria.it/home/Crisi\\_energetica\\_73.htm](http://www.instoria.it/home/Crisi_energetica_73.htm) >.

<sup>76</sup> Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment, Stockholm, 1972.

<sup>77</sup> IUCN-UNEP-WWF, *World Conservation Strategy. Living Resource Conservation for Sustainable Development*, 1980.

<sup>78</sup> "L'umanità ha la capacità di realizzare lo sviluppo sostenibile per assicurare che esso soddisfi i bisogni della generazione attuale senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri". World Commission on Environment and Development, *Our Common Future*, 1987.

soddisfacimento di esigenze immediate e l'approccio antropocentrico possono danneggiare il sistema di cui siamo parte e le future generazioni, che potrebbero essere private delle risorse naturali necessarie alla propria sussistenza, delle radici culturali, del patrimonio generazionale e della memoria storica delle città: una proprietà collettiva che per volere e per disinteresse di alcuni rischia di essere cancellata per sempre.

Pochi anni dopo, nel 1992 a Rio de Janeiro, si è svolta la nuova Conferenza ONU su Ambiente e Sviluppo per ribadire i concetti affermati vent'anni prima e per puntualizzare ventisette nuovi principi, dai diritti degli esseri umani, alla tutela dell'ambiente, dalla cooperazione fra Stati per ripristinare l'integrità e la salute dell'ecosistema della terra<sup>79</sup>, alla promozione del sapere scientifico, alla partecipazione della cittadinanza e all'impegno degli Stati a elaborare leggi nazionali per la responsabilità civile e l'indennizzo delle vittime dell'inquinamento e degli altri danni ambientali. Dalla Conferenza di Rio sono scaturite due azioni pratiche, l'Agenda 21 e la Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici. Il primo è uno strumento di programmazione per il futuro delle comunità locali, tanto che il Capitolo 28 dell'Agenda 21 fa riferimento a una Local Agenda 21, che individui gli obiettivi da raggiungere in tutti i settori, compreso quello dell'industria delle costruzioni. Con riferimento alla sintesi riportata da Longhi<sup>80</sup>, ricordiamo che gli obiettivi fissati per migliorare il settore dell'edilizia riguardano: ambiente costruito ed ecosistemi, efficienza energetica, benessere e salubrità, rifiuti, conservazione delle risorse, edifici esistenti, strumenti e processi di costruzione. A proposito degli edifici esistenti, Longhi riepiloga quattro indirizzi, utili anche a individuare nuovi ambiti di ricerca:

- *Aumentare le prestazioni degli edifici esistenti;*
- *Sviluppare strumenti diagnostici non distruttivi per la valutazione degli edifici;*
- *Sviluppare modelli per la previsione del comportamento degli edifici lungo l'intero ciclo di vita;*
- *Sviluppare nuovi sistemi e tecnologie per il rinnovo e il recupero.*

In Italia il recepimento dell'Agenda 21 ha determinato nel 1993 l'elaborazione del Piano Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile, che prevede azioni per i settori dell'industria, dell'agricoltura, del turismo ma anche per le infrastrutture di base (energia e trasporti) e per i rifiuti<sup>81</sup>.

Nel 1994 è invece scritta la Carta delle Città Europee per uno Sviluppo Durevole e Sostenibile, nota anche come Carta di Aalborg, approvata dalle città che hanno partecipato alla prima Conferenza Europea sulle Città Sostenibili. Questo documento fissa il ruolo delle città europee, indica i principi della sostenibilità e le strategie locali per il modello urbano sostenibile, ma affronta anche i temi dell'economia, dell'equità sociale, delle responsabilità in materia di clima e inquinamento degli ecosistemi, evidenziando l'importante ruolo svolto dai singoli cittadini e dagli strumenti amministrativi impiegati<sup>82</sup>.

I lavori di conoscenza e divulgazione promossi dalla Campagna successiva alla stesura della Carta di Aalborg sono proseguiti nel 1996 con la Conferenza di Lisbona, incentrata sulla realizzazione dei principi prima sanciti, attraverso l'elaborazione del documento "Dalla Carta all'Azione".

Nel 1996 si svolge anche a Istanbul la Seconda Conferenza delle Nazioni Unite sugli insediamenti Umani (Habitat II) che, partendo dai dati sulla distribuzione della popolazione, per lo più insediata nelle grandi città e nelle metropoli, sancisce la necessità

<sup>79</sup> Principio 7 :«States shall cooperate in a spirit of global partnership to conserve, protect and restore the health and integrity of the Earth's ecosystem...».

*Report of the United Nations Conference on environment and development*, Rio de Janeiro, 3-14 June 1992.

<sup>80</sup> G. Longhi, *Linee guida per una progettazione sostenibile*, Officina Edizioni, Roma, 2003, pp. 32-33.

<sup>81</sup> Ministero dell'Ambiente, *Piano Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile*, approvato dal CIPE il 28 dicembre 1993, p. 2.

<sup>82</sup> Carta di Aalborg, Danimarca, 27 maggio 1994.

di proteggere l'ambiente e affrontare le questioni legate all'aumento della popolazione, garantendo a tutti adeguate dimore<sup>83</sup>.

L'attenzione ai citati temi delle città sostenibili saranno nuovamente rivisitati nella Conferenza Europea sulle Città Sostenibili di Hannover del 2000: un'occasione per tracciare i primi bilanci e per concordare nuove linee di azione; due anni dopo, al Vertice Mondiale sullo Sviluppo Sostenibile di Johannesburg verranno anche riesaminati i risultati conseguiti a dieci anni dalla Conferenza di Rio.

Iniziative analoghe proseguiranno ancora negli anni successivi: nel 2004 è proposta la Conferenza Aalborg+10, affinché i governi locali mettano in atto politiche adeguate alle sfide crescenti della sostenibilità e per favorire all'interno di ciascuna amministrazione percorsi e collaborazioni con l'Agenda 21 Locale<sup>84</sup>; nel 2007 a Siviglia si tiene la quinta Conferenza Europea delle Città Sostenibili per valutare, controllare e proporre nuovi obiettivi, in linea con quelli che risalgono alla prima Conferenza tenutasi ad Aalborg.

Mentre si susseguono gli incontri e le iniziative degli Stati per promuovere la sostenibilità in tutti gli ambiti e attuare misure sempre più concrete e reali, sono stati elaborati due documenti di grande interesse: nel 1990 l'Unione Europea propone il Libro Verde sull'ambiente urbano per indirizzare le azioni rivolte al territorio e alle città e nel marzo del 1998 viene firmato il Protocollo di Kyoto con il quale i paesi industrializzati si impegnano a ridurre il totale delle emissioni di gas ad effetto serra almeno del 5% rispetto ai livelli del 1990, nel periodo 2008-2012<sup>85</sup>.

Il Libro Verde, a più di vent'anni di distanza, continua a essere un riferimento attualissimo; infatti, per gestire efficacemente l'ambiente urbano, sono forniti alcuni suggerimenti, ancora perseguiti, dal rifiuto della rigida tecnica della zonizzazione, in favore dell'uso misto dello spazio urbano, alla tutela del patrimonio architettonico per evitare le nuove espansioni, dall'invito rivolto alle amministrazioni locali verso la progettazione di nuovo verde urbano, al sostegno delle norme sui trasporti sensibili ai temi ambientali<sup>86</sup>.

### 1.2.1 Gli Approcci Ecosistemici

Le conferenze tenutesi nel corso degli anni hanno sempre posto l'attenzione al ruolo dell'ecosistema e alla necessità di preservarlo. La definizione di ecosistema era stata fornita già nel 1935 da A. G. Tansley, secondo cui l'espressione indica l'interazione degli elementi che appartengono al mondo fisico, ossia l'ambiente, con la componente biologica, rappresentata dalle varie forme viventi<sup>87</sup>. Anche se l'uomo considera gli organismi, la parte più importante del sistema, questo non potrebbe esistere senza la componente inorganica. Inoltre, nonostante l'approccio scientifico tende a isolare parti del sistema per scopi di studio, come l'analisi dei singoli organismi viventi, e alcuni elementi risultano più isolati di altri, l'ecosistema si fonda sull'equilibrio e sull'interazione delle varie componenti, che seguono un'organizzazione spontanea. Lo stesso Tansley propone il significativo esempio del clima che condiziona il modo di vivere degli organismi e le caratteristiche territoriali delle diverse regioni ed è a sua volta influenzato da questi. Se il sistema è instabile, avvengono cambiamenti finalizzati alla ricerca di un nuovo equilibrio e spesso ne siamo inconsapevoli, perché la loro durata è piuttosto lunga; la lettura dei cambiamenti climatici può dunque aiutare la comprensione di questi fenomeni.

---

<sup>83</sup> «The purpose of the second United Nations Conference on Human Settlements (Habitat II) is to address to themes of equal global importance: "Adequate shelter for all" and "Sustainable human settlements development in an urbanizing world"...».

*The Habitat Agenda Goals and Principles, Commitments and the Global Plan of Action*, p. 2.

<sup>84</sup> The Aalborg Commitments, 2004.

<sup>85</sup> Il Protocollo di Kyoto della Convenzione sui Cambiamenti Climatici, p. 7.

<sup>86</sup> Commission of the European Communities, *Green paper on the urban environment*, Brussels, 27 giugno 1990.

<sup>87</sup> A. G. Tansley, *The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms* in «Ecology», Vol. 16, N 3, 1935, pp. 284-307.

Hein van Bohemen<sup>88</sup> ha recentemente raccolto i diversi approcci ecosistemici, proposti in ambito scientifico, per ridurre gli impatti negativi derivanti dalle attività umane, riconducendoli a tre tendenze: l'approccio urbano ecologico, l'approccio del metabolismo urbano o dei flussi e l'approccio biosociale.

L'approccio urbano ecologico interpreta la città come un sistema ecologico, habitat di cittadini appartenenti ad etnie e culture diverse ma anche habitat di specie vegetali e animali, integrate al contesto urbano, dove gli uni e gli altri interagiscono reciprocamente; così il verde diventa parte di coperture e facciate innovative per mitigare e compensare la produzione di inquinanti atmosferici; analogamente, l'adozione dei sistemi per il trattamento delle acque e il loro riciclo è funzionale alla necessità di ridurre gli sprechi, così come la progettazione di parchi urbani consente la tutela delle biodiversità e fornisce un polmone naturale al tessuto urbano. L'interpretazione data ha avuto successo proprio per le implicazioni sullo sviluppo di tecnologie come quelle per il risparmio energetico.

Il secondo approccio, invece, è definito *dei flussi*, perché si assume che la città possa essere studiata in termini di input e output di risorse, materiali ed energia. Questa linea di pensiero, promossa dall'UNESCO<sup>89</sup>, ha prodotto numerosi studi diretti ad aumentare l'efficienza e l'autosufficienza e ridurre l'impatto delle aree urbane sul sistema naturale per favorire la conservazione delle risorse; ha portato, inoltre, al nascente concetto di impronta ecologica, oggi considerato di grande interesse per misurare il livello di sostenibilità dei nostri comportamenti quotidiani. L'approccio del metabolismo urbano è dunque molto utile a comparare paesi diversi che hanno un differente livello di dipendenza dalla natura, anche se il fine ultimo è quello di ottenere dati sui consumi ambientali utili a indirizzare le future azioni dei paesi per promuovere la sostenibilità.

Infine, l'approccio biosociale interpreta le aree urbane come i luoghi dell'attività umana in chiave ecologica, in linea con le teorie risalenti alla Scuola di Sociologia di Chicago. Negli anni '70 William Burch, Jr.<sup>90</sup> ha intrapreso uno studio all'interno dell'ecosistema, che ha portato all'individuazione di tre tipi di risorse: quelle naturali come l'acqua o l'energia, le risorse socioeconomiche come il capitale e il lavoro e le risorse culturali, rappresentate dalle credenze e dai miti. Non si può pensare, secondo quest'approccio, a un sistema autoregolato, ma a un sistema sociale composto da istituzioni, cicli e ordine sociale, quest'ultimo riguardante identità personali, norme e gerarchie. Nell'approccio biosociale, dunque, l'ecosistema urbano viene ricondotto a due fattori, quelli sociali e quelli biofisici e alle loro interrelazioni.

Come evidenziato da van Bohemen<sup>91</sup>, al concetto di ecosistema urbano possiamo legare i nascenti temi della resilienza, della resistenza, della persistenza e della variabilità dell'ecosistema. Da queste considerazioni un gruppo di studiosi, guidati da Kay, ha proposto negli anni '90 una metodologia adattativa per la sostenibilità degli ecosistemi e la salute (AMESH - Adaptive Methodology for Ecosystem Sustainability and Health), coinvolgendo le questioni della governance, della gestione e del monitoraggio dei sistemi urbani. Si tratta di un approccio complesso, che riguarda un maggior numero di soggetti, non solo gli amministratori e i politici ma la stessa cittadinanza che è portatrice dei valori culturali di una società e in quanto tale è chiamata a "partecipare" attivamente alla pianificazione del territorio in cui vive.

<sup>88</sup> H. van Bohemen, *Ecosystem Thinking: Ecological Principles for Buildings, Roads and Industrial and Urban Areas* in E. van Bueren, H. van Bohemen, L. Itard, H. Visscher, *Sustainable Urban Environments: An Ecosystem Approach*, Springer science + Business Media B. V., Dordrecht, 2012, pp. 15-70.

<sup>89</sup> UNU/IAS Report, *Defining an Ecosystem Approach to Urban Management and Policy Development*, Peter J. Marcotullio and Grant Boyle, Jingumae, Shibuya-ku, Tokyo, 2003, pp. 14-16.

<sup>90</sup> H. van Bohemen, *op. cit.*, p. 49.

<sup>91</sup> H. van Bohemen, *op. cit.*, pp. 49-53.

## 1.2.2 Sicurezza e Vivibilità dell'Ambiente Urbano

Attraverso gli obiettivi fissati negli anni, a seguito delle teorie sugli ecosistemi, abbiamo acquisito una nuova consapevolezza sulle risorse naturali e non, sul loro utilizzo, sul valore dell'ambiente e delle stesse aree urbane. Si è così compreso che alcuni beni come l'acqua, indispensabile per gli usi civili, agricoli e industriali, sono stati ritenuti senza limiti e per questo inutilmente sprecati, soprattutto nei paesi economicamente più sviluppati<sup>92</sup>. Anche il suolo è stato spesso edificato in maniera impropria, senza alcun rispetto per il ruolo delle aree verdi e per il paesaggio, tanto da determinare un "consumo" ingiustificato e nocivo all'intero ecosistema.

Il diritto all'acqua e il rispetto per il suolo sono affiancati da diritti sociali, tramandati dalla stessa storia urbana: è indispensabile ricordare, dopo l'exkursus storico sull'evoluzione delle città italiane, la «domanda di sicurezza»<sup>93</sup> che nel medioevo era rappresentata dalla costruzione delle fortificazioni; nella città moderna è stata tradotta nella tecnica dello zoning, impiegata per ricercare un ordine ideale; infine, nella città contemporanea, dominata dalla diversità culturale, la sicurezza è stata intesa nell'accezione sociale, ossia un bisogno, conseguenza del timore dei reati e dell'ignoto, che impone la ricerca del controllo, come strumento di garanzia della propria incolumità.

Negli ultimi anni, la domanda di sicurezza riguarda anche la sfera del costruito, ossia gli edifici residenziali, industriali, commerciali, scolastici, solo per citarne alcuni, in cui trascorriamo la maggior parte del nostro tempo. Probabilmente l'interesse verso la sicurezza strutturale è aumentato sensibilmente dopo il terremoto del 2002, che ha causato il crollo della scuola elementare di San Giuliano di Puglia (CB). L'evento richiamato ha avuto un forte impatto mediatico, per la morte delle 27 giovanissime vittime e della loro insegnante<sup>94</sup>. Da quel momento, gli interrogativi sulla possibilità di prevenire la catastrofe si sono moltiplicati, così come è diventata ancor più forte la domanda di sicurezza. L'attenzione al problema si è rinnovata anche dopo i recenti terremoti<sup>95</sup> che, non solo in Italia, hanno determinato danni al patrimonio storico e alle attività produttive, alimentando nuove paure e accrescendo il senso di insicurezza sociale<sup>96</sup>.

Abbiamo, quindi, acquisito una visione più ampia sulla complessità del problema, che induce a considerare sostenibili tutti i comportamenti e gli interventi che realizziamo per rendere sicure le nostre città; la stessa normativa sulle costruzioni è stata formulata facendo riferimento al criterio della sicurezza. Questo fine è spesso in conflitto con i temi della conservazione e, come evidenzia Antonino Giuffrè<sup>97</sup>, molti interventi, che stravolgono l'identità dei manufatti architettonici, in particolare quelli antichi, spesso adottano tecniche inappropriate o incompatibili con i materiali originali. Tali interventi talvolta non risultano neanche efficaci per migliorare il comportamento degli edifici durante l'azione del sisma. Mitigare il rischio sismico dei centri storici è oggi un nobile obiettivo di sostenibilità dell'ambiente costruito, ma è anche un difficile problema di restauro, cui è affidato il compito di coniugare sicurezza e conservazione.

---

<sup>92</sup> L'acqua è stata considerata un diritto, estensione del diritto alla vita, soltanto dopo la *Dichiarazione Universale dei Diritti Umani*, presentata da Eleanor Roosevelt, la cui redazione è stata promossa dalle Nazioni Unite e firmata a Parigi nel 1948.

<sup>93</sup> G. Amendola (a cura di), *Paure in città. Strategie ed illusioni delle politiche per la sicurezza urbana*, Liguori, Napoli, 2003, pp. 12-35.

<sup>94</sup> M. Indirli, P. Clemente, B. Spadoni, *The Reconstruction of San Giuliano di Puglia after the October 31<sup>st</sup> 2002 Earthquake*, Proc. 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada, 1-6 agosto 2004.

<sup>95</sup> Ci riferiamo, in particolare, al sisma del 6 Aprile 2009 che ha interessato L'Aquila e le aree vicine e le scosse del 20 e 29 Maggio 2012 che hanno colpito i comuni della Pianura Emiliana.

<sup>96</sup> M. Indirli, *The 6<sup>th</sup> April 2009 L'Aquila Earthquake: from ruins to reconstruction*, Conference organized by Kamra Tal Periti, La Valletta, Malta, 26 aprile - 2 maggio, 2010; Seismicity and Earthquake Engineering, L'Aquila Earthquake of April 2009, Ed. Ruben Paul Borg;

M. Indirli, B. Carpani, G. Marghella, A. Marzo, T. Gambatesa, *Terremoti e patrimonio culturale: l'evento sismico del 2012 in Emilia-Romagna*, Proc. XV Convegno ANIDIS (Associazione Nazionale Italiana di Ingegneria Sismica), Padova, 40 giugno - 4 luglio, 2013.

<sup>97</sup> A. Giuffrè (a cura di), *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso Ortigia*, Editori Laterza, Roma - Bari, 2006, p. 3.



L'attuale passaggio dalla domanda di sicurezza a quella di vivibilità può essere letta, anche in questo caso, come esigenza sociale e come necessità fisica di vivere in ambienti salubri, costruiti in modo sicuro e pensati per rispondere a stili di vita ed esigenze diverse dal passato, caratterizzati da ritmi più rapidi e contatti virtuali. Storicamente, la vivibilità è legata al tema della forma urbana: localizzazione, configurazione e relazioni spaziali fra strade, edifici e aree verdi. L'individuazione del modello insediativo migliore, come abbiamo evidenziato nelle varie epoche, è stata influenzata da teorie filosofiche, esigenze militari, credenze popolari e religiose, ed è stata poi condizionata dalla morfologia territoriale; infine, più recentemente, la diffusione dei veicoli e le nuove forme di comunicazione hanno ancora alterato i confini urbani, tanto da portare alla nascita di vere città diffuse o meglio di metropoli. Kevin Lynch<sup>98</sup> ha catalogato almeno trenta argomenti, raggruppati in cinque categorie di valori e utilizzati per determinare la forma degli insediamenti: i valori forti, i valori desiderabili, quelli deboli, i valori nascosti e i valori trascurati. Al primo gruppo fanno parte l'aumento della mobilità, la dotazione di spazi adatti ad usi differenziati e la riduzione dell'inquinamento; alla categoria dei valori desiderabili appartengono, invece, una migliore equità, la conservazione delle risorse materiali e dell'energia, l'aumento dei servizi; mentre fra i valori deboli sono annoverati l'aumento dell'integrazione sociale e della diversità; nel quarto gruppo, quello dei valori nascosti, troviamo il mantenimento del controllo politico, il profitto e l'eliminazione di persone e attività indesiderate; infine, nella categoria dei valori trascurati ci sono l'aumento delle esperienze simboliche e sensoriali delle città e il controllo degli utenti<sup>99</sup>. Il Lynch voleva evidenziare come la presenza di valori collettivi poteva essere più influente dei processi naturali ed ecologici nel processo di formazione urbana; era dunque un precursore delle attuali tendenze sostenibili e, indirettamente, le sue ricerche erano un invito a fissare delle regole sociali per costruire le città e amministrarle con diligenza. Lo stesso Lynch ha anche il merito di aver dato una nuova interpretazione del piano urbano, considerandolo un processo piuttosto che un prodotto. Il piano dunque non è soltanto una rappresentazione e una descrizione dell'assetto fisico e spaziale di una città «quanto il complesso sistema di relazioni e di flussi materiali e immateriali»<sup>100</sup>.

### 1.2.3 La Partecipazione Sociale

La partecipazione e il ruolo della società nel processo decisionale sono un nodo fondamentale, richiamato più volte, non solo dalle conferenze internazionali, tenutesi negli ultimi quarant'anni, ma dagli stessi teorici e ricercatori. Non possiamo, fra questi, non citare Patrick Geddes, ritenuto uno dei padri della pianificazione urbanistica moderna, che interpreta l'urbanistica come una «“scienza civica”»<sup>101</sup> e non solo come una disciplina tecnica, secondo la concezione tradizionale, alla quale tuttavia si integra. L'urbanistica in quest'ottica è materia di interesse per architetti e ingegneri chiamati a pianificare il territorio negli usi e nelle funzioni, ma coinvolge anche i cittadini, spettatori e attori nella città, che hanno bisogno di conoscere, al pari dei tecnici, i problemi e gli aspetti di interesse collettivo. Geddes sottolineava la necessità di educare la comunità per renderla partecipe e quindi attiva nel processo decisionale che determina le scelte di piano, «“la conoscenza del contesto”»<sup>102</sup> diventa quindi fondamentale e acquista grande importanza la fase di rilievo e di analisi urbana. Il loro scopo è fornire una premessa tecnica che

<sup>98</sup> K. Lynch, *A Theory of good city form*, MIT Press, Cambridge, 1981.

<sup>99</sup> B. Sanyal, L. J. Vale, C. D. Rosan, *Planning ideas that matter: livability, territoriality, governance and reflective practice*, MIT Press, Cambridge-London, 2012, p. 35.

<sup>100</sup> G. Fera, *Comunità, urbanistica, partecipazione. Materiali per una pianificazione strategica comunitaria*, FrancoAngeli, Milano, 2008, pp. 63-64.

<sup>101</sup> *Ibid.*, p. 68.

<sup>102</sup> *Ibid.*, p. 69.

possa supportare e motivare le scelte del piano, nonché fornire le conoscenze indispensabili ad alimentare la coscienza collettiva; in pratica, il rilievo e l'analisi urbana indicano la strada da seguire per il futuro sviluppo di una città a partire dal suo passato. La lettura delle tracce urbane deve essere approfondita, in qualità di momento didattico, all'interno delle stesse scuole, dei musei, delle biblioteche. Geddes pensava a un processo di formazione permanente e non episodico, dettato da singoli eventi. Egli aveva proposto la realizzazione in ogni città di laboratori, osservatori e musei sul modello dell'Outlook Tower, che realizzò a Edimburgo sul finire dell'Ottocento. L'osservatorio urbano è diventato un luogo di incontro per pianificatori e cittadini all'insegna del motto «“Conosci la tua città”»<sup>103</sup>, che Geddes auspicava di esportare nel resto d'Europa. Affronteremo, in seguito, i metodi dell'analisi urbana, un tema ancora aperto a nuovi sviluppi, che si avvale spesso del contributo di altre discipline e si integra con metodologie adottate anche in campi diversi da quello urbanistico.

Il tema della partecipazione comunitaria alle questioni urbane in realtà si è diffuso anche in Italia già alla fine degli anni '60, ma solo con la legge 4 dicembre 1993 n. 493, nascono i primi programmi di recupero urbano, una forma di programmazione concertata che consente ai privati di formulare proposte per gli interventi pubblici. L'importanza del coinvolgimento sociale è stata poi ribadita dagli interventi sperimentali nel settore dell'edilizia residenziale sovvenzionata, realizzati nell'ambito dei programmi di recupero urbano, e denominati “Contratti di Quartiere” (CdQ) per evidenziare il carattere partecipativo e negoziale dell'iniziativa. Istituiti con i DD.MM. 1071-72 del 1° dicembre 1994 e oggetto della Delibera CER del 5 giugno 1997, i CdQ sono stati riproposti con i DD.MM. del 27 dicembre 2001 e del 30 dicembre 2002 per realizzare nuovi programmi urbani nei quartieri periferici o degradati. Intanto, col D.M. 8 ottobre 1998, n. 1169, sono stati introdotti i nuovi programmi di riqualificazione urbana e sviluppo sostenibile del territorio (PRUSST) che sono dichiaratamente orientati, nella stessa denominazione, al sostegno delle tematiche ambientali ed energetiche; anche in questo caso i soggetti proponenti non sono solo gli enti pubblici ma anche i soggetti privati. Con il successivo D.Lgs. 18 agosto 2000 n. 267 sono state introdotte le società di trasformazione urbana, per progettare e realizzare interventi in attuazione degli strumenti urbanistici vigenti. Si nota che anche la costituzione di società prevede il coinvolgimento di azionisti privati selezionati tramite procedura di evidenza pubblica e il loro compito è l'acquisizione delle aree interessate dall'intervento, la trasformazione e la commercializzazione delle stesse. Attualmente, la pianificazione è sempre più orientata verso il modello strategico che lega obiettivi e azioni per conferire al piano carattere operativo e il Fera<sup>104</sup>, ricercando gli studi sulle fasi evolutive della pianificazione strategica, ricorda i tre periodi di riferimento: quello della pianificazione strategica - razionale, che va dalla seconda guerra mondiale agli anni '70; la fase della pianificazione strategica - negoziale, che riguarda gli anni '80, e gli inizi degli anni '90; e il periodo della pianificazione strategica - comunitaria, che caratterizza gli ultimi decenni ed è guidato dai principi della sostenibilità, in termini di partecipazione e con riferimento alla dimensione locale dei centri urbani.

L'elaborazione dei piani strategici, come gli altri strumenti della pianificazione, segue un vero e proprio iter procedurale che inizia con la definizione dello scopo principale, l'idea che guiderà le azioni del piano e le strategie che l'istituzione proponente, spesso rappresentata dall'amministrazione comunale, andrà ad attuare. In questa prima fase sono anche individuati i soggetti interessati dalla pianificazione; segue, quindi, la campagna di informazione, che ha l'obiettivo di coinvolgere i cittadini agli incontri e ai momenti di informazione e divulgazione conoscitiva. Infine, sono preliminarmente definite le strutture chiamate a realizzare e gestire il piano, come l'ufficio del piano e il responsabile del procedimento. Rimandando la sintesi della pianificazione strategica alle successive considerazioni sull'analisi urbana, intendiamo qui evidenziare come il coinvolgimento della collettività si collochi a monte della procedura. Questa si avvale di vari mezzi, dall'uso di interviste e questionari, alla costituzione di assemblee e

---

<sup>103</sup> *Ibid.*, p. 70

<sup>104</sup> *Ibid.*, p. 93



naturalmente all'apertura di siti web dedicati all'obiettivo dominante del piano. Esistono anche forme di interazione strutturata, che prevedono la formazione di gruppi di lavoro in rappresentanza di diverse istituzioni pubbliche e private, spesso coinvolti in workshop e forum urbani e forme di interazione permanente, come i laboratori di quartiere, chiaramente ispirati dalle idee sul valore pedagogico dell'urbanistica proposto da Geddes. Alcuni esempi sono rappresentati dai "laboratori territoriali"<sup>105</sup> di Roma, dagli "urban center"<sup>106</sup> di Torino o dalla "cittadinanza virtuale" di Venezia<sup>107</sup>, esperienze significative che possono diventare un monito per altri comuni e per altre comunità, anche di piccole dimensioni, non ancora inserite nell'ottica contemporanea della partecipazione al processo decisionale del territorio di cui sono parte. Le possibilità divulgative, legate alla diffusione del web, sono infatti molto maggiori del passato e gli incontri, i forum o i laboratori auspicati da Geddes possono oggi assumere una nuova dimensione, quella del virtuale, che può avere tuttavia dei riscontri concreti, reali e applicabili. Si vuole citare, infine, l'esperienza notevole della città di Ferrara nell'ambito di 2PxE, Pianura Padana Emiliana, Ricostruire il territorio/Fabbricare il futuro<sup>108</sup>.

#### 1.2.4 La Governance

Una buona *governance* si basa su efficienza economica, management innovativo, rispetto delle norme, pianificazione sostenibile, trasparenza, partecipazione fra pubblico e privato; sicuramente non possiamo pensare che sia semplice mettere in pratica tutte le condizioni sopramenzionate, ma possiamo considerare doveroso il perseguimento di questi obiettivi. Molti comuni hanno quindi cercato di costruire a livello locale un sistema di organi e autorità preposte all'elaborazione di strategie, chiamate a promuovere lo sviluppo territoriale attraverso molteplici iniziative di tipo culturale, sociale ed economico; il recente interesse all'ecosistema ha poi prodotto iniziative rivolte alla tutela delle risorse naturali.

Fra le azioni promosse a livello europeo, per migliorare l'approccio delle istituzioni alle tematiche ambientali, il Patto dei Sindaci<sup>109</sup> è certamente una delle più significative. Lanciato dopo l'adozione, nel 2007, del documento "Energia per un mondo che cambia", con il quale l'Unione Europea si è impegnata a ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> del 20% entro il 2020, aumentando contemporaneamente il livello di efficienza energetica e l'uso di fonti energetiche rinnovabili rispettivamente del 20%, l'impegno dei sindaci riguarda l'attuazione di un Piano di Azione per l'Energia Sostenibile (PAES), da sviluppare entro un anno dalla ratifica al Patto dei Sindaci. Si tratta di uno strumento di governance multilivello che affianca al tema del risparmio energetico altri obiettivi, oggi molto sentiti in ambito comunitario, come la necessità di creare nuovi posti di lavoro, l'impegno a migliorare la progettazione architettonica e urbana secondo i criteri della sostenibilità, l'esigenza di aumentare la competitività economica e il livello di indipendenza energetica dei paesi. Nel complesso sono tutti obiettivi ambiziosi e rappresentativi di un'Europa che affronta con coraggio i recenti problemi del cambiamento climatico e delle calamità naturali, sempre più frequenti e sempre più indicative dell'azione umana sull'ecosistema. La governance multilivello, inoltre, agisce attraverso il coinvolgimento di soggetti diversi che cercano alle varie scale di promuovere e attuare gli interventi più efficaci.

<sup>105</sup> *Laboratori territoriali* in

<[http://www.comune.roma.it/wps/portal/pcr?jp\\_pagecode=dip\\_pol\\_riq\\_per\\_lab.wp&ahew=jp\\_pagecode](http://www.comune.roma.it/wps/portal/pcr?jp_pagecode=dip_pol_riq_per_lab.wp&ahew=jp_pagecode)>.

<sup>106</sup> *Urban Center Metropolitano* in <<http://www.urbancenter.to.it>>.

<sup>107</sup> *La cittadinanza virtuale di Venezia* in <[http://www.myvenice.org/cittadinanza\\_virtuale.html](http://www.myvenice.org/cittadinanza_virtuale.html)>.

<sup>108</sup> International Conference: *Multi-Hazard Mitigation: A challenge for Sustainability and Safety* in <<http://www.laboratoriricostruzione-er.it/>>.

<sup>109</sup> *Il Patto dei Sindaci* in <[http://www.pattodeisindaci.eu/about/covenant-of-mayors\\_it.html](http://www.pattodeisindaci.eu/about/covenant-of-mayors_it.html)>.

Attualmente sono numerosi i comuni europei che aderiscono all'iniziativa, nonostante le difficoltà di tipo economico e tecnico; per questo i coordinatori del patto, le province e le regioni, offrono alle amministrazioni locali consulenza strategica e assistenza tecnico - finanziaria: una rete di sostegno, quindi, che accompagna lo sviluppo delle proposte e svolge attività promozionale al fine di invogliare un numero sempre crescente di partecipanti. Vogliamo, in particolare, ricordare gli «Elementi chiave per una buona riuscita del PAES»<sup>110</sup>, raccomandati dalle Linee Guida:

- *Ottenere il sostegno degli stakeholder: se il vostro PAES viene appoggiato, nessun altro fattore dovrebbe essere d'ostacolo! Interessi contrastanti tra gli stakeholder meritano un'attenzione speciale*
- *Guadagnatevi un impegno politico a lungo termine*
- *Rendete disponibili delle risorse finanziarie adeguate*
- *Un inventario delle emissioni di CO<sub>2</sub> adeguato è di fondamentale importanza. Non riuscirete ad intervenire su ciò che non potrete misurare!*
- *Integrate il PAES nella vita e nell'amministrazione giornaliera del comune: non deve essere solo uno dei tanti documenti, ma parte della cultura dell'ente!*
- *Garantite una gestione adeguata della fase di attuazione*
- *Controllate che il personale abbia le competenze adeguate, e se necessario organizzare dei corsi di formazione*
- *Imparate ad ideare ed attuare dei progetti a lungo termine*
- *Ricercate attivamente e fate tesoro dell'esperienza delle altre città che hanno sviluppato un PAES.*

L'elaborazione del PAES è preceduta da un Inventario di Base delle Emissioni (IBE), che consente di identificare le principali fonti antropiche di CO<sub>2</sub> per definire le priorità di intervento e le opportune misure di riduzione. L'IBE è dunque un documento preliminare di fondamentale importanza per identificare la situazione di partenza dei comuni. All'interno del PAES, il monitoraggio rappresenta un altro momento utile a garantire un continuo miglioramento del processo; in pratica, la Relazione di Attuazione, che i comuni sono tenuti a presentare ogni secondo anno successivo alla presentazione del PAES stesso, serve a puntualizzare i risultati ottenuti e a fissare nuovi obiettivi. Il monitoraggio si avvale, per questo, di indicatori, riguardanti settori diversi, dai trasporti, agli edifici, alla produzione locale di energia, al coinvolgimento del settore privato e a quello dei cittadini, fino agli appalti pubblici verdi (GPP)<sup>111</sup>.

## 1.2.5 La Smart City

L'ultima tendenza in materia di sviluppo urbano è rappresentata dall'idea più ampia e complessa di smart city. Non si tratta soltanto di una moda terminologica ma di un nuovo approccio diffuso nel 2007 da R. Giffinger<sup>112</sup> e ribadito nel 2008 da R. G. Hollands<sup>113</sup>. La definizione fornita dal primo, con riferimento alle ricerche congiunte del Politecnico di Vienna, dell'Università di Lubiana e del Politecnico di Delft sulle città di media grandezza, prende in esame le caratteristiche «*economy, people, governance, mobility, environment, living*»<sup>114</sup>, considerate indicative del livello di smartness urbana e definisce una città "smart" «quando, basandosi sulla combinazione tra i dati di fatto locali e le attività

<sup>110</sup> P. Bertoldi, D. Bornàs Cayuela, S. Monni, R. Piers de Raveschoot, *Linee Guida "Come sviluppare un piano di azione per l'energia sostenibile - PAES"*, Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea, Lussemburgo, 2010, p. 18.

<sup>111</sup> *Ibid.*, pp. 76-77.

<sup>112</sup> Ch. Fertner, R. Giffinger, H. Kramar, E. Meijers, *City ranking of European medium-sized cities*, 51<sup>st</sup> IFHP World Congress "Future of Cities", Copenhagen, 2007.

<sup>113</sup> R. G. Hollands, *Will the real smart city please stand up?*, in «City», Vol. 12, N. 3, 2008, pp. 303-320.

<sup>114</sup> Vienna University of Technology, University of Ljubljana, Delft University of Technology, *Smart cities – Ranking of European medium-sized cities*, Centre of Regional Science, Vienna UT, ottobre 2007, < <http://www.smartcities.eu>>.

realizzate da parte dei politici, dell'economia e degli abitanti stessi, presenta uno sviluppo duraturo nel tempo delle sei caratteristiche sopra citate»<sup>115</sup>. La preliminare individuazione delle caratteristiche chiave ha consentito il confronto di città di pari dimensioni, situate in regioni geografiche diverse, formando una ranking delle 256 città candidate e l'insieme dei dati raccolti, elaborati dall'Eurostat, è stato utilizzato per la scelta delle 70 città europee oggi considerate più smart. I risultati ottenuti sono stati sviluppati attraverso un sistema piramidale che descrive le 6 caratteristiche sopramenzionate con un numero di fattori, in totale 31, a loro volta valutati attraverso 74 indicatori. Il sistema è stato applicato a città selezionate in base ai seguenti criteri: popolazione compresa tra 100.000 e 500.000 abitanti, sede di almeno un istituto universitario e bacino di utenza inferiore a 1,5 milioni di persone. Nella classifica finale troviamo ai primi posti, oltre a Lussemburgo, i centri urbani danesi e finlandesi, mentre le città italiane Trento, Ancona e Perugia, si classificano rispettivamente al 49°, 51° e 52° posto. I dati raccolti sono importanti soprattutto per capire quali sono i punti di debolezza di ogni città e come intervenire con azioni mirate per aumentare le loro performance nei diversi ambiti. Nel caso, ad esempio, di Trieste scopriamo che guadagna il 12° posto per la smart economy ma scende al 67° per la smart mobility, seguita purtroppo dalla città di Ancona. Inoltre, le stesse informazioni possono indirizzare le scelte delle amministrazioni pubbliche, nonché stimolare il confronto fra diversi stakeholders con soluzioni innovative e di ampia intesa per le parti.

Hollands<sup>116</sup> ha in seguito spiegato come il termine "smart", sebbene non ancora del tutto chiaro, non possa essere usato al pari di un appellativo commerciale, nato magari per rinnovare l'idea di città, ma dovrebbe essere associato all'applicazione delle tecnologie elettroniche e digitali nei centri urbani, all'utilizzo delle ICTs (tecnologie dell'informazione e della comunicazione) per trasformare la vita e il lavoro delle persone e all'acquisizione di un approccio basato sulla conoscenza, sulla comprensione e sull'innovazione del sistema urbano. Le definizioni e i concetti che ruotano attorno all'espressione *smart city* sono attualmente varie e non possiamo ricondurci a una definizione unanime ma, come osservano A. Caragliu, C. Del Bo e P. Nijkamp<sup>117</sup>, gli aspetti che sostanzialmente distinguono una smart city da una città genericamente orientata alla sostenibilità e all'approccio ecologico sono l'elevato impiego delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione con la loro applicazione alle infrastrutture, e l'importanza del capitale umano in termini di istruzione e conoscenze differenziate e con riferimento al rapporto che le comunità intrattengono con l'ambiente. Occorre riconoscere che la diffusione della telefonia, dei personal computers, di internet, del GIS (Geographic Information System), del BIM (Building Information Modeling) e dei recenti software, disponibili in ogni settore, sono acquisizioni degli ultimi quarant'anni, decenni che hanno segnato l'evoluzione delle città, investendo tutti gli ambiti della vita, da quella domestica, a quella lavorativa, al tempo libero; pertanto, si può pensare che le città diventino più intelligenti col progredire delle ricerche e con l'applicazione dei risultati scientifici al mondo dell'urbanistica.

L'Unione Europea<sup>118</sup>, nell'intento di accrescere e consolidare le tecnologie energetiche entro il 2020 prima ed entro il 2050 poi, ha approvato il cosiddetto Strategic Energy Technology Plan (SET Plan) in seguito implementato dal programma European Industrial Initiatives (EII) e dall'European Energy Research Alliance (EERA). Il piano strategico per le tecnologie energetiche si propone di raggiungere obiettivi differenziati nel breve e nel lungo termine all'interno del condiviso scopo di una governance innovativa in materia di tecnologie energetiche. Gli studi portati avanti non interessano solo le industrie, ma anche mondo della ricerca, partner pubblici/privati e programmi congiunti fra Stati membri,

<sup>115</sup> *European smart cities – Un nuovo strumento scientifico per la valutazione delle città europee di media grandezza*, Conferenza Stampa, Expo Real, Monaco di Baviera, 10 ottobre 2007, <<http://www.smartcities.eu>>.

<sup>116</sup> R. G. Hollands, *Will the real smart city please stand up?* in «City», 12(3), 2008, pp. 303-320.

<sup>117</sup> A. Caragliu, C. Del Bo e P. Nijkamp, *Smart cities in Europe*, III Central European Conference in Regional Science, Amsterdam, 2009, p. 3.

<sup>118</sup> *Technology Roadmap* in <<http://setis.ec.europa.eu/set-plan-implementation/technology-roadmaps>>.

finalizzati alla cooperazione internazionale; essi riguardano le seguenti «technology roadmaps»<sup>119</sup>: energia eolica, energia solare, rete energetica, bioenergia, sistemi di cattura e stoccaggio del carbonio, fusione nucleare, efficienza energetica – smart cities. Nate nel 2008, le roadmaps sono ben presto diventate uno strumento fondamentale per integrare i progressi dei singoli Paesi e pianificare le prossime strategie; le attività svolte sono divise in tre tipologie: R&D programmes, Demonstration programmes, Market Replication measures. La prima attività si basa sulle ricerche portate avanti dalle università e dai centri privati di ricerca, riguarda i progetti pilota sviluppati nei laboratori e i test di prova effettuati su materiali e componenti. La seconda attività è a carattere divulgativo ed è finalizzata a dimostrare e diffondere le conoscenze acquisite. L'ultima attività si basa sul trasferimento dei risultati conseguiti al mondo della produzione.

Le iniziative della Comunità Europea sono state recepite in Italia con grande interesse, tanto che sono numerose le proposte attuate dalle città, come Torino<sup>120</sup>, attenta a monitorare costantemente l'implementazione dei servizi di car sharing, bike sharing, teleriscaldamento e smart building adottati dal comune piemontese, e Bologna, dove la collaborazione fra Comune, Università e Aster ha portato alla costituzione della piattaforma progettuale "Bologna Smart City"<sup>121</sup>, all'interno della quale sono stati individuati sette ambiti d'azione: valorizzazione e riqualificazione dei Beni Culturali, riprogettazione della Rete civica Iperbole 2020 Cloud & Crowd, Reti intelligenti basate su smart grid, banda ultra larga Fiber to the Home (FFTH) e smart lightning, impiego di sistemi elettrici per la Mobilità sostenibile, interventi di ristrutturazione del patrimonio pubblico e privato in favore di Quartieri sicuri e sostenibili, ottimizzazione dei processi e business intelligence nel settore Sanità e Welfare e promozione di una nuova cultura scientifica nel campo dell'Educazione e istruzione tecnica. Inoltre, dal 2012 si è aperta una manifestazione<sup>122</sup> interamente dedicata al nascente tema delle smart cities che, attraverso convegni ed esposizioni, contribuisce alla divulgazione e al confronto fra comuni che adottano approcci diversi ma appoggiano le stesse finalità. Non possiamo ricordare tutte le strategie attuate dai singoli comuni, ma vogliamo richiamare l'attenzione sulla città di Piacenza<sup>123</sup>, dove è stato sperimentato anche un sistema di indicatori di performance proposto dalla Fondazione per lo sviluppo sostenibile. Il set di indicatori serve a valutare il progressivo raggiungimento degli obiettivi fissati ed è individuato a partire dai dati sulla dimensione urbana, più dati sono disponibili e più adeguata sarà la selezione degli indicatori.

### 1.3 LA RESILIENZA URBANA

Il termine resilienza (dal latino *resilire*: rimbalzare, saltare indietro) ricorre spesso in molte discipline, come l'ingegneria, la psicologia, la sociologia oppure l'urbanistica, ma assume, secondo i casi, significati diversi e continua ad acquisirne di nuovi, in relazione agli ambiti in cui è adottato. Ponendo l'attenzione sull'aspetto urbano, e più precisamente sulla conservazione dei centri storici, faremo riferimento alla definizione fornita originariamente da Holling, riguardante i sistemi ecologici. La resilienza è «a measure of the persistence of systems and of their ability to absorb change and disturbance and still maintain the same relationships between populations or state variables»<sup>124</sup>: un concetto che si affianca a quello di stabilità, intesa come «the ability of a system to return to an equilibrium state

<sup>119</sup> Commission of the European Communities, *A Technology Roadmap*, Brussels, 07 ottobre 2009, pp. 5-13

<sup>120</sup> *Torino Smart City* in <<http://torinosmartcity.csi.it/>>.

<sup>121</sup> *Bologna Iperbole 2020. Uno spazio partecipato per l'agenda digitale* in <<http://iperbole2020.tumblr.com/smartcity>>.

<sup>122</sup> *Smart City Exhibition 2013* in <<http://www.smartcityexhibition.it/>>.

<sup>123</sup> Fondazione per lo sviluppo sostenibile, *Piacenza Smart City 2020*, in <<http://web2.comune.piacenza.it/smartcity>>.

<sup>124</sup> «una misura della persistenza dei sistemi e della loro abilità a assorbire i cambiamenti e i fattori di disturbo e mantenere ancora le stesse relazioni fra le popolazioni o le variabili di stato».

C. S. Holling, *Resilience and stability of ecological systems*, in «Annual Review of Ecol. Syst.», no 4, 1973, p. 14.

after a temporary disturbance»<sup>125</sup>. In sostanza, resilienza e stabilità sono due proprietà che descrivono il comportamento di un sistema, come può essere un centro urbano o un piccolo insediamento. Holling ha evidenziato anche che i sistemi resilienti non necessariamente sono anche stabili; ad esempio, le foreste possono mostrare una certa adattabilità ai cambiamenti climatici, quindi hanno capacità di resilienza, ma l'evento improvviso di un incendio non consente loro di ritornare "in equilibrio": hanno cioè una bassa stabilità e, una volta distrutte, si può solo provvedere al rimboschimento. Possiamo pensare che analogamente i centri storici, e più in generale le città nel loro insieme, possono implementare, attraverso i miglioramenti apportati sul costruito, la capacità di risposta agli eventi naturali; ma, nel caso di un terremoto devastante, possono essere rase al suolo, mostrando un basso livello di stabilità. E' facile comprendere che far leva sulla resilienza dei sistemi urbani è una scelta conveniente e strategica per affrontare le problematiche derivanti dagli eventi calamitosi che sono improvvisi e difficilmente gestibili. Il concetto di città resiliente, che si basa sul contributo di tutte le discipline coinvolte e di tutti gli esperti intervenuti, è stato descritto dalla campagna *Making Cities Resilient*<sup>126</sup>. Inoltre, attraverso il network accademico ANDROID<sup>127</sup> e il progetto educativo a esso associato, (la scrivente ha partecipato all'edizione 2013<sup>128</sup>), sono aggiornate costantemente le ricerche sulle nuove soluzioni in grado di contrastare efficacemente le minacce naturali e antropiche e rendere così più resilienti le aree urbanizzate. Gli ambiti di studio e gli approcci emersi, oggetto anche di futuri approfondimenti, riguardano sia gli aspetti socio-culturali e politico-economici, sia argomenti prettamente scientifici, attinenti alla fisica, alla statistica, all'ingegneria, all'architettura e all'urbanistica, abbracciando, dunque, una metodologia di tipo interdisciplinare.

Una città resiliente ai disastri dispone di abitazioni e infrastrutture rispondenti alle normative; è retta da un governo locale sensibile ai temi della sostenibilità e in grado di gestire le proprie risorse prima, durante e dopo un evento naturale; la popolazione e le autorità devono essere adeguatamente informate dei rischi, dell'esposizione e della vulnerabilità cui sono soggetti; la stessa comunità deve poter partecipare alle scelte di piano; una città resiliente, inoltre, si avvale del monitoraggio e delle ultime tecnologie scientifiche per salvaguardare il costruito, il patrimonio culturale, ambientale e il capitale economico, minimizzando così le perdite fisiche e sociali; risponde, quindi, agli eventi attraverso strategie di recupero, per ripristinare i servizi di base e le attività economiche ed istituzionali; infine, le città resilienti sono tali se, dopo aver acquisito la necessaria consapevolezza dei precedenti punti, indirizzano le proprie scelte sul costruito che è soggetto ai cambiamenti ambientali, compreso quelli climatici, rendendolo più efficiente e, nello stesso tempo, riducendo le emissioni di gas inquinanti.

Un esempio molto interessante viene ancora dal Network ANDROID; nella Conferenza 2014 (The 4th International Conference on Building Resilience, Incorporating the 3rd Annual Conference of the ANDROID Disaster Resilience Network) tenutasi a Manchester (UK), si è svolta una Sessione Tecnica Speciale dedicata a Venezia<sup>129</sup> e al suo territorio, selezionati come caso di studio nel progetto, riguardante scenari multi-hazard, valutazioni di resilienza e politiche di prevenzione/mitigazione.

<sup>125</sup> "la capacità di un sistema di ritornare a uno stato di equilibrio dopo un disturbo temporaneo".

*Ibid.*, p. 17.

<sup>126</sup> UNISDR, The United Nation Office for Disaster Risk Reduction, *How to Make Cities More Resilient*, United Nations, Geneva, 2012, p. 10, in <<http://www.unisdr.org/files>>.

<sup>127</sup> *Android Network* in <<http://www.disaster-resilience.net>>.

<sup>128</sup> T. Gambatesa, *The urban resilience in historic centres damaged by the earthquake: the case of Emilia Romagna Region (Italy)*, ANDROID Residential Doctoral School, Cyprus 23-24 October 2013, in <[http://www.disaster-resilience.net/image/Docs/ds1\\_proceedings.pdf](http://www.disaster-resilience.net/image/Docs/ds1_proceedings.pdf)>.

<sup>129</sup> M. Indirli, S. Knezic, R. P. Borg, Y. Kaluarachchi, B. Ranguelov, F. Romagnoli, C. Rochas, *The ANDROID case study, Venice and its territory: a general overview*, 4th International Conference on Building Resilience, Building Resilience 2014, 8-10 Settembre 2014, Salford Quays, United Kingdom, *ScienceDirect, Procedia Economics and Finance*, in <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>.

Possiamo osservare come la resilienza sia stata relazionata ad alcune tematiche che negli ultimi anni sono molto sentite: sostenibilità, adattamento, in particolare, ai cambiamenti climatici e alla riduzione delle risorse, rischio territoriale<sup>130</sup>. Numerosi aspetti considerati all'interno dei tre differenti approcci si sovrappongono, ma hanno dei tratti caratteristici che sono propri di settori scientifici differenti. Menzioniamo soltanto, di seguito, le caratteristiche salienti delle differenti angolazioni del problema.

Nel primo approccio, la resilienza diventa il mezzo attraverso il quale raggiungere gli obiettivi di sicurezza, sostenibilità e sviluppo. I sostenitori di questo orientamento possono essere ricondotti alla Resilience Alliance, una rete di ricercatori che provengono da vari ambiti, soprattutto scienze naturali, discipline economiche e sociali. Nel 2007 è stato avviato un progetto di ricerca chiamato Urban Resilience Program<sup>131</sup> per capire quali livelli di stress sono assorbiti dai sistemi socio-economici urbani. L'indagine prende in esame i flussi metabolici che sono alla base delle funzioni urbane, del benessere e della qualità della vita; le reti di governance che riguardano l'abilità ad adattarsi e riorganizzarsi; le dinamiche sociali afferenti alla sfera delle persone e delle comunità; l'ambiente urbano costruito composto di elementi fisici e dalle loro relazioni. Lo scopo ultimo dello studio è l'individuazione dei fattori di resilienza. All'interno di questo gruppo di ricerca, sono state anche definite le caratteristiche proprie dei sistemi complessi, come i tessuti urbani. Riassumendo, il primo elemento distintivo è il carattere dinamico delle città che sono in continuo cambiamento, costantemente sottoposte a nuovi cicli adattativi, per cui è difficilmente individuabile la miglior condizione di sostenibilità che può essere raggiunta; inoltre, l'ecosistema urbano si regge sulla diversità che viene tutelata grazie ai processi di feedback che si attivano: la governance diventa fondamentale per la completa gestione dell'ambiente urbano, mentre, per quanto riguarda il controllo del sistema, si tende ad agire sulle singole componenti e non sulla città vista nel suo insieme.

La relazione che invece intercorre fra la resilienza e l'adattamento ai cambiamenti climatici deriva dai fenomeni in atto. Quest'approccio cerca di individuare quali sono le strategie utili a raggiungere lo sviluppo di città e territori attraverso l'analisi delle criticità e l'elaborazione di scenari alternativi, utili a proporre nuovi modelli urbani. Gli scenari proposti possono essere di collasso, di adattamento oppure evolutivi, quest'ultimo è quello che deriva proprio da strategie di tipo resiliente. In questa categoria si inseriscono gli studi di pianificazione e progettazione urbana, scienze naturali e discipline socio-economiche. Gli aspetti che contraddistinguono un ecosistema resiliente sono individuati nelle cosiddette transition cities<sup>132</sup> e richiamano ancora concetti di diversità e ridondanza, modularità e organizzazione gerarchica, strategie mirate ai contesti locali, equilibrio fra risorse, ambiente e consumi. È posta grande attenzione alla ricerca della qualità con riferimento agli aspetti sociali, alla vivibilità degli ambienti, alla natura, alla mobilità. In sostanza, quest'approccio non è interessato tanto alla forma urbana quanto ai processi che si possono innescare per realizzare piani d'azione strategici.

Il terzo tipo di approccio, infine, si avvale della resilienza per ridurre i rischi territoriali e aumentare così la qualità urbana. In quest'ambito è forte la convinzione che la resilienza sia legata alla vulnerabilità del territorio. Inizialmente si pensava che l'una fosse l'opposta dell'altra e aumentare la resilienza implicava quindi la riduzione della vulnerabilità; in seguito, attraverso le riflessioni di A. White<sup>133</sup>, il concetto ha assunto una dimensione più ampia. Infatti, implementare la resilienza nel tempo non significa solo elaborare strategie mirate alle fasi di emergenza, ma implica anche sviluppare strategie di adattamento ai cambiamenti; significa ancora ridurre le cause della pericolosità. Quest'ultimo obiettivo, tuttavia, è difficile da raggiungere nel caso dei terremoti, dato che possiamo affidarci solo

---

<sup>130</sup> A. Colucci, *Le città resilienti: approcci e strategie*, Polo Interregionale di Eccellenza Jean Monnet - Università degli Studi di Pavia, Quarto d'Altino (VE), 2012, p. 14.

<sup>131</sup> *Research Prospectus. A Resilience Alliance Initiative for Transitioning Urban Systems towards Sustainable Futures* in <[http://www.resalliance.org/files/1172764197\\_urbanresilienceresearchprospectusv7feb07.pdf](http://www.resalliance.org/files/1172764197_urbanresilienceresearchprospectusv7feb07.pdf)>.

<sup>132</sup> R. Hopkins, *The transition handbook. From oil dependency to local resilience*, Green Books Ltd, Devon (UK), 2008 cit. in A. Colucci, *op. cit.*, p. 36.

<sup>133</sup> A. White, *Water and the city. Risk, Resilience and planning for a sustainable future*, Routledge, Abingdon (UK), 2010 cit. in A. Colucci, *op. cit.*, pp. 42-43.

a previsioni a medio termine spazio-temporale<sup>134</sup> (si veda ancora il Capitolo 3). Infine, aumentare la resilienza significa anche porre attenzione agli aspetti socio economici. I tratti che caratterizzano le città resilienti, proposti all'interno di questo gruppo, sono stati schematizzati da M. Pelling<sup>135</sup>: il principio dell'omeostasi, in base al quale nei sistemi si attivano meccanismi di risposta fra le parti, come conseguenza dei cambiamenti che avvengono attraverso un processo di apprendimento continuo che utilizza i meccanismi di feedback; l' "omnivory principle" secondo cui gli shock esterni sono affrontati con risposte diversificate; l' "high flux principle" stabilisce, invece, che la rapidità di risposta consente l'attivazione di un maggior numero di risorse; il "flatness principle" riguarda le gerarchie nei sistemi, ritenute responsabili della bassa resilienza; il "buffering principle" indica che i sistemi dotati di capacità di accesso risultano più resilienti; mentre il "redundancy principle" mostra come la sovrapposizione delle funzioni in un sistema favorisca il cambiamento di quest'ultimo, mantenendo le funzioni vitali e utilizzando gli elementi ridondanti per creare nuove funzioni. Anche altri autori sono intervenuti sul tema, contribuendo a delineare gli aspetti delle città resilienti, sviluppati con l'analisi del rapporto fra la resilienza e il rischio territoriale. Le stesse Nazioni Unite nel 2005 hanno promosso una campagna per costruire nazioni e comunità resilienti nota come l'Hyogo Framework for Action 2005-2015<sup>136</sup> e una delle cinque priorità individuate riguarda proprio l'identificazione, la valutazione e il monitoraggio dei rischi, sottolineando indirettamente il legame che il rischio intrattiene col concetto di resilienza.

L'ultimo dei tre approcci, forse il più giovane, è quello che probabilmente può favorire strategie utili per i centri storici che, in relazione alle tecniche costruttive del passato, mostrano valori di vulnerabilità abbastanza importanti. Tuttavia, mentre le valutazioni sulla vulnerabilità del costruito possono essere espresse attraverso indici numerici (determinati secondo i metodi presentati nel Capitolo 3, permettendo poi la quantificazione del rischio), sulla resilienza sono in corso studi per identificare metodologie (come ad esempio la Multiple-Criteria Decision Analysis) che permettano una definizione univoca della resilienza stessa.

Si può ipotizzare che l'analisi urbana possa essere un valido strumento per lo studio della resilienza ed eventualmente per una sua stima. Disporre di dati certi ed effettivi è sicuramente utile alle amministrazioni locali che sono chiamate a indirizzare lo sviluppo del territorio, attraverso opportuni investimenti che riguardano sia la sfera economica sia il capitale umano. Rendere la resilienza urbana un obiettivo sociale risponde alle attuali politiche, condivise a livello internazionale, ma valutare il livello di resilienza dei nostri centri urbani è ancor più importante per motivare le scelte della pianificazione e comprendere come migliorare lo stato delle città e la loro capacità di rispondere agli eventi calamitosi. La letteratura sul tema delle città e della resilienza è abbastanza vasta ed emergono numerosi indirizzi comuni ad ambiti disciplinari diversi. Si ritiene, univocamente, che investire nella resilienza e nella riduzione dei rischi sia un'opportunità<sup>137</sup> da cogliere e da approfondire attraverso l'analisi delle sfere politico-istituzionale, sociale, economica e ambientale: temi comuni al concetto di sostenibilità e di sviluppo territoriale, nonché obiettivi della pianificazione urbana contemporanea. Queste tematiche hanno un risvolto anche nelle discipline scientifiche, promuovendo l'individuazione di soluzioni applicabili al costruito, alle infrastrutture e al territorio in generale, su cui si riversano le calamità naturali e su cui si manifestano i danneggiamenti materiali e non dell'ambiente urbano. Nel vasto tema della prevenzione sismica, quindi, la resilienza urbana si colloca in prima linea e motiva gli studi volti a monitorare lo stato delle costruzioni e migliorare il loro comportamento durante gli eventi improvvisi.

<sup>134</sup> Si veda la nota 33.

<sup>135</sup> M. Pelling, *The vulnerabilities of cities. Natural disaster and social resilience*, Earthscan, Londra (UK), 2003, p. 8 cit. in A. Colucci, *Towards resilient cities. Comparing approaches/strategies*, in «TeMA», Vol. 5 n. 2 August 2012, pp. 101-116.

<sup>136</sup> UNISDR, *op. cit.*, p. 11.

<sup>137</sup> UNISDR, *op. cit.*, p. 18.



## 1.4 L'ANALISI URBANA

La pianificazione persegue la primaria esigenza di gestire le trasformazioni fisiche e funzionali che intervengono nel tempo in una data porzione di territorio assoggettata alle leggi di una comunità. Le scelte della pianificazione sono sempre supportate da motivazioni di varia natura che sono in grado di garantire il raggiungimento degli obiettivi fissati dal piano urbanistico o territoriale. Nel corso della storia, gli obiettivi sono cambiati molte volte ma sono rimaste invariate le esigenze di tutelare l'integrità fisica e l'identità culturale dei luoghi<sup>138</sup>. Dopo l'entrata in vigore della legge sull'ordinamento degli enti locali, (legge 142/1990)<sup>139</sup>, nelle nuove legislazioni regionali si è diffuso un nuovo modello di pianificazione che fornisce, da un lato, indicazioni e prescrizioni a tempo indeterminato e dall'altro individua programmi legati ad esigenze temporanee. Nel primo caso si fa riferimento a un piano strutturale o strategico, che definisce le regole delle trasformazioni attuabili in relazione alle caratteristiche sociali e alle possibilità economiche di un territorio, mentre la pianificazione programmatica dovrebbe cambiare gli interventi urbanistici ed edilizi, in relazione alle mutate condizioni di un territorio, ogni quinquennio, corrispondente alla durata del mandato amministrativo. In sostanza, le attuali forme di pianificazione sono legate alla dimensione temporale e sono guidate da due fondamentali requisiti: la coerenza nel perseguire nel tempo gli stessi obiettivi e nel verificare costantemente i progressi raggiunti e la flessibilità nel migliorare gli strumenti della pianificazione e aggiornare le azioni sul territorio.

Come osserva Salzano<sup>140</sup>, è possibile individuare tre livelli di pianificazione corrispondenti alla struttura gerarchica: regioni, province, comuni. Le leggi regionali hanno assorbito la divisione della pianificazione in due parti temporalmente differenti, anche se ogni regione ha utilizzato denominazioni diverse per identificare i propri piani. A livello comunale, invece, la pianificazione riassume gli indirizzi forniti nell'assetto complessivo del territorio ed è vincolata alle scelte dei piani sovraordinati.

La definizione di obiettivi unitari e la costante correzione delle scelte urbanistiche presuppongono un continuo lavoro di analisi urbana e controllo a posteriori della pianificazione; è per questo che nel tempo sono nate metodologie specifiche che ricorrono spesso all'impiego e alla quantificazione di indicatori urbani selezionati. Non possiamo pensare che sia semplice l'interpretazione dei dati raccolti ma certamente i contributi di varie discipline presenti negli ultimi anni nella tecnica urbanistica hanno cambiato la lettura della città e dei fenomeni in atto, rinnovando positivamente i mutamenti apportati al territorio. La *contaminatio* da altri settori scientifici o trans-disciplinarity ha, inoltre, permesso di motivare le scelte che hanno rilevanza nella sfera economica con considerazioni altamente attendibili.

### 1.4.1 Ambiti Applicativi

L'analisi urbana è condotta su tutte le componenti dell'ambiente antropico: popolazione, prima di tutto, ma anche condizione economica e sociale del territorio, risorse disponibili, sia quelle materiali sia quelle riguardanti il capitale umano e l'ambiente, rapporto fra parti urbanizzate e non, servizi, infrastrutture, comunicazioni e ricorso a nuove tecnologie, mobilità e organizzazione dei flussi, gestione complessiva dei sottosistemi interni al tessuto delle città.

---

<sup>138</sup> E. Salzano, *Fondamenti di urbanistica*, Laterza, Roma, 2010, pp.265-266.

<sup>139</sup> Il 18 agosto 2000 è stato emanato il *Testo Unico delle Leggi sull'Ordinamento degli Enti Locali*, Decreto Legislativo 267.

<sup>140</sup> E. Salzano, *op. cit.*, p. 271.

Con riferimento ai sopramenzionati temi, l'analisi urbana assume un ruolo centrale soprattutto nella pianificazione strategica. Come osserva il Fera<sup>141</sup>, diversamente dalla pianificazione a «carattere "normativo"» rappresentata dal Piano Regolatore Generale e basata sull'imposizione di vincoli e regole, quella a «carattere "operativo"» è orientata all'azione; essa è stata più recentemente definita strategica proprio per sottolineare che le strategie adottate sono frutto di un processo e non di un prodotto urbanistico. Si affida ai principi della qualità urbana, della salute e del rispetto ambientale e ravvisa la necessità di preservare il territorio che, a seguito di processi di antropizzazione incisiva, hanno determinato fenomeni di inquinamento dell'aria, dell'acqua e del suolo, ossia delle risorse primarie per la sussistenza delle varie forme vitali. Oltre ad avere il costante riferimento ai temi dello sviluppo sostenibile, i tratti propri della pianificazione strategica sono l'aspetto comunitario e partecipativo degli stakeholders, il riferimento al principio della «razionalità limitata», ossia la ricerca di soluzioni possibili e soddisfacenti e la ricerca di obiettivi condivisi. La pianificazione strategica è, inoltre, attiva: dunque pronta a investire risorse umane e finanziarie; partenariale in modo da rivolgersi al concorso pubblico e privato; integrata per raggiungere finalità diverse, di tipo urbanistico, ambientale, economico, sociale; e processuale/ciclica, cioè basata su procedure step-by-step che consentono di monitorare e valutare i risultati ottenuti. Lo schema organizzativo di cui si avvale può essere riassunto in alcune fasi principali: definizione degli scopi da raggiungere, coinvolgimento dei soggetti interessati, analisi del contesto e diagnostica, individuazione delle alternative valide a raggiungere gli obiettivi fissati, confronto e valutazione di queste, scelta delle preferenze in relazione alle conseguenze previste e scelta definitiva. Dopo l'attuazione del piano si ricorre al monitoraggio e alle valutazioni delle risposte per correggere eventuali carenze riscontrate.

Il piano strategico attualmente adottato da molti comuni italiani, è ampiamente conosciuto anche in Europa e negli Stati Uniti, dove la prassi urbana di tipo strategico era stata già avviata negli anni '60, un segnale forte che mostra quali sono stati gli indirizzi urbanistici condivisi e supportati da convegni, gruppi di lavoro internazionali e organizzazioni di studi socio-politici. Durante l'elaborazione di un piano strategico possono intervenire procedure valutative, a loro volta sviluppate sulla base degli indirizzi comunitari, che possono essere di natura economica, come l'analisi costi-benefici (ACB) e l'analisi multicriteria (AMC), oppure è possibile ricorrere a procedure non economiche, note in Italia come VIA, ossia Valutazione d'Impatto Ambientale e VAS, acronimo di Valutazione Ambientale Strategica.

La Valutazione di Impatto Ambientale è una procedura di analisi degli impatti provocati dagli interventi dell'uomo in un dato sito. La Direttiva 85/337/CEE applicò il metodo a una ristretta tipologia di interventi; con il D. P. R. 12 aprile 1996 è stato poi ampliato il numero delle tipologie da sottoporre a tale strumento e l'elenco è stato ulteriormente integrato con le disposizioni del D. P. R. 11 febbraio 1998. La VIA persegue quattro finalità principali: garantire che le tematiche ambientali diventino parte del processo decisionale, minimizzare, e se possibile eliminare, gli effetti significativi di tipo biofisico e sociale rilevanti, proteggere la capacità rigenerativa delle risorse naturali, promuovere lo sviluppo sostenibile ottimizzando l'uso delle risorse.

La Valutazione Ambientale Strategica, invece, è finalizzata a prevenire gli effetti ambientali derivanti dalla pianificazione di un intero territorio. Inizialmente regolamentata dalla Direttiva 01/42/CE, recepita dal D. Lgs. 3 aprile 1996, n. 152 e poi oggetto del D. Lgs. 16 gennaio 2008, n. 4, la valutazione ambientale di piani e programmi deve assicurare che l'attività antropica sia compatibile con lo sviluppo sostenibile, ossia con la capacità rigenerativa delle risorse, con la salvaguardia della biodiversità e con un'equa distribuzione dei vantaggi connessi all'attività economica. La VAS ha i seguenti scopi: pianificare nuovi programmi di sviluppo, assicurare un rapporto di rispetto e di tutela da parte dell'uomo nei riguardi della natura, pianificare l'uso delle risorse naturali, elaborare piani e programmi che affianchino al fine dello sviluppo economico quello ambientale.

<sup>141</sup> G. Fera, *op. cit.*, pp. 91-104.

Fra gli strumenti della pianificazione che si avvalgono dell'analisi urbana per orientare le scelte riguardanti la gestione del territorio e delle sue risorse, vogliamo menzionare, in particolare, i Piani di Ricostruzione. Nati nel dopoguerra per fronteggiare le necessità dei centri abitati danneggiati dagli eventi bellici (D. Lgs. 01/03/1945, n. 154, modificato dalla L. 27/10/1951, n. 1402, quest'ultima abrogata dall'art. 5 della L. 12/08/1993, n. 317), i Piani di Ricostruzione sono stati reintrodotti dopo il terremoto del Molise nel 2002 per il Comune di San Giuliano di Puglia e, più recentemente, predisposti in favore delle popolazioni abruzzesi dei comuni del cratere colpiti dal sisma dell'aprile 2009. Gli obiettivi della pianificazione post-sisma, coerentemente con le Linee di indirizzo strategico per la riqualificazione del territorio, di cui all'art. 1 del Decreto del Commissario delegato per la Ricostruzione del 09/03/2010, n. 3, sono la definizione delle tipologie d'intervento, la riqualificazione dell'abitato, il rilancio socio-economico dei Comuni. La definizione delle tipologie di intervento è finalizzata a determinare gli interventi più «idonei a garantire la migliore sicurezza delle costruzioni» e richiede un'attenta analisi sullo stato dell'abitato nonché l'individuazione delle condizioni edilizie precedenti all'evento sismico. La riqualificazione è volta alla promozione della qualità del costruito e, più in generale, alla qualità ambientale dell'intero territorio in termini di servizi. Infine la ripresa socio-economica è favorita non solo dal perseguimento dei precedenti obiettivi, individuazione degli interventi e attività di riqualificazione, ma anche dalla definizione di proposte sostenibili, dalla mobilità al risparmio energetico, alla promozione turistica dei luoghi.

La storia urbanistica del nostro Paese è abbastanza lunga e soprattutto si è dotata negli anni di numerosi strumenti per rispondere a esigenze diverse, nate dall'evoluzione culturale e sociale e, molto spesso, conseguenza delle problematiche emerse dopo situazioni di disagio, gli stessi Piani di Ricostruzione citati, ne sono un esempio. Avendo sottolineato il ruolo svolto dall'analisi urbana in alcuni degli strumenti della pianificazione, entreremo nel merito delle metodologie che possono essere impiegate per condurre efficacemente un'analisi del sistema urbano.

#### 1.4.2 Metodi d'Analisi

Nella pianificazione strategica, come evidenziato, l'analisi del contesto riveste un ruolo centrale e, all'interno di un modello di pianificazione partecipata, richiede un contributo multidisciplinare e un elevato coinvolgimento sociale. Le possibili modalità di analisi del contesto territoriale sono l'analisi dei problemi oppure l'analisi SWOT<sup>142</sup>. La prima fornisce un quadro delle problematiche rilevate, che consente la costruzione dell'albero dei problemi. La seconda, oltre a considerare i problemi del contesto in esame, debolezze e minacce, valuta anche quali sono le risorse interne al territorio, i punti di forza, e quali sono le risorse esterne, le opportunità. SWOT è proprio l'acronimo di Strengths, Weakness, Opportunity and Threats, ognuno dei quali è inserito all'interno di una matrice, in modo da analizzare qualsiasi tema da quattro diversi punti di vista.

Precisamente, la sola analisi dei problemi prende in esame le criticità dei settori d'interesse, ad esempio i trasporti o la condizione abitativa, messe in rilievo dai soggetti coinvolti nella pianificazione. Attraverso l'individuazione delle cause e degli effetti, si cercano le correlazioni esistenti fra le problematiche individuate e gli impatti negativi sulla società; il diagramma ad albero che è poi costruito fornisce un quadro gerarchico della condizione di partenza. L'albero dei problemi può essere letto in verticale, per avere una percezione chiara dei nessi individuati, e può essere visualizzato in orizzontale, per avere una panoramica delle questioni che si presentano all'analisi. Questo tipo di analisi può essere sviluppata anche da gruppi di lavoro diversi, in modo da avere più punti di vista e in modo da capire quali sono le prospettive condivise.

---

<sup>142</sup> *Ibid.*, p. 113-120.

Creata più di cinquant'anni fa nel settore aziendale e poi importata in altri ambiti, l'analisi SWOT è stata invece favorita dalle politiche comunitarie europee per i programmi di sviluppo, come i Quadri comunitari di sostegno 2000-2006. L'applicazione del metodo richiede l'individuazione di elementi interni al contesto oppure esterni a questo; i primi saranno classificati come punti di forza o di debolezza, mentre i secondi saranno rappresentati da opportunità e minacce. Tutti gli elementi individuati potranno riguardare settori diversi: ambiente, amministrazione, economia e finanza, società, cultura. I punti di forza sono rappresentati dalle risorse di cui dispone la comunità, intendendo in modo molto ampio il concetto di risorsa; anche il capitale umano e la ricerca scientifica o i valori propri di una comunità potranno essere annoverate in questa categoria. Rientrano invece nel gruppo delle debolezze l'insieme delle condizioni che possono ostacolare il raggiungimento dell'obiettivo prefissato, ad esempio la scarsità di conoscenze tecniche o il basso livello di coinvolgimento collettivo. La categoria delle opportunità rappresenta tutte le occasioni che aspettano di essere individuate, le stesse normative diventano un'opportunità, se utilizzare sapientemente. Infine, le minacce sono rappresentate dai fattori che generano squilibri nel sistema. Gli elementi che sono interni al contesto possono essere modificati dalle disposizioni del piano; al contrario degli elementi esterni, che, in quanto tali, sono indipendenti dalle nostre scelte. Tutti i dati raccolti nelle quattro categorie potranno essere valutati in maniera tecnica, su base numerica e in maniera partecipata, attraverso i giudizi e i commenti pubblici oppure si potranno effettuare entrambe le valutazioni per un eventuale confronto. A conclusione dell'analisi, potremo sviluppare un piano in grado di valorizzare i punti di forza, sfruttando le opportunità esterne e capace di rimuovere o minimizzare gli ostacoli, cioè le debolezze, abbassando il livello delle minacce. Questa metodologia è stata diffusa in molti ambiti, dalle politiche locali per lo sviluppo dell'occupazione al turismo e ci sono già le prime applicazioni dello SWOT in alcune regioni come la Calabria o il Piemonte.

Poiché il fine dello sviluppo sostenibile richiede sempre più frequentemente l'analisi dell'ambiente, è stata sviluppata una metodologia specifica, il modello DPSIR<sup>143</sup>, ossia Determinanti, Pressioni, Stato, Impatti e Risposte. Senza entrare nel merito, vogliamo evidenziare come spesso problematiche molto sentite abbiano spinto la ricerca verso metodologie mirate, come è avvenuto per lo studio dell'ambiente, che vogliono misurare o meglio quantificare un problema per poi elaborare i dati e produrre delle stime, utili a motivare la competitività dei territori. Questo ci lascia sperare nella futura determinazione della resilienza urbana.

Nelle metodologie d'analisi che abbiamo ricordato, si ricorre spesso alle cosiddette *clusters analysis*, ossia l'individuazione di gruppi o ambiti omogenei da sottoporre al vaglio dell'analisi. Le tecniche di clustering sono state impiegate anche per lo studio della vulnerabilità dei territori; ricordiamo la ricerca sull'area di Benevento<sup>144</sup>, elaborata più di vent'anni fa, dove, per valutare la vulnerabilità sismica del sistema urbano del centro storico, sono stati preliminarmente raccolti i dati afferenti a cinque categorie da analizzare: popolazione; edifici; servizi, attività produttive ed elementi strategici; territorio; tessuto urbano. In seguito, per ciascuna categoria sono state definite le variabili da considerare, ad esempio per il gruppo *edifici* sono state valutate: vulnerabilità (attraverso le schede CNR/GNDT, come si vedrà nel Capitolo 3), altezza degli edifici, volume, superficie, uso prevalente, larghezza della strada. Accanto alla fase analitica, la procedura operativa vera e propria, invece, si è basata sulla valutazione della vulnerabilità del sistema urbano di «primo tipo», riguardante i fattori strutturali e socio-economici, sulla vulnerabilità di «secondo tipo», relativa ai servizi e alle attività presenti e sulla vulnerabilità di «terzo tipo» che interessa i fattori morfologici. Per ottenere la stima finale della vulnerabilità sismica, è stata applicata la *clusters analysis* ai tre gruppi, ma la prima vulnerabilità era costituita da

<sup>143</sup> *Ibid.*, p. 121-127.

<sup>144</sup> F. Pannunzio (a cura di), *Il piano di mitigazione degli effetti del sisma a scala comunale: sperimentazione operativa sul comune di Benevento*, in A. N. I. SPE. R., *Interventi post-sismici sul patrimonio storico-architettonico*, BetaGamma editrice, Viterbo, 1991, pp. 118-125.

una serie di classi a loro volta già sottoposte alla clusters analysis, la seconda vulnerabilità era determinata da classi tipologiche e la terza, invece, era ottenuta attraverso un fattore correttivo. Il metodo è stato utile per sviluppare i successivi interventi di riduzione della vulnerabilità urbana: interventi che hanno interessato la strumentazione urbanistica, la vulnerabilità sismica e i costi. Probabilmente gli indirizzi comunitari che attualmente favoriscono i temi della sostenibilità e indirizzano le scelte verso il modello delle smart cities, avrebbero oggi sostenuto anche gli interventi sulla rete energetica locale oppure sulla tutela del verde o sui servizi rivolti alla collettività e l'impiego delle ICT, Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione; questo avrebbe anche richiesto analisi ulteriori, considerando un maggior numero di dati.

L'analisi territoriale può essere condotta anche attraverso il rilievo delle parti urbanizzate e non, al fine di ottenere informazioni sui tratti geometrici e geografici dei luoghi. Essendo molto vasto il campo degli oggetti fisici rilevabili, sono nate tecniche differenziate che si relazionano alla scala dell'oggetto da analizzare. Per semplicità possiamo individuare due misure di grandezza. La prima è la dimensione territoriale che può essere studiata attraverso il telerilevamento (in inglese Remote Sensing RS), l'aerofotogrammetria, il laser a scansione aereo e il GPS (Global Positioning System). La seconda dimensione fa riferimento all'oggetto architettonico, inteso non solo come singolo edificio, ma anche come aggregato edilizio. Entrambi possono essere efficacemente rilevati attraverso la fotogrammetria, la stazione totale, il laser a scansione terrestre e il GPS. Dai rilievi così effettuati possiamo trarre due tipi di rappresentazione: cartografie tematiche o disegni bidimensionali e tridimensionali degli oggetti architettonici.

Vogliamo soprattutto evidenziare come il telerilevamento sia diventato un supporto sempre più utile nella gestione del rischio ambientale. L'impiego del telerilevamento<sup>145</sup> consente l'elaborazione di carte tematiche rappresentanti vaste porzioni di superficie territoriale; le osservazioni periodiche consentono il continuo aggiornamento e il confronto dei dati raccolti. L'acquisizione dei dati avviene attraverso stazioni di rilevamento da terra, da aereo e/o satellite; la successiva fase di elaborazione può essere sia digitale sia analogica. Le informazioni che si ottengono sono costituite da immagini o misurazioni che devono essere poi interpretate, la fase conclusiva è rappresentata dalla restituzione dei dati attraverso l'elaborazione di mappe o grafici. Sono numerose le applicazioni di questa tecnologia, soprattutto nelle scienze ambientali, ma alcune recenti ricerche dimostrano i possibili impieghi anche nelle aree urbanizzate, densamente popolate. Un interessante lavoro è stato condotto sul tessuto urbano della città di Roma, dove sono state applicate le tecniche di Interferometria Differenziale SAR (DInSAR), basate su sistemi di acquisizione di tipo radar.

*L'interferometria differenziale SAR è una tecnica di telerilevamento che permette di ottenere misure di deformazione della superficie terrestre a partire dalla valutazione della differenza di fase (interferogramma) tra immagini SAR relative alla stessa area e acquisite in tempi diversi. Le capacità della tecnica DInSAR standard di analizzare gli effetti superficiali prodotti da singoli eventi deformativi, quali terremoti, è stata ampiamente dimostrata e l'interesse della comunità scientifica si è andato successivamente focalizzando sulle potenzialità offerte dagli approcci interferometrici avanzati in grado di produrre anche serie storiche di deformazione e, quindi, di seguire l'evoluzione temporale dei fenomeni oggetto di studio<sup>146</sup>.*

In sostanza, si tratta di una tecnologia particolarmente utile al campo della geotecnica e nel monitoraggio delle aree urbane. Nel caso di Roma, ad esempio, si è osservata una relazione inversa fra l'età del costruito e gli spostamenti misurati, dunque le parti più antiche hanno subito una deformazione minore e quelle più recenti una deformazione più

---

<sup>145</sup> M. A. Gomasca, *Elementi di geomatica*, Edizioni Associazione Italiana di Telerilevamento, Galliate Lombardo (VA), 2004, pp. 111-112.

<sup>146</sup> F. Calò, M. Bonano, F. Casu, R. Lanari, M. Manunta, M. Manzo, A. Pepe, G. Zeni, *La tecnica SBAS - DInSAR a supporto della gestione del rischio ambientale in aree urbane: il caso della città di Roma*, in AIT, ENEA, IREA, «Telerilevamento e le Nuove Scienze della Terra», Editto da Enea, 2011, pp. 13-15.

significativa. Informazioni di questo tipo sono certamente utili per indirizzare lo sviluppo urbano verso le porzioni di territorio che hanno dimostrato nel tempo una risposta migliore nei confronti di fenomeni naturali, non solo terremoti, ma anche alluvioni o inondazioni.

Le metodologie presentate evidenziano come la lettura del territorio, e in particolare quella delle aree urbanizzate, sia molto complessa perché legata a un numero considerevole di variabili, da quelle di carattere sociologico, alle questioni proprie della sfera normativa ed economica, a quelle di natura strettamente urbanistica, ai caratteri architettonici dell'edificato e agli aspetti riguardanti la natura geologica dei luoghi. Pertanto, l'inizio di un'analisi urbana è collegata alla definizione degli ambiti di studio e alla scelta delle metodologie più opportune; talvolta possono essere impiegati metodi differenti per eventuali confronti o per acquisire più dati. Si possono anche sperimentare nuove tecniche, a misura di problema, ma è sempre importante utilizzare l'analisi urbana come premessa di qualunque scelta riguardante il costruito.

### 1.4.3 Metodi Rappresentativi

Le moderne tecniche della Geomatica<sup>147</sup>, oggi di largo impiego, si avvalgono delle tecnologie elettroniche e informatiche per gestire dati spaziali georiferiti. Il termine stesso deriva dal greco *geos* che indica la Terra e da *matica* cioè l'Informatica. La parola è nata nell'Università di Laval in Canada, agli inizi degli anni Ottanta del Novecento, quando a livello europeo iniziavano a svilupparsi le prime iniziative per la conoscenza e la gestione dei rischi ambientali. La Geomatica è costituita da varie discipline che vogliamo solo richiamare: la geodesia, la topografia, la cartografia, la fotogrammetria, il telerilevamento, i sistemi di posizionamento digitali, i sistemi di scansione laser, i sistemi informativi territoriali (SIT) o Geographic Information System (GIS), i sistemi di supporto alle decisioni (SSD), i sistemi esperti, il web GIS, l'ontologia. Come è facile osservare, la Geomatica abbraccia sia le discipline che riguardano il rilievo, sia le tecniche di rilevamento attualmente disponibili che gli strumenti informatici per l'elaborazione dei dati.

Per descrivere i risultati delle analisi condotte sul territorio urbanizzato possiamo ricorrere a grafici, carte tematiche o relazioni. Negli anni, l'elaborazione delle carte tematiche, di supporto alla pianificazione, è stata perfezionata proprio con l'introduzione del GIS.

*Un GIS (Geographic Information System) è l'insieme complesso di risorse hardware, software, umane ed intellettive per acquisire, processare, analizzare, immagazzinare e restituire in forma grafica ed alfanumerica dati riferiti ad un territorio.*

*Il GIS è uno strumento informatico per l'acquisizione, l'elaborazione, la restituzione e l'aggiornamento di dati spazialmente riferiti alla superficie terrestre.*

*E ancora si può dire che: il GIS è uno strumento computer-based che permette di realizzare analisi spaziali attraverso la rappresentazione digitale di una area geografica combinata con una serie di altre informazioni di tipo alfanumerico che dipendono sostanzialmente dallo studio che si vuole condurre di volta in volta<sup>148</sup>.*

Gli ambiti applicativi del GIS sono numerosi. Infatti, è utile nella pianificazione del territorio, ma può essere adottato anche per valutazioni riguardanti la gestione di aree o per il loro monitoraggio; è utile nel mondo dell'archeologia e dei beni culturali per mappare reperti, monumenti ed opere di interesse storico-artistico e salvarli; fornisce informazioni afferenti a tematiche diverse, come popolazione, viabilità, servizi e, proprio per questo, può essere impiegato anche nell'elaborazione di simulazioni e scenari, in

<sup>147</sup> M. A. Gomasca, *op. cit.*, pp. 1-13.

<sup>148</sup> E. Caiaffa (a cura di), *Sistemi Informativi Geografici*, Edizioni ENEA, 2006, p. 11.

risposta ai problemi affrontati. L'informazione geografica, ossia i dati raccolti, sono pertanto di varia natura; inoltre, gli stessi dati possono essere relazionati per la produzione di cartografie tematiche.

I dati raccolti hanno alcune caratteristiche distintive: sono georeferenziati, rappresentano in scala le forme del territorio, sono inseriti in un database; se la mole di dati è considerevole e gli utenti che ne hanno accesso sono tanti, si può ricorrere anche a un database management system (DBMS). Per richiedere informazioni a un GIS è possibile adottare la metodologia del *point and click*, attraverso la quale, posizionandosi in un punto della mappa, è possibile ottenere, con un click, tutti i dati raccolti nel database sull'oggetto di interesse; oppure si possono effettuare *query* per selezionare solo alcuni dati. Inoltre, poiché un GIS è organizzato sulla base di *layer* differenti o strati informativi, possiamo visualizzare tutti i temi o scegliere solo quelli che sono utili nell'elaborazione di specifiche analisi. Di grande utilità sono anche i *charts*, che rappresentano in forma grafica i dati numerici contenuti nella tabella degli attributi di uno strato tematico.

Gli elementi geografici sono proiettati sulla Terra e sono rappresentati in un sistema di coordinate geografiche. Quello più comunemente usato è l'Universal Transverse Mercator (UTM), in cui ogni punto sulla mappa è individuato dalla sua distanza dal meridiano di riferimento e dalla sua distanza dall'Equatore. Occorre poi fissare un sistema di riferimento geodetico che consente l'elaborazione cartografica degli oggetti. Si tratta ancora di una proiezione dunque una corrispondenza biunivoca fra ogni punto dell'ellissoide di riferimento scelto e il piano della carta. Uno dei sistemi di riferimento geodetico (datum) maggiormente impiegato su scala mondiale è il WGS84 (World Geodetic System). Fissando il sistema delle coordinate e quello di riferimento è possibile la georeferenziazione delle informazioni territoriali raccolte.

In un GIS i dati spaziali sono memorizzati secondo due modelli di rappresentazione: quello vettoriale e quello raster. Nel primo caso le geometrie, rappresentate come punti, linee e poligoni, sono immagazzinate come liste di coordinate; i raster, invece, sono rappresentati da immagini, si pensi alle foto aeree o a quelle satellitari che risultano divise in pixel, cioè in tante celle di una matrice.

All'interno di un GIS è frequente l'importazione di modelli digitali quali i DEM (Digital Elevation Model) oppure i DTM (Digital Terrain Model), che forniscono informazioni altimetriche e morfologiche. Tali dati, spesso sovrapposti alle foto aeree, contribuiscono alla realizzazione di cartografie sempre più realistiche e dettagliate. Inoltre, è possibile integrare nel sistema elaborazioni CAD (Computer-Aided-Design oppure Computer-Aided-Drafting). Si tratta di rappresentazioni bidimensionali o tridimensionali che possono essere georiferite, per essere poi sovrapposte alle cartografie. Il CAD ha sostituito ormai da anni le precedenti elaborazioni manuali, così rilievi e misurazioni effettuate sul costruito sono restituiti all'interno di modelli vettoriali, facilmente aggiornabili e realizzabili velocemente. Anche nel CAD abbiamo la possibilità di creare più *layer* di lavoro, rendendo in questo modo più agevole l'esportazione dei dati selezionati.

Il sistema GIS è stato validato in varie circostanze, come nei casi di San Giuliano di Puglia (CB), in Italia, e della città di Valparaiso, in Cile<sup>149</sup>. Anche se le dimensioni territoriali dei contesti urbani erano molto diverse, le analisi sulla vulnerabilità del costruito, condotte con le metodologie che saranno presentate nel Capitolo 3, sono state rappresentate efficacemente proprio tramite il GIS. I database messi a punto raccoglievano, infatti, tutte le informazioni necessarie per descrivere le caratteristiche dell'edilizia locale, come la tipologia delle coperture, il numero di piani, l'organizzazione del sistema resistente o la regolarità in pianta e in elevazione dei fabbricati. Questi dati indicano soltanto alcune delle informazioni che è possibile raccogliere e rappresentare attraverso il sistema GIS; infatti, negli esempi cui abbiamo fatto riferimento, erano state condotte anche ricerche sugli aspetti architettonici e urbanistici.

---

<sup>149</sup> M. Indirli, *Organization of a Geographic Information System (GIS) Database on Natural Hazards and Structural Vulnerability for the Historic Center of San Giuliano Di Puglia (Italy) and the City of Valparaiso (Chile)*, in «International Journal of Architectural Heritage», n. 3, 2009, pp. 276-315.





Fig. 1.13 Perimetrazione dell'area d'intervento del Comune di Arsita (TE) ed esiti di agibilità (CTR, Ortofoto\_Volo\_2007 e dati AeDES: ENEA - C. R. Bologna)

Nel caso del Comune di Arsita (TE)<sup>150</sup>, Figura 1.13, che sarà oggetto di approfondimento del presente lavoro, il GIS si è dimostrato particolarmente efficace sin nelle prime fasi di indagine, quando si disponeva dei soli dati sull'agibilità degli edifici danneggiati dal terremoto del 2009. Il GIS ha accompagnato l'intera fase di studio del comune, arrivando a presentare un quadro di riferimento completo ed esauriente<sup>151</sup>.

Recentemente l'elaborazione cartografica è stata affiancata, grazie alle possibilità offerte dal *mondo virtuale*, da complesse ricostruzioni tridimensionali che consentono persino di ricreare città storiche ormai scomparse oppure città che sono state gravemente danneggiate da eventi catastrofici. Il Virtual Reality Modeling Language (VRML) fornisce rappresentazioni 3D che aiutano anche a riprogettare il costruito. La metodologia è stata applicata durante l'elaborazione del Piano di Ricostruzione di Arsita (TE). Il Comune abruzzese dopo un'approfondita fase di rilievo, che ha affiancato alle tecniche tradizionali l'ausilio del laser scanner, è stato interamente ricostruito in 3D, visionabile in rete<sup>152</sup>.

Vogliamo richiamare l'attenzione anche sui cosiddetti Building Information Modeling (BIM)<sup>153</sup> che spesso si avvalgono, proprio come il GIS, delle elaborazioni CAD, ma l'obiettivo non è la rappresentazione cartografica di dati territoriali, quanto la realizzazione di modelli tridimensionali del costruito. Trovano largo impiego in architettura e in genere nel settore edilizio per la possibilità di racchiudere nel modello realizzato numerose

<sup>150</sup> Piano di ricostruzione di Arsita in <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it>>.

<sup>151</sup> M. Indirli, S. Bruni, F. Geremei, G. Marghella, A. Marzo, L. Moretti, A. Formisano, C. Castaldo, L. Esposito, G. Florio, R. Fonti, E. Spacone, S. Biondi, E. Miccadei, I. Vanzì, A. Tralli, C. Vaccaro, T. Gambatesa, *The reconstruction plan of the town of Arsita after the 2009 Abruzzo (Italy) seismic event*, Proc. SAHC 2014 – 9<sup>th</sup> International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, Mexico City, Messico, 14–17 Ottobre 2014.

<sup>152</sup> F. Geremei, L. Moretti, A. Marzo, G. Marghella, and M. Indirli, *3D modelling of Arsita town in the framework of the reconstruction*, Proc. CC2013, The 14th Intl. Conf. on Civil, Struct. and Environ. Engineering Computing, Cagliari, Italia, 3-6 settembre 2013.

<sup>153</sup> S. Capocchin, A. Torre (a cura di), *Recupero edilizio e restauro*, Il sole 24 ore, Milano, 2010, pp. 5-18.

informazioni, si avvalgono quindi sempre di un database aggiornabile. Possono essere rappresentate agevolmente anche architetture storiche, con tutte le caratteristiche loro proprie, lavorando indistintamente su piante, sezioni, prospetti e viste 3D, a seconda di quale risulta più appropriata. Alcuni software appartenenti a questo gruppo sono oggetto di continue revisioni; l'obiettivo più prossimo è quello di integrare informazioni di tipo strutturale e impiantistico all'interno del modello 3D, per poter controllare efficacemente la progettazione degli interventi sul patrimonio architettonico nonché la progettazione ex-novo di nuovi manufatti. In pratica, la futura evoluzione di queste tecnologia è rappresentata dal Building Lifecycle Management, che consentirà di sviluppare simulazioni realistiche sui consumi degli edifici; pensiamo a quelli energetici come esempio, ma anche simulazioni sul comportamento strutturale delle costruzioni. Uno strumento di questo tipo permetterà di programmare in maniera più agevole gli interventi edilizi e gestire i costi di manutenzione degli immobili.

Gli strumenti della rappresentazione sono in continua evoluzione e sono evidentemente legati alle nuove tecnologie disponibili, come tablet e smartphone che ultimamente hanno rinnovato la concezione del rilievo nella dimensione temporale. I nuovi ritrovati tecnologici, infatti, permettono di avere a portata di mano strumenti per aggiornare e visualizzare continuamente i database, annullando le distanze fisiche. Ovunque è possibile, attraverso la connessione internet, condividere dati e informazioni, consentendo a tutti, in funzione delle proprie competenze, di partecipare al rilievo del territorio e alla sua rappresentazione nelle forme e nei modi più adatti. Durante le indagini, eseguite ad Arsita (TE), ad esempio, per valutare la qualità muraria<sup>154</sup>, sono state compilate apposite schede digitalizzate, che saranno diffusamente presentate nel Capitolo 3. I tablet utilizzati, hanno consentito l'acquisizione diretta delle immagini, la restituzione bidimensionale dei paramenti e la compilazione istantanea dei format, eventualmente aggiornabili.

---

<sup>154</sup> G. Marghella, B. Carpani, S. Bruni, M. Indirli, 2B\_01\_e, *Valutazioni tipologie murarie e quadro fessurativo* in <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>;

M. Indirli, S. Bruni, F. Geremei, G. Marghella, A. Marzo, L. Moretti, A. Formisano, C. Castaldo, L. Esposito, G. Florio, R. Fonti, E. Spacone, S. Biondi, E. Miccadei, I. Vanzi, A. Tralli, C. Vaccaro, T. Gambatesa, *The reconstruction plan of the town of Arsita after the 2009 Abruzzo (Italy) seismic event*, Proc. SAHC 2014 – 9<sup>th</sup> International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, Mexico City, Messico, 14–17 Ottobre 2014.

## 2. IL RESTAURO ARCHITETTONICO E URBANO

### 2.1 CENNI SULLE TEORIE DEL RESTAURO ARCHITETTONICO

Le teorie del restauro e la storia dell'architettura sono legate da un profondo rapporto. La storia, infatti, racchiude i simboli del passato e soprattutto i linguaggi che hanno determinato lo stile delle varie epoche, la cui conoscenza risulta imprescindibile in qualunque intervento di restauro sui manufatti storici e più in generale sugli agglomerati urbani. Non intendiamo affermare che il restauratore debba riproporre gli stili del passato nel progetto degli interventi; anzi, le teorie sul restauro, che saranno di seguito esposte, arrivano a escludere qualsiasi mimesi nelle forme del passato degli interventi recenti. La conoscenza storica deve servire, invece, a comprendere le caratteristiche delle antiche costruzioni per evitare errori e scelte sbagliate nella definizione del progetto di restauro. Il ruolo della storia è chiaramente espresso già nella Carta del Restauro del 1964 che all'art. 9 precisa:

*Il restauro è un processo che deve mantenere un carattere eccezionale. Il suo scopo è di conservare e di rivelare i valori formali e storici del monumento e si fonda sul rispetto della sostanza antica e delle documentazioni autentiche. Il restauro deve fermarsi dove ha inizio l'ipotesi: sul piano della ricostruzione congetturale qualsiasi lavoro di completamento, riconosciuto indispensabile per ragioni estetiche e tecniche, deve distinguersi dalla progettazione architettonica e dovrà recare il segno della nostra epoca. Il restauro sarà sempre preceduto e accompagnato da uno studio storico e archeologico del monumento.*

Definire il concetto di restauro significa ripercorrere le diverse modalità d'intervento e i differenti approcci adottati per l'esecuzione di opere edili sul patrimonio immobiliare nel corso della storia. La concezione del restauro negli ultimi secoli ha subito notevoli cambiamenti, mentre, fino al Settecento, gli interventi sono stati realizzati «mediante gli stessi strumenti e le stesse modalità - concettuali e pratiche - che hanno prodotto il manufatto originario»<sup>155</sup>. Si preferiva, dunque, apportare modifiche all'edilizia esistente per adattarla alle nuove esigenze, senza chiedersi se fosse giusto o no conservare quegli edifici nelle loro fattezze iniziali; passato e presente convivevano armoniosamente in un rapporto di reciproco incontro e in continuo divenire verso nuovi interventi di ristrutturazione. Questo spiega le stratificazioni che spesso possiamo leggere in antichi edifici: si pensi alla copiosa produzione, in epoca romana, di terme, domus e chiese più volte rimaneggiate. Inoltre, era frequente il recupero di elementi strutturali e non che venivano poi trasportati in altro luogo, addirittura in altre aree geografiche, determinando una variegata convivenza stilistica. La basilica veneziana di San Marco, arricchita da preziose decorazioni e materiali provenienti direttamente da Costantinopoli, ne è un esempio. Possiamo ancora osservare come nel Medioevo fosse frequente la ricostruzione delle chiese sulle mura delle precedenti basiliche cristiane, spesso con ampliamenti, aggiunte di nuovi spazi, come il transetto, oppure la perdita di antichi ambienti, come l'atrio delle basiliche paleocristiane<sup>156</sup>. Nel XVII secolo assistiamo a un diverso

<sup>155</sup> M. P. Sette, *Il restauro in Architettura: quadro storico*, UTET, Torino, 2001, p. 4.

<sup>156</sup> *Ibid.*, p. 14.

atteggiamento: gli edifici storici sono considerati come reliquie e per questo inseriti nelle nuove costruzioni o comunque messi in risalto.

Nell'Ottocento, il gusto per le rovine alimenta nuovi ideali estetici in tutti i campi della cultura, dalla poesia, alla pittura, all'architettura; così il pittoresco, in voga tra il barocco e il romanticismo, dona ai monumenti segnati dal tempo un fascino straordinario. La natura, che prende il sopravvento sui monumenti, ridisegna i contorni e gli effetti di luce e di ombra; nascono allora due diverse posizioni in tema di restauro: da un lato c'è chi considera tali rovine come una nuova forma dell'arte, dall'altro ci sono quelli che individuano nelle rovine un «documento materiale di storia»<sup>157</sup>, che dovrebbe essere conservato nella sua integrità, secondo una visione più vicina a quella del restauro moderno.

L'idea che il restauro sia legato alla conservazione delle antiche fabbriche probabilmente, nella ricostruzione storiografica della Sette, nasce in Francia, dopo la rivoluzione, quando il vescovo Henry Grégoire elabora i primi rapporti sulle distruzioni postbelliche, a seguito dei quali la Convenzione nazionale raccomanda la sorveglianza di tutti i monumenti, imponendo severe pene per coloro che li danneggiano.

Nel XIX secolo si collocano i primi documenti sulle modalità di esecuzione dei restauri. Di grande interesse è il chirografo scritto nel 1825<sup>158</sup> da papa Leone XII sulla ricostruzione della basilica di San Paolo Fuori le Mura a Roma, nel quale invita a non introdurre innovazioni o ad apportare modifiche sulle proporzioni e i decori della chiesa originaria. In sostanza, il documento esprime la volontà di ripristinare lo stato dei manufatti storici per tutelare l'aspetto originale delle antiche fabbriche. Un ideale di restauro in linea con l'approccio stilistico che dominerà, accanto ad altre posizioni, per tutto il secolo. Inoltre, ancora una volta, è in Francia che nasce il primo ufficio statale per la tutela del patrimonio storico-artistico. L'incarico, affidato al letterato Luis Vitet, comportava l'ispezione dei monumenti e la stesura di dettagliati rapporti sullo stato di conservazione e sulle metodologie da adottare contro i fenomeni di degrado. Sarà proprio Vitet a sostenere la necessità di avere una preliminare conoscenza del manufatto da restaurare e a non affidarsi a pure supposizioni, idea condivisa anche dal suo diretto successore, Prosper Mérimée. Quest'ultimo ha fornito alcune considerazioni sulle modalità d'intervento, basate sull'idea della «reintegrazione "in stile"»<sup>159</sup>, che consente, in mancanza di dati certi, di riprendere i motivi di analoghi edifici della stessa epoca e della stessa area, al fine di recuperare il valore storico del manufatto.

I presupposti storici, brevemente richiamati, inquadrano il periodo in cui si inseriscono i personaggi più rappresentativi in tema di restauro, come Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc, John Ruskin e in seguito Camillo Boito, Alois Riegl, Gustavo Giovannoni, Cesare Brandi, Renato Bonelli e tutti i maestri che hanno apportato interessanti contributi alla materia, anche in periodi più recenti. Possiamo osservare come ciascuno di loro, pur provenendo da settori disciplinari differenti, abbia rinnovato il restauro con punti di vista e considerazioni nuove, così come l'attuale cultura scientifica, attraverso studi sui materiali da costruzione, sulle loro caratteristiche strutturali e sulle tecnologie costruttive, continui ad aggiornare il vasto tema del restauro dei monumenti.

Il restauro strutturale, in particolare, indica l'insieme delle attività finalizzate alla tutela dei manufatti storici. Anche i provvedimenti provvisori, cui si ricorre nei momenti immediatamente successivi a eventi calamitosi, come i terremoti, sono rivolti alla tutela degli edifici in attesa di interventi veri e propri di restauro, mentre le cosiddette riparazioni si propongono di riportare gli immobili alla condizione precedente al deterioramento subito per cause di degrado naturale o dovuto a eventi eccezionali. In questo gruppo possono essere considerati sia gli interventi «leggeri»<sup>160</sup>, come rifacimenti di intonaci e sigillature di

---

<sup>157</sup> *Ibid.*, p. 43.

<sup>158</sup> *Ibid.*, p. 45.

<sup>159</sup> *Ibid.*, p. 48.

<sup>160</sup> A. Corsanego, *Meccanica delle strutture e restauro strutturale* in A. Bellini (a cura di), *Tecniche della conservazione*, Franco Angeli, Milano, 1988, p. 279.

fessure, sia gli interventi sulle membrature interne (muri, travi, pilastri, solette, archi, capriate, ecc.) e sui collegamenti, che possono essere eventualmente sostituiti. Nel restauro strutturale sono inclusi tutti gli interventi di rafforzamento che vogliono implementare il livello di sicurezza degli edifici. Le Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008 (e successive modifiche e integrazioni) definiscono tutti gli interventi che accrescono la capacità resistente dei fabbricati come «interventi di miglioramento»<sup>161</sup>, distinti dagli interventi di «adeguamento» e dalla «riparazione o intervento locale». Questi saranno confrontati nel successivo capitolo; in generale, tali attività sono raccomandate soprattutto per gli edifici siti in zone sismiche. Il rafforzamento delle strutture può essere rivolto alle fondazioni, ad esempio, tramite opportuni ampliamenti oppure attraverso la realizzazione di sistemi di isolamento sismico, e può interessare anche le murature, consolidate tramite l'impiego di tiranti, cordoli, realizzazioni di pareti armate, ecc.. Per quanto riguarda le ristrutturazioni, queste possono comportare mutamenti della tipologia strutturale: si pensi a tutti gli interventi che prevedono la conservazione degli involucri esterni e il rifacimento degli interni, a volte accompagnati da cambi di destinazione d'uso.

Il restauro strutturale negli ultimi anni è diventato oggetto d'attenzione soprattutto in Paesi seriamente danneggiati da eventi naturali. Accanto alla fragilità del territorio e al relativo rischio idrogeologico, occorre considerare anche i rischi cui è soggetto il costruito, sia i nuclei di antica edificazione, sia le nuove aree di espansione. Tuttavia, mentre l'edilizia più recente è realizzata con materiali e tecniche ampiamente studiati, quali il calcestruzzo o l'acciaio, i manufatti storici sono per lo più realizzati in muratura, argomento affrontato solo in studi più recenti. La volontà di conservare nel tempo proprio gli antichi edifici alimenta dunque la ricerca di nuove modalità d'intervento nel campo del restauro.

Ricordiamo anche la significativa rappresentazione fornita dal Corsanego<sup>162</sup> sul tema del restauro strutturale, in Figura 2.1. Nel piano (t, s), che rappresenta il tempo sull'asse delle ascisse e la sicurezza delle costruzioni sulle ordinate, l'età di un generico edificio è rappresentata dal segmento  $t_a-t_i$ . La sicurezza iniziale  $s_i$  non è necessariamente maggiore di quella limite  $s_l$ ; infatti, molti edifici storici, già al momento della loro costruzione, presentavano una limitata sicurezza strutturale, imputabile a carenze della tecnica costruttiva oppure all'impiego di materiale di bassa qualità; si trattava insomma di edifici realizzati difformemente dalla cosiddetta *regola dell'arte*. Il tratto  $s_a-s_i$  indica invece lo stato di degrado cui l'edificio è soggetto al passare del tempo.  $S(t)$  è la rappresentazione storica della sicurezza strutturale che, in determinate circostanze, può anche non essere una funzione continua e le eventuali discontinuità sono proprio dovute a fattori esterni, come l'azione improvvisa di un terremoto, la possibile erosione dei materiali per l'azione di agenti inquinanti, il deterioramento per cedimenti fondali legati all'instabilità dei terreni. Per evitare che l'edificio raggiunga il livello limite della sicurezza, è necessario eseguire un intervento di restauro nell'arco di tempo  $t_a-t_i$ , che implica una discontinuità di s, dal valore  $s_r$  al valore  $s'_r$ . Ipotizzando che col passare del tempo non ci siano altri eventi, quindi nuove discontinuità,  $S'(t)$  individua una rinnovata esistenza per la struttura, che, si suppone, avrà sempre bisogno di opere di manutenzione e interventi utili a prolungare nel tempo la sua vita (Fig. 2.1).

Al tempo  $t_a$  è indispensabile disporre di appropriate indagini diagnostiche che consentano di definire lo stato della costruzione e apportare, quindi, gli interventi che innalzeranno il valore della sicurezza al livello di  $s'_r$ . Tanto più tempestivi saranno gli interventi, maggiori saranno le possibilità di implementare la sicurezza. Parallelamente allo sviluppo scientifico sul calcolo delle strutture murarie, assistiamo ad importanti successi nel mondo della diagnostica, che, attraverso il perfezionamento di tecniche note e attraverso le nuove strumentazioni, può fornire interessanti risposte nell'impostazione del progetto di restauro.

<sup>161</sup> DM 14 gennaio 2008, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, Par. 8.4, *Classificazione degli interventi*.

<sup>162</sup> *Ibid.*, pp. 280-282.

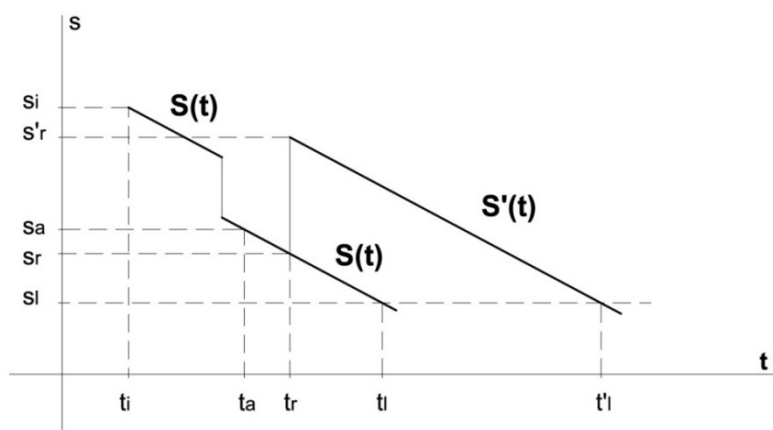


Fig. 2.1: Incidenza del restauro strutturale sulla vita di una costruzione (in Corsanego, 1988)

Non vi sono dubbi sul fatto che i monumenti del passato per continuare a vivere nel presente e nel futuro hanno bisogno di essere, prima di tutto, dei luoghi sicuri, ossia devono garantire l'incolumità delle persone e conservare gli eventuali beni di cui sono custodi. Il modello di valutazione della sicurezza degli edifici esistenti, secondo l'attuale normativa, deve essere «definito e giustificato dal Progettista, caso per caso»<sup>163</sup>. Sono infatti, numerosi i fattori da tener presente e le indagini da condurre. Per motivare qualunque giudizio, è indispensabile ricorrere all'analisi storico-critica del manufatto, al rilievo geometrico dello stesso, alla caratterizzazione meccanica dei materiali. I «livelli di conoscenza»<sup>164</sup> dei parametri presi in considerazione, ossia geometria, dettagli costruttivi e materiali, sono distinti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, proprio in base al grado di approfondimento raggiunto nella fase di studio dell'oggetto edilizio. Precisamente, per le costruzioni in muratura, tipiche dell'edilizia storica, nella Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, sono individuati i seguenti livelli di conoscenza:

- il livello di conoscenza LC3 si intende raggiunto quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ estese ed esaustive sui dettagli costruttivi, indagini in situ esaustive sulle proprietà dei materiali; il corrispondente fattore di confidenza è  $FC=1$ ;
- il livello di conoscenza LC2 si intende raggiunto quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ estese ed esaustive sui dettagli costruttivi ed indagini in situ estese sulle proprietà dei materiali; il corrispondente fattore di confidenza è  $FC=1.2$ ;
- il livello di conoscenza LC1 si intende raggiunto quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ limitate sui dettagli costruttivi ed indagini in situ limitate sulle proprietà dei materiali; il corrispondente fattore di confidenza è  $FC=1.35$ .<sup>165</sup>

I fattori di confidenza, secondo le NTC, devono essere utilizzati «come ulteriori coefficienti parziali di sicurezza che tengono conto delle carenze nella conoscenza dei parametri del modello»<sup>166</sup>.

La Circolare richiamata fornisce tali definizioni dopo aver precedentemente precisato il significato delle espressioni: «verifiche in-situ limitate» e «verifiche in-situ estese ed esaustive», riferite ai dettagli costruttivi, e «indagini in-situ limitate», «indagini in-situ estese», «indagini in-situ esaustive», riferite alle proprietà dei materiali. Le differenze sostanzialmente possono essere ricondotte al tipo di rilievo effettuato: se l'analisi si basa solo sul rilievo visivo, la conoscenza della muratura indagata sarà più «limitata», mentre il ricorso a saggi superficiali e interni e l'effettuazione di prove sui materiali determinerà un livello di conoscenza «esteso», infine, attraverso indagini sperimentali, in grado di fornire

<sup>163</sup> DM 14 gennaio 2008, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, Par. 8.5 Procedure per la valutazione della sicurezza e la redazione dei progetti.

<sup>164</sup> Ibid., Par. 8.5.4 Livelli di conoscenza e fattori di confidenza.

<sup>165</sup> Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, par. C8A.1.A.4 Costruzioni in muratura: livelli di conoscenza.

<sup>166</sup> DM 14 gennaio 2008, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, Par. 8.5.4 Livelli di conoscenza e fattori di confidenza.

indicazioni quantitative sulla resistenza dei materiali, si raggiungerà un grado di approfondimento “esaustivo”. Quanto evidenziato è sufficiente a chiarire come distinguere i livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e i conseguenti valori dei fattori di confidenza per edifici in muratura.

La sicurezza delle costruzioni, all'interno delle NTC<sup>167</sup>, è relazionata «agli stati limite», ossia le condizioni oltre le quali i manufatti edilizi perdono la capacità di soddisfare le esigenze per le quali erano stati progettati. Gli stati limite indicati dalla norma sono:

- *sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU): capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possono compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;*
- *sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE): capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;*
- *robustezza nei confronti di azioni eccezionali: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.*

Nel successivo Capitolo 8 delle NTC, dedicato alle *Costruzioni esistenti*, si precisa che gli interventi edili, qualunque previsti, possono essere verificati con riferimento ai soli stati limite ultimi. Tali verifiche sono necessarie in presenza di una delle seguenti situazioni:

- *riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti dovuta ad azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura), significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali, azioni eccezionali (urti, incendi, esplosioni), situazioni di funzionamento ed uso anomalo, deformazioni significative imposte da cedimenti del terreno di fondazione;*
- *provati gravi errori di progetto o di costruzione;*
- *cambio della destinazione d'uso della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o della classe d'uso della costruzione;*
- *interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità o ne modifichino la rigidità.*

Le norme, ai fini della valutazione della sicurezza del costruito<sup>168</sup>, che rappresenta un aspetto determinante per l'uso dei manufatti, impone il ricorso a «criteri probabilistici scientificamente comprovati». Le stesse norme definiscono il cosiddetto metodo semiprobabilistico agli stati limite, che consente di verificare la sicurezza strutturale «tramite il confronto fra la resistenza e l'effetto delle azioni». La resistenza dei materiali e le azioni sono espresse attraverso valori caratteristici, rispettivamente  $R_{ki}$  e  $F_{kj}$ , che sono definiti come «il frattile inferiore delle resistenze e il frattile (superiore o inferiore) delle azioni che minimizzano la sicurezza».

Come precisato nello stesso Capitolo 2 delle NTC, le verifiche nei riguardi degli stati limite ultimi si effettuano con il «“metodo dei coefficienti parziali”» di sicurezza, che può essere espresso secondo la seguente formula:

$$R_d \geq E_d$$

dove

<sup>167</sup> DM 14 gennaio 2008, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, Cap. 2 *Sicurezza e prestazioni attese*.

<sup>168</sup> *Ibid.*, Par. 2.3, *Valutazione della sicurezza*.



$R_d$  è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate;

$E_d$  è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto  $F_{dj} = F_{ki} \cdot \gamma_{Fj}$  delle azioni come indicato nel § 2.5.3, o direttamente  $E_{dj} = E_{ki} \cdot \gamma_{Ej}$ .

I coefficienti parziali di sicurezza,  $\gamma_{Mi}$  e  $\gamma_{Fj}$ , associati rispettivamente al materiale  $i$ -esimo e all'azione  $j$ -esima, tengono in conto la variabilità delle rispettive grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche e alla affidabilità del modello di calcolo.

L'idea espressa nel grafico del Corsanego, di prolungare la vita dei monumenti attraverso opportuni interventi, si traduce all'interno delle NTC nel concetto di «vita nominale» di una costruzione, a cui è riferita la sottostante tabella, contenuta nelle norme. «La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata»<sup>169</sup>. La definizione data sembra ribadire, ancora una volta, la necessità di effettuare interventi specifici programmati allo scopo di rendere utilizzabili gli edifici nel tempo e al fine di perpetuare la loro esistenza nell'interno urbano: un atteggiamento di rispetto verso il patrimonio edilizio esistente, finalizzato alla conservazione e alla tutela, che può essere considerato, proprio per questo, sostenibile. Il monumento, pertanto, può essere assimilato idealmente ad un organismo vivente che, in alcune fasi della vita, necessita di cure e attenzioni particolari. Tali cure non sono assimilabili ad interventi estetici, quanto ad interventi necessari per salvaguardare la salute dell'edificio. I monumenti che continuiamo ad ammirare e ad apprezzare devono la loro *bellezza* proprio alla condizione di benessere, che manifestano attraverso lo stato delle strutture, delle finiture e in relazione alle funzioni che continuano ad assumere nel tempo.

**Tabella 2.1 – Vita nominale  $V_N$  per diversi tipi di opere.**

TIPI DI COSTRUZIONE		VITA NOMINALE $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie - Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

<sup>1</sup>Le verifiche sismiche di opere provvisorie o strutture in fase costruttiva possono omettersi quando le relative durate previste in progetto siano inferiori a 2 anni.

### 2.1.1 Il Restauro Archeologico

L'archeologia ha assunto un rilevante ruolo nel restauro, dopo i primi scavi eseguiti nel 1711 ad Ercolano e in seguito dopo quelli del Palatino, di villa Adriana e di Pompei. In quegli anni compaiono i primi scritti sulle antichità: ricordiamo il lavoro del Winckelmann, già citato, nei due volumi *Monumenti antichi inediti* (Roma, 1767); sono inoltre pubblicati rilievi, relazioni di viaggi, studi sui monumenti e sulle caratteristiche delle architetture di determinate aree e di precisi periodi storici. Il patrimonio edilizio acquista valore proprio per la sua natura di antichità e nella cultura neoclassica il restauro nasce come necessità di conservare tale patrimonio e tramandarlo. In particolare, il restauro archeologico si occupa di tutti i manufatti ridotti dal tempo allo stato di rudere, antiche costruzioni che hanno perso l'originale aspetto formale, nonché le funzioni che un tempo ospitavano.

<sup>169</sup> *Ibid.*, Par. 2.4.1 Vita nominale.

Sembra evidente come l'apporto dell'archeologia, dell'architettura, della letteratura e della critica siano stati determinanti nella formulazione delle prime posizioni in tema di restauro.

A Roma sono scritti i primi provvedimenti di tutela del patrimonio storico. Si ricorda soprattutto l'editto emanato da Pio VII Chiaramonti nel 1802, denominato nel 1820 editto Pacca, con il quale si intendevano esaltare i monumenti storici, evitare scavi clandestini, impedire le demolizioni o le alterazioni dei monumenti antichi; anche statue, decori, pitture ed altre opere di valore artistico erano assoggettate agli stessi criteri. Sempre a Roma nel 1829 è nato l'Istituto di Corrispondenza Archeologica che raccoglieva i pareri e le considerazioni di tutti i ricercatori interessati alla materia e desiderosi di contribuire al complesso tema del restauro.

Ai primi decenni dell'Ottocento risalgono le teorie di Antoine-Chrysostome Quatremère De Quincy (1755 - 1849). Autore del *Dictionnaire historique d'architecture* (Parigi, 1832), ha cercato di chiarire il concetto di restauro<sup>170</sup> attraverso l'analisi dei lavori eseguiti sull'arco di Tito a Roma. L'arco, nel periodo medievale, era stato incorporato in altre costruzioni e solo grazie ai lavori di restauro ottocenteschi è stato liberato.



Fig. 2.2 Arco di Tito (Autore: Jean-Christophe Benoist, <<http://it.wikipedia.org/wiki/File:Rome-ArcheTitus.jpg>>, 03/07/2014)

Il progetto di restauro<sup>171</sup> era opera di R. Stern, morto durante l'esecuzione dei lavori nel 1820 e succeduto da G. Valadier che trovò in cantiere, già pronte, delle colonne prive di scanalature e dei capitelli sbazzati, realizzati con il travertino recuperato dal Colosseo. Non sappiamo se l'intento dello Stern fosse di scanalare le colonne dopo la messa in opera, come era in uso fare, e neanche se intendesse cesellare i capitelli, dopo il loro montaggio, per renderli simili agli originali. Il Valadier cercò di completare il lavoro frettolosamente, probabilmente perché l'appaltatore stava per fallire, utilizzando il materiale trovato, senza prevedere ulteriori finiture. Il risultato è un progetto che denuncia apertamente gli interventi apportati al monumento, si distingue qual è l'opera antica e qual è l'opera realizzata per completare quella antica. Questo ha condotto Quatremère De Quincy ad alcune conclusioni: la prima è la necessità di realizzare integrazioni con materiali coerenti con quelli del manufatto storico, infatti commentava:

<sup>170</sup> A. M. Racheli, *Restauro e Architettura: teoria e critica del restauro architettonico e urbano dal XVIII al XXI secolo*, Gangemi Editore, Roma, 2007, pp. 69-70.

<sup>171</sup> P. Marconi, *Materia e significato: la questione del restauro*, Laterza, Roma, 2003, p.96.

[...] quanti monumenti antichi si sarebbero salvati se ci si fosse presa esclusivamente la cura di rimettere al loro posto i materiali caduti, o soltanto di rimpiazzarvi una pietra con un'altra pietra<sup>172</sup>.

Il teorico non precisa quindi con quale pietra realizzare l'intervento. Quelle parole, inoltre, sembrano richiamare l'attenzione sulla manutenzione ordinaria dei manufatti edilizi, che, se ripetuta nel tempo, risulta utile ad evitare interventi incisivi e invasivi. La seconda considerazione del critico d'arte francese riguarda la necessità di realizzare un intervento integrativo che, trascurando il dettaglio, ricostruisca l'immagine del monumento storico nel suo insieme, contestualizzato nel luogo in cui si trova, contro la musealizzazione delle opere d'arte.

### 2.1.2 Eugène Emmanuel Viollet-Le-Duc

In pieno Ottocento nascono varie posizioni, a volte contrapposte, in tema di restauro. Fra queste, l'interpretazione fornita da Eugène Emmanuel Viollet-Le-Duc (1814 - 1879) è certamente una delle più rilevanti. Ha fornito, prima di tutto, una definizione del termine restauro:

*La parola e la cosa sono moderne. Restaurare un edificio non è conservarlo, ripararlo o rifarlo, è ripristinarlo in uno stato di completezza che può non essere mai esistito in un dato tempo. Solo a partire dal secondo quarto del nostro secolo si è preteso di restaurare edifici di altra epoca, e noi non sappiamo che si sia data una definizione precisa di restauro architettonico. Forse è opportuno rendersi conto esattamente di ciò che si intende o di ciò che si deve intendere per un restauro, poiché sembra che si siano ingenerati numerosi equivoci sul senso che si attribuisce o che si deve attribuire a questa operazione.*

*Abbiamo detto che la parola e la cosa sono moderne, e in effetti nessuna civiltà, nessun popolo, nei tempi passati, ha inteso fare dei restauri come li intendiamo oggi.*

*In Asia, una volta come oggi, allorché un tempio o un palazzo subiva la degradazione del tempo, se ne innalzava un altro a fianco. Non si distrugge perciò l'antico edificio, lo si abbandona all'azione dei secoli, che se ne impadroniscono come di una cosa di loro appartenenza, per corroderla a poco a poco. I Romani ricostruivano, non restauravano, e la prova è che il latino non ha una parola corrispondente alla nostra parola restauro, con il significato che le si attribuisce oggi. Instaurare, reficere, renovare, non significano restaurare, ma ripristinare, fare di nuovo<sup>173</sup>.*

Dopo i viaggi compiuti in Francia, in compagnia di Mérimée, alla ricerca di monumenti da restaurare, Viollet-Le-Duc divenne un attento studioso delle tecniche costruttive storiche, conosceva e descriveva minuziosamente i caratteri stilistici dei monumenti antichi, forniva spiegazioni e riflessioni soggettive sulle architetture del passato, rappresentative della cultura, delle condizioni economiche e sociali in cui erano state realizzate. Viollet-Le-Duc non si è limitato alla sola descrizione degli edifici storici. Egli si è avvalso delle conoscenze acquisite nei progetti di restauro che ha eseguito. Pur riconoscendo che ogni monumento è legato alla propria epoca, «i principi che hanno informato gli architetti del passato restano sempre vivi, sempre i medesimi e non cambieranno mai finché gli uomini saranno impastati della stessa pasta»<sup>174</sup>.

<sup>172</sup> G. Fiengo, *Il recupero dell'architettura medioevale nei pensatori francesi del primo Ottocento*, in «Restauro», nn. 47-48, 1980, pp. 88-90, cit. in A. M. Racheli, *op. cit.*, p. 69.

<sup>173</sup> E. Viollet-Le-Duc, *L'architettura ragionata: estratti dal dizionario (1854-1868)*, saggio introduttivo, commento e apparati di M. A. Crippa, tr. it. Jaca Book, Milano, 2002, p. 247.

<sup>174</sup> E. Viollet-Le-Duc, *Entretiens sur l'architecture*, 1, cit. in I. Tagliaventi, *Viollet-Le-Duc e la cultura architettonica dei revivals*, Patron, Bologna, 1976, p. 168.

Simili ideali lo hanno guidato nella progettazione degli interventi per la cittadella di Carcassonne, dove nel 1844 iniziarono i lavori di restauro della cattedrale di Saint - Nazaire, mentre nel 1851 iniziarono quelli dei bastioni militari, abbandonati e saccheggianti come fossero una cava, allo scopo di recuperare materiale edile. Viollet-Le-Duc ha catalogato tutti i pezzi, aggiungendo quelli mancanti e sostituendo le parti deteriorate, inoltre, ha modificato le strutture che considerava poco coerenti con lo stile dei manufatti originari, ricostruendo così anche le parti semidistrutte, come il portale Nord della cattedrale, e sopprimendo persino la cappella di Saint - André del XVI secolo. La cité di Carcassonne è stata dichiarata Patrimonio Mondiale dell'Umanità da parte dell'Unesco nel 1997<sup>175</sup>.



**Fig. 2.3** La città fortificata di Carcassonne (Autore: Jean-Pol Grandmont, <[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Carcassonne\\_JPG01.jpg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Carcassonne_JPG01.jpg)>, 07/03/2015)

Con modalità analoghe Viollet-Le-Duc ha progettato il restauro del Palazzo papale di Avignone e quelli delle chiese di Notre-Dame di Parigi e di Saint - Sernin di Tolosa<sup>176</sup>, solo per ricordare alcuni dei suoi interventi, cercando sempre di ricreare i caratteri stilistici delle epoche in cui erano stati innalzati gli antichi manufatti e utilizzando, per questo, gli stessi materiali, le stesse tecniche e le stesse forme.

Considerato scrittore, critico d'arte, architetto e restauratore, Viollet-Le-Duc rappresenta il principale esponente del restauro stilistico. Favorevole ad accogliere gli ideali di Vitet, era convinto che lo stile, proprio di un preciso periodo e di certo luogo, doveva essere restituito senza alcuna interpretazione. L'induzione che deriva dalla conoscenza stilistica, dunque, è l'unica risorsa, di cui può avvalersi il restauratore, negli interventi sui manufatti storici; questo motiva l'atteggiamento di Viollet-Le-Duc sia verso le aggiunte posteriori, spesso rimosse per riportare l'edificio alla purezza stilistica originaria, sia verso i miglioramenti e le ricostruzioni, effettuate per raggiungere «l'unità stilistica»<sup>177</sup>. Tuttavia, mentre nei primi lavori il fine della conservazione sembrava essere dominante, negli interventi realizzati nel periodo più maturo della sua attività, Viollet-Le-Duc ha mostrato una certa creatività nel progetto di restauro, come nel caso di Notre-Dame di Parigi.

<sup>175</sup> *La città fortificata di Carcassonne*, in <<http://www.france.fr/it/siti-e-monumenti/la-citta-fortificata-di-carcassonne.html>>.

<sup>176</sup> I. Tagliaventi, *Viollet-Le-Duc e la cultura architettonica dei revivals*, Patron, Bologna, 1976, pp. 179-180.

<sup>177</sup> M. P. Sette, *op. cit.*, p. 52.

La nota chiesa francese fu affidata nel 1844 a Lassus e Viollet-Le-Duc<sup>178</sup>, considerati due esperti conoscitori dello stile gotico. Erano entrambi convinti che non fosse necessario, ai fini del restauro, realizzare le torri di facciata per completare l'aspetto della chiesa; ritenevano invece più importante ricostruire la guglia distrutta nel 1792, ma rappresentata fedelmente nei disegni di Garneray. Dopo la morte di Lassus, Viollet-Le-Duc completerà da solo i lavori per Notre-Dame e la guglia; diversamente dai disegni documentali, sarà arricchita da statue raffiguranti gli apostoli e lo stesso Viollet-Le-Duc. Un atteggiamento insolito, anche per il progetto degli interni, dove saranno eliminati i decori settecenteschi e dove Viollet-Le-Duc si troverà ad affrontare il delicato problema di restituire o no ad alcune campate l'altezza originaria del XII secolo. Il restauratore, attraverso una valutazione critica, non priva di dubbi, è giunto alla conclusione che non era giusto distruggere gli interventi, non conformi alle proporzioni originarie, ma realizzati in armonia con la chiesa, quindi era preferibile ricostruire le volte modificate. Saranno invece riscoperti i rosoni originali nell'ultima campata della navata, in quelle del transetto e nella prima del coro.

Viollet-Le-Duc nel suo lavoro mostra dunque una certa flessibilità nelle scelte progettuali, non agisce con il ricorso a modelli e standard predefiniti, preferisce ragionare sulle possibili soluzioni, affronta in sostanza in maniera critica il tema del restauro, suscitando a volte polemiche sul suo operato. Era del resto un anticonformista sin da ragazzo, quando rifiutò gli insegnamenti accademici della Scuola di belle arti e preferì lavorare nell'atelier di Jean Huvé prima e di Achille Leclère dopo, per acquisire conoscenze architettoniche.

### 2.1.3 John Ruskin

Mentre nascevano le teorie sul restauro stilistico, nel Regno Unito si diffondevano le considerazioni di un giovane critico, John Ruskin (1819 - 1900), che all'età di 29 anni, dopo la pubblicazione di varie opere, scriveva, nel 1848, *The Seven Lamps of Architecture*. Si tratta di un testo unico sui principi dell'architettura, che ha indirizzato e appassionato progettisti come Frank Lloyd Wright, e continua a emozionare i lettori contemporanei. Il libro racchiude un'innovativa teoria sulla conservazione del patrimonio architettonico e ambientale che, come osserva il Di Stefano<sup>179</sup>, anticipa i contenuti della Dichiarazione di Amsterdam del 1975 sulla conservazione integrata del patrimonio che risulta «minacciato dall'ignoranza, dalla vetustà, dalla degradazione sotto tutte le sue forme, dall'abbandono»<sup>180</sup>.

Nella «Lampada della memoria»<sup>181</sup> Ruskin delinea, prima di tutto, quali sono i propositi che dovremmo assumere verso l'architettura: «il primo consiste nel conferire una dimensione storica all'architettura di oggi, il secondo nel conservare quella delle epoche passate come la più preziosa delle eredità». Ruskin sembra richiamare i moderni concetti di sostenibilità; infatti, riferendosi agli edifici privati, precisa: «non riesco a fare a meno di credere che per un popolo sia un cattivo segno quando le sue case sono costruite per durare solo una generazione». La dimora è dunque il luogo che conserva i ricordi e i beni di una vita e «un uomo probò» ha cura di costruire quella casa perché possa continuare a vivere anche dopo la sua morte. Il critico arriva persino ad assimilare le abitazioni domestiche ai templi e a considerare un privilegio il potervi vivere. Indirettamente, egli offre ai suoi lettori interessanti osservazioni non solo sulle modalità costruttive dell'edilizia privata, ma anche sull'urbanistica dei centri abitati:

---

<sup>178</sup> *Ibid.*, pp. 53-54.

<sup>179</sup> R. Di Stefano, *Presentazione*, in J. Ruskin, *Le sette lampade dell'architettura*, tr. it. Jaca Book, Milano, 2007, p. 17.

<sup>180</sup> La Carta di Amsterdam del 1975, 6° principio: *Questo patrimonio è in pericolo*.

<sup>181</sup> J. Ruskin, *Le sette lampade dell'architettura* (1848), con una presentazione di R. Di Stefano, tr. it. Jaca Book, Milano, 2007, pp. 209-230.



*Io vedo quelle miserande concrezioni di calce e argilla che spuntano come una precoce fungaia nei campi limacciosi intorno alla nostra capitale, sui loro gracili e barcollanti gusci senza fondamenta di assi di legno a imitazione della pietra, disposte in quelle squallide file di una precisione freddamente regolare, senza differenze e senza alcun senso di fratellanza, tutte uguali e tutte isolate in se stesse. Le guardo non solo con l'incurante repulsione della vista offesa, non solo col dolore che dà un paesaggio deturpato, ma con il doloroso presentimento che le radici della nostra grandezza nazionale debbono essere incancrenite ben in profondità dal momento che sono piantate in modo tanto instabile nella loro terra natia<sup>182</sup>.*

L'insegnamento offerto da Ruskin può essere considerato di grande attualità: costruire i manufatti dell'edilizia domestica, con la stessa cura e le stesse attenzioni, cui si ricorre per i manufatti considerati di pregio, è certamente utile a preservare nel tempo tutti gli edifici e renderli più sicuri contro le calamità naturali. Le parole di Ruskin sono quindi interpretabili come un inno a ricercare la qualità edilizia e come un invito ad assumere un maggior senso di responsabilità nella costruzione delle città. Il critico inglese considera l'azione del tempo un vero valore aggiunto:

*Perché, invero, la gloria più grande di un edificio non risiede né nelle pietre né nell'oro di cui è fatto. La sua gloria risiede nella sua età, e in quel senso di larga risonanza, di severa vigilanza, di misteriosa partecipazione, persino di approvazione o di condanna, che noi sentiamo presenti nei muri che a lungo sono stati lambiti dagli effimeri flutti della storia degli uomini. E' nella loro imperitura testimonianza di fronte agli uomini, nel loro placido contrasto col carattere transitorio di tutte le cose, in quella forza che, attraverso lo scorrere delle stagioni, delle età e il sorgere delle dinastie, e il mutare del volto della terra e dei limiti del mare, mantiene la sua bellezza scultorea per un tempo insormontabile, congiunge epoche dimenticate alle epoche che seguono, e quasi costituisce l'identità delle nazioni, così come ne attrae su di se le simpatie. E' in quella dorata patina del tempo che dobbiamo cercare la vera luce, il vero colore, e la vera preziosità dell'architettura<sup>183</sup>.*

L'azione del tempo produce quell'effetto definito pittoresco che per Ruskin è «*sublimità parassitaria*». Non si tratta, insomma, di raggiungere semplicemente un ideale di bellezza, quanto di ottenere un elemento sublime che è parassitario perché generato dalla casualità, da «fattori accidentali». Mentre nelle opere pittoriche Ruskin si riferisce a Rembrandt o Caravaggio per richiamare l'attenzione sul ruolo delle ombre e sugli effetti creati dalla luce, nelle architetture:

*[...] il pittoresco si ricerca sempre nelle rovine, e si pensa consista nella decadenza. Invece, anche quando lo si ricerca in questo modo, esso consiste semplicemente nella sublimità delle crepe, o delle fratture, o nelle macchie, o nella vegetazione che assimilano l'architettura all'opera della natura, e le conferiscono quelle condizioni di colore e di forma che sono universalmente dilette all'occhio dell'uomo<sup>184</sup>.*

Egli giunge quindi nell'Aforisma 31 a delineare il concetto di restauro, che non ha legami con quello di conservazione, anzi per Ruskin «Il cosiddetto restauro è il peggiore delle distruzioni». Sembra quindi che l'esortazione del critico sia quella di tutelare i manufatti attraverso una costante cura e una continua manutenzione, così da non ricorrere a interventi che possano falsificare l'edificio originario. La contrapposizione fra l'idea di conservazione e quella di restauro lo porta ad affermare:

<sup>182</sup> *Ibid.*, p. 213.

<sup>183</sup> *Ibid.*, pp. 219-220.

<sup>184</sup> *Ibid.*, p. 225.

*Non parliamo dunque di restauro. Si tratta di una menzogna dal principio alla fine. Si può fare la copia di un edificio come la si può fare di un cadavere: la copia può avere dentro di sé la struttura dei vecchi muri, come il calco di un viso può averne lo scheletro; ma in nessuno dei due casi riesco a vedere con quale vantaggio; e non mi interessa<sup>185</sup>.*

Ruskin assume, dunque, una posizione chiara e categorica anche di fronte alla presunta necessità di intervento, il suo consiglio è:

*Prendetevi cura solerte dei vostri monumenti, e non avrete alcun bisogno di restaurarli. Poche lastre di piombo collocate a tempo debito su un tetto, poche foglie secche e sterpi spazzati via in tempo da uno scroscio d'acqua, salveranno sia il soffitto che i muri dalla rovina. Vigilare su un vecchio edificio con attenzione premurosa; proteggerlo meglio che potete ad ogni costo, da ogni accenno di deterioramento. Contate quelle pietre come contereste le gemme di una corona; mettetegli attorno dei sorveglianti come se si trattasse delle porte di una città assediata; dove la struttura muraria mostra delle smagliature, tenetela compatta usando il ferro; e dove essa cede, puntellatela con travi; e non preoccupatevi per la bruttezza di questi interventi di sostegno: meglio avere una stampella che restare senza una gamba. E tutto questo fatelo amorevolmente, con reverenza e continuità, e più di una generazione potrà ancora nascere e morire all'ombra di quell'edificio<sup>186</sup>.*

In queste parole possiamo, ancora una volta, leggere ideali che sono ampiamente condivisibili; possiamo, infatti, considerare la prevenzione e il monitoraggio due preziosi strumenti di cui avvalersi per la tutela dei manufatti storici. Anche se non era un restauratore, Ruskin ha suscitato tanta attenzione, animando il dibattito sui differenti concetti che ruotano attorno all'idea di restauro; forse può essere considerato un precursore delle posizioni più favorevoli al minimo intervento e all'aperta denuncia dei nuovi materiali e delle tecniche moderne.

#### 2.1.4 Camillo Boito

Camillo Boito (1836 - 1914) rifiuta la concezione stilistica, disapprova gli interventi che falsificano i monumenti, ingannando chi li ammira e motiva le sue posizioni, spiegando:

*Nel cacciare forzatamente lo spirito dell'architetto antico nella testa dell'architetto moderno, quello si adatta alle circonvoluzioni del cervello nuovo, ed il parto non riesce più né antico né moderno. Ma vuole che gliela spifferi? Quando i restauri sono condotti con la teoria del signor Viollet-Le-Duc, la quale si può dire la teoria romantica del restauro, e fino a ieri l'altro era universale, e tuttavia è seguita da molti, anzi dai più anche in Italia, io preferisco i restauri mal fatti ai restauri fatti bene. Mentre quelli, in grazia della benefica ignoranza, mi lasciano chiaramente distinguere la parte antica dalla parte moderna, questi, con ammirabile scienza ed astuzia facendo parere l'antico il nuovo, mi mettono in una sì fiera perplessità di giudizio, che il diletto di completare il monumento sparisce, e lo studiarlo diventa una fatica fastidiosissima<sup>187</sup>.*

Il restauro sembra colpevole delle manomissioni, delle contraffazioni e delle menzogne espresse nelle architetture del passato, che sono state rimaneggiate, ed è rifiutato in favore della conservazione, considerata come l'unica possibilità per la perpetuazione delle antiche fabbriche nel tempo. Non è tuttavia semplice mettere in pratica le considerazioni

---

<sup>185</sup> *Ibid.*, p. 228.

<sup>186</sup> *Ibid.*, p. 228.

<sup>187</sup> C. Boito, *I restauri in architettura. Dialogo primo*, tratto da *Restaurare e conservare* in *Questioni pratiche di belle arti*, Hoepli, Milano, 1893, pp. 3-32 in C. Boito, *Il nuovo e l'antico in architettura*, a cura di M. A. Crippa, Jaca Book, Milano, 1989, p. 108.



fatte; «le sentenze piene di saggezza» su come conservare i monumenti non hanno un riscontro pratico e, nonostante sia convinto che la prevenzione sia fondamentale nella tutela del patrimonio architettonico, Boito considera legittimo l'intervento di restauro quando si profili il rischio di perdere la memoria storica, rappresentata proprio dai monumenti del passato. La necessità è dunque il presupposto che giustifica il restauro:

*Ora, se non bastano né gli accerchiamenti né le chiavi di metallo, bisogna pure alle pietre, che non reggono più, sostituirne delle nuove. Certo, è un peccato; certo è una profanazione; ma, insomma, il palazzo si voleva in piedi o si voleva in terra?*<sup>188</sup>

Tali riflessioni hanno guidato l'architetto romano verso la teoria del restauro filologico che è ufficializzata nel documento elaborato nel 1883, dopo il IV Congresso degli Ingegneri e degli Architetti. L'indirizzo fornito dal restauro filologico considera essenziale la conoscenza storica del manufatto. Non si tratta di un concetto nuovo: infatti, già nell'orientamento stilistico, la ricerca d'archivio e lo studio dei caratteri architettonici degli edifici erano determinanti per la buona pratica del restauro. Mentre l'impostazione stilistica utilizza le informazioni raccolte e si avvale del criterio analogico per portare a compimento qualunque intervento, nella nascente impostazione filologica il restauro delle parti andate distrutte oppure le aggiunte, spesso apportate agli antichi monumenti, devono essere chiaramente distinguibili, quindi, la conoscenza storica serve a individuare il limite fra le parti originali e quelle che possiamo ipotizzare ma che non sono autentiche.

Il problema era stato posto proprio da Camillo Boito che aveva chiesto al comitato organizzatore del IV Congresso citato «se nei restauri convenga imitare, nelle parti da compiere o da aggiungere, lo stile, la forma, il lavoro, i materiali vecchi così le nuove opere sembrano originarie, o se all'incontro convenga, e in quale modo, mostrare al presente quali parti sono aggiunte o compiute»<sup>189</sup>. Dopo il dibattito aperto dal quesito, fu approvato l'ordine del giorno e quindi il documento che riassume i concetti cardine del restauro filologico. I manufatti architettonici, secondo tale documento, «servono, quali documenti essenzialissimi, a chiarire ed a illustrare in tutte le sue parti la storia dei vari popoli e dei vari tempi, e perciò vanno rispettati e serbati con iscrupolo religioso, appunto come documenti, in cui una modificazione anche lieve, la quale possa sembrare opera originaria, trae in inganno e conduce via via a deduzioni sbagliate»<sup>190</sup>. L'edilizia storica è assimilata a un libro che tutti devono poter leggere senza rimaneggiamenti e per questo Boito considerava preferibile il restauro che conserva intatto il monumento a quello che irrimediabilmente cancella la sua identità originaria.

Il documento approvato si compone di sette articoli che rappresentano la prima vera carta del restauro italiano e che vogliamo sinteticamente ripercorrere. Il primo di questi sottolinea che, quando un monumento necessita di interventi, è sempre preferibile il consolidamento alla riparazione, così come è preferibile la riparazione al restauro, evitando sempre le aggiunte. Nel secondo punto si affronta il caso in cui dette aggiunte risultino proprio indispensabili sia in parti mai realizzate, sia in parti distrutte dagli eventi della storia e di cui non si conoscono più le fattezze originarie. In queste ipotesi si raccomanda di realizzare interventi distinguibili, seguendo i caratteri dell'architettura contemporanea ma cercando sempre un equilibrio nella composizione. Al punto terzo si precisa che qualora si conoscano le antiche forme del monumento e siano documentate, è possibile riprodurre con precisione quelle forme, ma con materiali differenti o con segni distinguibili, come la data del restauro. Nei monumenti archeologici si consiglia di realizzare superfici «semplici» e geometrie appena abbozzate. Il quarto articolo si rivolge ai monumenti impreziositi da materiali diversi o da pitture o dall'aspetto pittoresco e invita

<sup>188</sup> C. Boito, *I restauri in architettura. Dialogo primo*, tratto da *Restaurare e conservare in Questioni pratiche di belle arti*, Hoepli, Milano, 1893, pp. 3-32 in C. Boito, *op. cit.*, pp. 111-112.

<sup>189</sup> Atti del IV Congresso degli Ingegneri e degli Architetti, 1883, p. 11 cit. in M. P. Sette, *op. cit.*, p. 81.

<sup>190</sup> *Ibid.*, p. 59 cit. in M. P. Sette, *op. cit.*, p. 82.

a minimizzare gli interventi che possono ridurre il carattere originario dell'opera. Il quinto articolo affronta il caso delle aggiunte apportate nel corso della storia sui monumenti antichi: se queste hanno una valenza artistica minore si può proporre la loro rimozione, in caso contrario potranno essere conservate con il manufatto originario. Il penultimo punto pone l'attenzione sulla necessità di documentare, attraverso le fotografie, i lavori eseguiti e gli stati di avanzamento delle attività, raccomandando di custodire tutti gli elaborati grafici presso gli uffici preposti. L'ultimo punto propone di attaccare al monumento una «lapide» per ricordare la data e gli interventi realizzati.

L'idea di restauro che Boito presentò dopo il Congresso citato, all'esposizione nazionale di Torino del 1884, è stata da lui riassunta in due sentenze, poi diventate versi<sup>191</sup>:

*Serbare io devo ai vecchi monumenti  
L'aspetto venerando pittoresco;  
E se a scansare aggiunte o compimenti  
Con tutto il buon volere non riesco,  
Fare devo così che ognun discerna  
Esser l'opera mia tutta moderna.*

Convinto che nei monumenti architettonici prevalgono tre differenti qualità, ossia «l'importanza archeologica, l'apparenza pittoresca, la bellezza architettonica»<sup>192</sup>, Boito ha distinto tre differenti modi di restaurare il patrimonio edilizio. Il restauro archeologico riguarda i monumenti dell'antichità per i quali giustifica le ricomposizioni, basate su documenti certi. Le architetture del passato, nella sua interpretazione, dovrebbero essere sempre assoggettate al minimo intervento o a soluzioni semplificate che rendono palese l'antico dal moderno. Negli edifici medioevali prevale, invece, il carattere pittoresco, dal quale trae ispirazione il restauro pittorico, che non deve eliminare il «segno amabile e severo dell'antichità»<sup>193</sup>. Infine, per gli edifici realizzati dopo il Rinascimento, si profila il progetto di restauro architettonico che, nonostante rifiuti le innovazioni, ha un maggior margine di libertà nelle scelte individuate, come la sostituzione di membrature deteriorate con analoghe nuove nello stesso materiale.

Camillo Boito si è dedicato soprattutto all'insegnamento e alle questioni teoriche del restauro; interpellato, a volte, come consulente, ha lavorato anche ad alcuni progetti, come quello, non realizzato, per la Chiesa dei Santi Maria e Donato a Murano. Vogliamo, in particolare, ricordare la Porta Ticinese Medievale di Milano, restaurata negli anni 1861-65, dove sono state eliminate le superfetazioni per valorizzare il monumento originario.



**Fig. 2.4 La Porta Ticinese Medievale di Milano (Autore: Giovanni Dall'Orto,  
<[http://it.wikipedia.org/wiki/File:5903\\_-\\_Milano\\_-\\_Camillo\\_Boito,\\_Porta\\_Ticinese\\_\(1865\)\\_-\\_Foto\\_Giovanni\\_Dall%27Orto\\_27-Feb-2007.jpg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:5903_-_Milano_-_Camillo_Boito,_Porta_Ticinese_(1865)_-_Foto_Giovanni_Dall%27Orto_27-Feb-2007.jpg)>, 29/06/2014)**

<sup>191</sup> C. Boito, *I restauri in architettura. Dialogo primo*, tratto da *Restaurare e conservare in Questioni pratiche di belle arti*, Hoepli, Milano, 1893, pp. 3-32 in C. Boito, *op. cit.*, p. 114.

<sup>192</sup> C. Boito, *I restauri in architettura. Dialogo primo*, tratto da *Restaurare e conservare in Questioni pratiche di belle arti*, Hoepli, Milano, 1893, pp. 3-32 in C. Boito, *op. cit.*, p. 115.

<sup>193</sup> M. P. Sette, *op. cit.*, p. 100.

La Porta risaliva al XII secolo, ed era l'unica ad avere una sola apertura; dopo l'intervento di Boito, furono aperte due fornici laterali. Il monumento è stato considerato come un oggetto «museale»<sup>194</sup>, da inserire nella città ottocentesca, una soluzione vincente che rende tuttora la Porta un punto di riferimento nella città.

I concetti sviluppati da Camillo Boito saranno approfonditi dai suoi allievi, Luca Beltrami (1854 - 1933) e Gaetano Moretti (1860 - 1938). Il primo è un architetto-restauratore; si è dedicato alla pratica della conservazione dei monumenti, lavorando soprattutto a Milano, dove ha progettato diversi interventi, come quelli per il Castello Sforzesco, per la basilica di Sant'Ambrogio o per la chiesa di Santa Maria delle Grazie. Anche Moretti, oltre ad essere docente e preside della Facoltà di Architettura di Milano, è particolarmente operoso nell'attività professionale e ancora oggi è ricordato per aver portato a compimento i lavori, già iniziati, per la ricostruzione del Campanile di San Marco a Venezia. Nonostante i numerosi interrogativi sulla ricostruzione, alla fine, il campanile sarà realizzato nelle sue fattezze originarie, ma nel progetto saranno introdotte delle innovazioni, come l'allargamento e il consolidamento delle fondazioni, la moderna ricostruzione delle rampe interne, la soletta armata della cella campanaria.

### 2.1.5 Alois Riegl

Noto come storico dell'arte, Alois Riegl (1858 - 1905) ha individuato considerazioni nuove sui monumenti e sul loro valore; le tesi proposte avranno notevoli echi oltre i confini austriaci e in particolare l'opera del 1903, *Der moderne Denkmalkultus, sein Wesen und seine Entstehung*, traduzione italiana: *Il culto moderno dei monumenti, il suo carattere e i suoi inizi*<sup>195</sup>, diventerà un punto di riferimento per tutte le teorie del restauro. Lo scritto, commissionato dalla presidenza della regia-imperiale Commissione Centrale per i monumenti artistici e storici, doveva guidare la riorganizzazione legislativa dei monumenti in Austria. Riegl viaggiò molto per censire e analizzare le antichità da salvaguardare, una vera missione che l'ha impegnato per tutta la vita, fino alla morte. Le indicazioni sulla tutela dei monumenti fornite dallo storico sono servite a individuare a livello normativo le regole da applicare, segnando una svolta nel modo di intendere i monumenti.

*Per monumento s'intende, nel senso più originale ed antico del termine, un'opera della mano dell'uomo creata con lo specifico scopo di conservare sempre presenti e vivi singoli atti o destini umani (o anche loro aggregati) nella coscienza delle generazioni a venire*<sup>196</sup>.

Riegl prosegue la sua trattazione riferendosi ai monumenti storici e artistici, cercando di capire in cosa consista il loro valore. Quello storico è rappresentato da «tutto ciò che è stato e che oggi non esiste più», il passato fa parte di una «catena di sviluppo» e le condizioni del presente, in quest'accezione, derivano proprio dagli eventi della storia che acquistano, per questo, un valore storico. Dato che è impossibile tener conto di tutti gli eventi del passato, siamo legati alle testimonianze che riteniamo più rappresentative dell'evoluzione dell'uomo. Alcuni scritti o alcune opere d'arte acquistano, quindi, un valore storico unico. D'altra parte è anche vero che un monumento storico possiede anche un valore artistico, rappresentativo di una particolare forma d'arte. Pertanto Riegl giunge alla conclusione che è improprio riferirsi soltanto all'uno o all'altro dei valori considerati e precisa ancora che il valore artistico non è proporzionato con quello storico; quindi, un

<sup>194</sup> P. Marconi, *op. cit.*, p. 131.

<sup>195</sup> A. Riegl, *Il culto moderno dei monumenti, il suo carattere e i suoi inizi* (1903), a cura di S. Scardocchia, tr. it. Abscondita, Milano, 2011.

<sup>196</sup> *Ibid.*, p. 11.

monumento artistico, non necessariamente possiede più valore perché è più antico: ci sono monumenti che hanno una qualità artistica considerata di valore maggiore rispetto ad analoghi monumenti che risalgono a epoche passate.

Lo storico si interroga poi sulla soggettività o sull'oggettività del valore artistico che attribuiamo a un monumento, evidenziando che dal Rinascimento agli inizi del Novecento esisteva un inviolabile ideale artistico cui tutti avrebbero aspirato, una sorta di canone oggettivo che forse solo gli antichi erano riusciti a interpretare nel migliore dei modi. Dal Novecento in poi, invece, la consapevolezza dello sviluppo storico ha completamente cambiato il modo di intendere l'arte, legandola al periodo storico, e i monumenti antichi continuano a essere apprezzati perché portatori di una *Kunstwollen*. In conclusione, nella visione moderna, non esiste un valore artistico assoluto, ma esiste un valore relativo «perché cambia incessantemente da soggetto a soggetto e di momento in momento». La tutela dei monumenti deve tener conto che il valore artistico «non è più un *valore in quanto memoria*, ma un *valore contemporaneo*» e quindi per Riegl è più corretto fare riferimento ai monumenti storici.

Il successivo ragionamento riguarda la differenza fra i monumenti storici «involontari» e quelli «intenzionali». Questi ultimi sono solo una parte dei primi; infatti, chi ha realizzato quei monumenti voleva certamente soddisfare le proprie esigenze, senza pensare che in futuro tali monumenti sarebbero diventati una testimonianza della cultura e dell'arte del passato. Entrambe le categorie rappresentano una memoria storica che vogliamo conservare e conoscere nella loro espressione originaria; tuttavia, mentre il valore dei monumenti involontari «ci è imposto dall'esterno (cioè da quelli che ne furono i creatori)», i monumenti intenzionali possiedono il valore che abbiamo stabilito noi. Inoltre, evidenzia Riegl, i sentimenti suscitati da un monumento storico sono percepiti sia dagli «specialisti», ai quali è affidata in via esclusiva la loro conservazione, sia dalle «masse»; per questo, «*il valore in quanto memoria*» è indicato dallo storico come «*valore dell'antico*», comprendente tutti i monumenti costruiti, indipendentemente dalla loro destinazione d'uso e dal significato che attribuiamo loro. Le classi individuate rappresentano una progressiva generalizzazione del concetto di monumento. Quelli intenzionali sono maggiormente soggetti al degrado del tempo perché quando vengono a mancare coloro che li hanno prodotti, nessuno cura più la loro manutenzione; quindi l'Antichità e il Medioevo «hanno conosciuto solo monumenti intenzionali».

La riscoperta dei monumenti del passato ha portato l'attenzione sulla cultura e sulle forme artistiche dei nostri antenati; tali monumenti sono diventati le radici di un popolo, acquistando quel «*valore contemporaneo*» cui si riferisce Riegl. Egli rintraccia nel Rinascimento italiano il periodo in cui la tutela dei monumenti è regolata dalle prime disposizioni normative; forse la motivazione è il bisogno dell'uomo rinascimentale di recuperare la cultura del passato, di ritrovare se stesso, per iniziare una nuova fase di sviluppo culturale, superando il precedente periodo delle invasioni barbariche.

I criteri adottati per identificare il valore di un monumento possono essere utili anche nella valutazione degli interventi di restauro, fornendo una metodologia per indirizzare le scelte progettuali e la loro ampiezza. A proposito dei monumenti portatori del valore dell'antico, Riegl precisa:

*Nelle opere umane recenti i segni del fluire del tempo (di una decadenza prematura) disturbano, nello stesso modo in cui nelle opere antiche ci irritano i segni di un nuovo divenire (restauri appariscenti). E' piuttosto la limpida percezione del corso circolare e regolare del divenire e del trascorrere del tempo secondo le leggi naturali ad appagare l'uomo moderno, e questo dagli inizi del Novecento*<sup>197</sup>.

Nel seguito delle sue riflessioni Riegl sembra favorevole alla cura e alla manutenzione dei monumenti, una forma di protezione contro la distruzione prematura, ma aggiunge:

---

<sup>197</sup> *Ibid.*, p. 34.

[...] la legge del corso circolare, la cui percezione sembra procurare il godimento del moderno osservatore dei monumenti antichi, non esige la stasi della conservazione ma il moto incessante della trasformazione. Il monumento non deve dunque esser sottratto al degrado delle forze naturali, nella misura in cui esso si produce in una continuità indisturbata e regolare, e non in seguito a una distruzione improvvisa e violenta, riconducibile, peraltro, a interventi anche dell'uomo. Deve comunque essere evitato, dal punto di vista del valore dell'antico, l'intervento arbitrario della mano dell'uomo sullo stato in cui il monumento si trova; non deve subire né addizioni né riduzioni, né il restauro di quanto l'opera della natura ha compromesso, né l'eliminazione di quanto l'uomo ha aggiunto alterandone la forma originaria. La sensazione liberatoria di un trascorrere naturale e regolare del tempo non deve esser guastata dall'innesto arbitrario di ciò che è proprio del divenire. In relazione a ciò il culto del valore dell'antico non condanna soltanto la distruzione del monumento a opera dell'uomo come intervento sconsigliato nel processo di degrado operato dalla natura - favorendo, d'altra parte, la sopravvivenza del monumento -, ma condanna anche, almeno in linea di principio, ogni attività di conservazione, ossia il restauro, come una intrusione altrettanto ingiustificata nel dominio delle leggi naturali. Il culto del valore dell'antico è dunque rivolto contro la conservazione del monumento, poiché la libera attività delle forze della natura deve condurre inevitabilmente alla sua completa distruzione<sup>198</sup>.

Ricordiamo anche quale dovrebbe essere, secondo Riegl, il ruolo sociale che la scienza assume nella tutela dei monumenti, così come il cristianesimo aveva reso comprensibili alle masse gli ideali che soprattutto la filosofia greca aveva sviluppato per le classi colte:

*E' certo che la radice del valore dell'antico nel passato fu quella scientifica del valore storico; ma il valore dell'antico vuol rendere significativo per tutti l'auspicato progresso della scienza, vuol rendere utilizzabile ciò che l'intelletto ha escogitato, per il sentimento di quelle masse che non possono essere convinte e convertite con argomenti dell'intelletto ma soltanto con l'appello al sentimento e alle proprie esigenze<sup>199</sup>; [...]*

Le considerazioni dello storico inducono a riflettere sulla volontà di riutilizzare i monumenti del passato e sulla necessità di assoggettarli a interventi di restauro. A proposito dei monumenti portatori del valore storico, egli evidenzia che dovrebbe essere nostro interesse la tutela del manufatto originario «in quanto opera umana». Il degrado, cui i monumenti sono soggetti, sono «un'aggiunta, sgradita e perturbante» e spiega Riegl:

*I sintomi del degrado, che per il valore dell'antico sono la cosa principale, dal punto di vista del valore storico devono essere eliminati con tutti i mezzi. L'operazione non va ovviamente fatta sul monumento originale, bensì su una copia, o soltanto con riflessioni o descrizioni sulla carta. Quindi, per principio, anche il valore storico considera il monumento originale intangibile, sia pur per una ragione completamente diversa dal valore dell'antico. Il valore storico tende non tanto a salvare le tracce dell'antico nel monumento e le trasformazioni causate dagli agenti naturali nel tempo trascorso dalla sua creazione - elementi che giudica indifferenti se non importuni -, quanto piuttosto a conservare un documento nel modo più fedele possibile per una futura attività di integrazione della ricerca storico-artistica<sup>200</sup>.*

In sostanza, i segni del tempo non possono essere cancellati e quindi è giusto che siano espressi chiaramente, ma l'intervento dell'uomo può servire per arrestare i processi di degrado, per ragioni naturali, del manufatto. Sembra evidente che gli interessi di un monumento, portatore di un valore antico, contraddicano quelli del valore storico e poiché

<sup>198</sup> *Ibid.*, p. 35.

<sup>199</sup> *Ibid.*, p. 37.

<sup>200</sup> *Ibid.*, p. 39.

il primo rappresenta la fase matura del secondo, solo il superamento del valore storico consente di perseguire un unico ideale in tema di tutela dei monumenti. Riegl osservava che la società dell'epoca non aveva ancora superato la fase del valore storico, anche perché era condiviso, allora come adesso, il bisogno di conoscere e il piacere di apprezzare opere nate in periodi stilistici diversi. Fortunatamente lo stesso Riegl evidenzia che il conflitto fra le due categorie si verifica abbastanza raramente perché sono due valori «inversamente proporzionali» per cui, se domina quello storico, soprattutto per i monumenti intenzionali, lasceremo prevalere l'interpretazione di restauro legata a questa categoria. L'esigenza dei monumenti, portatori di un valore intenzionale, è l'eternità, dunque un perenne stato di conservazione che combatte contro ogni segno del degrado, avvalendosi del restauro per raggiungere i suoi fini.

Il valore dell'antico risulta anche in contrasto con il valore contemporaneo che deriva dal soddisfacimento dei bisogni naturali o intellettuali; i primi sono definiti da Riegl come «*valore d'uso*» mentre i secondi rappresentano il «*valore artistico*» del monumento. Quest'ultimo è a sua volta diviso in «*valore di novità*» e in «*valore artistico relativo*». Il valore d'uso deriva dalla necessità di rendere utilizzabili i monumenti storici; è, infatti, impossibile sostituirli tutti con nuovi edifici e le ragioni sono numerose, a partire dal fattore economico, per questo dobbiamo sempre garantire che la vita e la salute di chi utilizza quel monumento sia tutelata. Il valore di novità risulta sempre opposto a quello di antico; infatti, rammenta Riegl, «la dignità del proprietario - il *decorum* - esige la totale eliminazione delle tracce di degrado»; inoltre, i rinnovamenti hanno una notevole influenza sulle masse che non hanno la preparazione necessaria a superare il valore storico. Per queste ragioni si pone il problema di trovare un compromesso fra il valore dell'antico con quello d'uso e con quello di novità. Probabilmente la questione si risolve cercando di individuare di volta in volta il valore prevalente, dunque, a ogni caso la sua valutazione, tenendo anche conto che i monumenti del passato hanno certamente un valore artistico relativo; ma, in quanto edifici storici, non hanno un valore di novità e il valore artistico relativo, d'altra parte, per durare nel tempo, impone una costante manutenzione dei beni.

#### 2.1.6 Gustavo Giovannoni

Nei primi decenni del Novecento le considerazioni di Gustavo Giovannoni (1873 - 1947) hanno riportato l'attenzione sui concetti sviluppati da Camillo Boito in tema di restauro, offrendo prospettive inedite per lo sviluppo urbano delle città, dove si contrappongono le nuove edificazioni al tessuto storico esistente. Giovannoni, infatti, non era soltanto un ingegnere ma affiancava all'interesse per la storia dell'architettura anche una grande attenzione per l'urbanistica e forse gli studi multidisciplinari intrapresi lo hanno guidato verso una visione d'insieme nelle problematiche del restauro.

Nel 1925<sup>201</sup> è pubblicato a Roma il volume *Questioni di architettura nella storia e nella vita* che affronta proprio l'applicazione del restauro alla dimensione urbana. In sintesi, Giovannoni è convinto che sia indispensabile rispettare una «scala di valori» e le costruzioni più recenti devono essere subordinate a quelle più antiche, affidandosi al «sentimento dell'ambiente». Il rapporto fra restauro e urbanistica sarà in seguito approfondito nello scritto del 1931, *Vecchie città ed edilizia nuova*. Nel primo capitolo ritroviamo alcuni concetti presentati nell'articolo omonimo pubblicato sulla "Nuova Antologia" nel 1913, ma la parte che sembra più interessante è quella che spiega il concetto di diradamento edilizio, una metodologia che, secondo Giovannoni, ha una triplice funzione nel provvedere alla riorganizzazione urbana, nel curare l'estetica delle città e migliorare, nello stesso tempo, le loro condizioni igieniche.

---

<sup>201</sup> S. Cusmano, *Cronologia* in G. Giovannoni, *Vecchie città ed edilizia nuova*, a cura di F. Ventura, Città Studi, Torino, 1995, p. 296.

Il diradamento<sup>202</sup> non si basa su regole standard; le strade possono essere ampliate in maniera irregolare, in alcuni casi saranno necessarie le demolizioni di case o gruppi di abitazioni per la realizzazione di piazze o giardini, considerati dei veri «polmoni», utili per la salubrità dei vecchi quartieri. Giovannoni suggerisce di ridurre al minimo le nuove edificazioni nelle porzioni di città demolita per evitare l'introduzione di elementi poco armonici con il contesto. Il nuovo sistema viario porterà «varietà di movimento» all'interno urbano, rendendo maggiormente luminosi gli ambienti cittadini e determinando nuove prospettive per i suoi abitanti, magari indirizzate verso quei monumenti dell'antichità o verso quelle abitazioni caratteristiche che risultano più rappresentative. La teoria del diradamento può essere applicata ad ampie porzioni di città, affiancata da norme e provvedimenti utili a determinare le caratteristiche edilizie delle nuove abitazioni, così da garantire il rispetto di precise condizioni di igiene e quindi di vivibilità. Le stesse norme possono essere un valido strumento per il restauro dell'edilizia esistente; Giovannoni fa riferimento, in particolare, ai cosiddetti «restauri di arte e di adattamenti *non radicali*», lasciando forse intendere la sua predilezione per gli assunti del restauro filologico.

Lo storico ricorda alcune applicazioni della teoria del diradamento come il caso di Siena, dove era in via di esecuzione un piano per il quartiere del Salicotto; altro esempio significativo era rappresentato dalla città di Bari, ma il caso che Giovannoni descrive in maniera più dettagliata è quello della città di Roma. La proposta, basata sull'applicazione del diradamento edilizio al quartiere del Rinascimento, era stata formulata nel 1913 ed elaborata nel 1919.



Fig. 2.5 Il Quartiere del Rinascimento a Roma (base cartografica in: [http://www.archweb.it/dwg/geografia\\_mappe\\_dwg/citta\\_italiane/citta\\_italiane\\_dwg.htm](http://www.archweb.it/dwg/geografia_mappe_dwg/citta_italiane/citta_italiane_dwg.htm), 26/06/2014)

<sup>202</sup> G. Giovannoni, *Vecchie città ed edilizia nuova*, a cura di F. Ventura, Città Studi, Torino, 1995, pp. 248-280.



L'area in esame era considerata di grande interesse storico e le edificazioni presenti risalivano ai secoli XV e XVI quando, sotto Sisto IV, iniziarono i lavori di «regolarizzazione del quartiere verso il ponte», un quartiere dove erano vissuti soprattutto gli addetti alla corte pontificia. Dopo un secolo, il centro cittadino si era spostato verso levante e nelle parti più interne del quartiere si constatò, ben presto, un evidente stato di degrado, dal quale, nonostante tutto, emergevano sempre gli edifici più rappresentativi e i gruppi di case caratteristici. Il caso romano si prestava bene sia a interventi di restauro dei monumenti, sia a una complessiva riorganizzazione della viabilità, anche se la realizzazione dei Lungotevere ha determinato non poche distruzioni, così come per il progetto del Corso Vittorio Emanuele II, cui si sono affiancati altri provvedimenti minori. Il programma complessivo prevedeva una sostanziale riduzione della densità abitativa del quartiere. La sua realizzazione è stata possibile solo dopo aver sventato le disposizioni del Piano regolatore del 1909, redatto dal Sanjust, che prevedeva fra Piazza Colonna e Ponte S. Angelo una strada che avrebbe seguito il tracciato di Via delle Coppelle, distruggendo al suo passaggio ogni costruzione esistente. Lo sventramento non fu appoggiato né da studiosi e artisti né dallo stesso Giovannoni, che anzi evidenziò come il rinnovamento non poteva «localizzarsi su di una linea», senza considerare il contrasto che le antiche abitazioni avrebbero manifestato contro la nuova edilizia.

I concetti presentati non devono sembrare un «sogno irrealizzabile di idealisti che vivono nelle nuvole», infatti, occorre sempre tener conto del vantaggio economico derivante da tali interventi. Giovannoni non fa riferimento a grandi guadagni ma ipotizza «un reddito sicuro del capitale impiegato» e di «un incremento progressivo», argomentando:

*Alle distruzioni si è sostituito l'oculato lavoro di adattamento, come in una piantagione un buon agricoltore procede a razionali e prudenti lavori di potatura e d'innesto che fanno rigermogliare le vecchie piante.*

*Ma a questa dimostrazione della convenienza economica, che accompagna la ricerca, cioè l'aumento del frutto, al miglioramento recato dalle opere intraprese, occorre aggiungere un'altra dimostrazione di ordine architettonico: quella cioè che l'organismo dell'edificio non risulti inadatto alla sua nuova funzione<sup>203</sup>.*

Giovannoni evidenzia quali sono gli interventi che possono migliorare la condizione dell'edilizia esistente, dai rinforzi strutturali, alle soluzioni che favoriscono l'illuminazione e l'aerazione degli ambienti interni, spesso insalubri per l'umidità, alla realizzazione di servizi igienico sanitari, considerando anche la necessità di organizzare nell'ambiente domestico disimpegni oppure di prevedere scale agevoli. Considerazioni queste che sembrano anticipare le moderne disposizioni normative in tema edilizio:

*Basta infatti spesso introdurre un cortiletto od una chiostrina in uno schema planimetrico, vuotando un ambiente scuro intermedio, per illuminare ed arieggiare l'interno della casa, disponendovi intorno ingressi e cessi e bagni. Basta diminuire un ambiente in profondità per poter ricavare lo spazio per ascensori e per piccoli vani per telefono. Le iniezioni di cemento riescono a rinforzare muri fatiscenti, come a porre un ostacolo alla umidità che risale dal terreno. Ai loggiati riaperti una chiusura a vetri riesce a mantenere il carattere architettonico conciliandolo con le nostre abitudini fredde. I mezzi costruttivi basati sull'impiego del ferro e del cemento armato riescono agevolmente a portare ballatoi in sporgenza, a sorreggere pareti contro arditi porticati, a disporre in falso muri e tramezzi mutando, ove occorra, la distribuzione nei diversi piani<sup>204</sup>.*

Anche se i materiali contemporanei e le attuali tecnologie hanno ulteriormente perfezionato la progettazione degli interventi in edifici esistenti, le considerazioni espresse mostrano proprio come il rinnovamento edilizio possa essere affrontato con gli stessi indirizzi validi nel progetto urbanistico ed è lo stesso Giovannoni ad evidenziare questo

---

<sup>203</sup> G. Giovannoni, *op. cit.*, p. 260.

<sup>204</sup> *Ibid.*, p. 260.

concetto. Egli sottolinea inoltre che gli edifici storici, diversamente da quelli nuovi, non sono realizzati in serie; posseggono quindi delle caratteristiche uniche tanto da risultare «simpaticamente adatti alle esigenze individuali». Infine, altro aspetto rilevante è la sfera economica: Giovannoni considera un pregiudizio credere che la costruzione di un nuovo immobile possa essere più vantaggiosa del riadattamento di uno esistente.

La materia del restauro sarà approfondita negli anni successivi, fornendo maggiori indicazioni. Nel 1936 Giovannoni ha redatto per l'Enciclopedia Italiana Treccani la voce *Restauro*<sup>205</sup> dove sono presentate le norme prodotte nel '31 dal Consiglio superiore per le antichità e belle arti, che saranno poi riprese nella conferenza di Atene dello stesso anno. Dopo una breve analisi sul concetto di restauro, che dovrebbe servire sia per consolidare i monumenti, «sia per riportarli a nuova funzione di vita», Giovannoni fa riferimento alla distinzione, proposta da P. Léon, fra periodo empirico, dottrinale e sperimentale, specificando che è proprio il periodo sperimentale a valorizzare le tecniche di conservazione che vedono l'impiego di materiali e procedimenti moderni. Egli rammenta quali erano le teorie del restauro dominanti e quali i personaggi più rappresentativi, richiamando così i nomi di Ruskin e Viollet-Le-Duc e ricordando poi la «teoria intermedia» di Boito, che sosteneva personalmente.

Gli aspetti che contraddistinguono la teoria intermedia riguardano l'attenzione alle opere di manutenzione e di consolidamento e il ricorso al ripristino solo se è «dimostrata la legittimità e l'utilità», Giovannoni non sembra preoccupato tanto dell'unità architettonica quanto di tutelare nel monumento il «carattere d'arte». Le aggiunte, inoltre, dovrebbero essere documentate dalla data e apparire chiaramente distinguibili; lo storico consiglia, a tal proposito, l'impiego di materiali diversi, gli stessi lineamenti non dovrebbero imitare i decori originari, ingannando così l'osservatore, ma dovrebbero risultare schematici, proprio come aveva fatto Valadier nel restauro dell'arco di Tito citato.

Tale teoria è ulteriormente chiarita attraverso la distinzione «tra monumenti morti e monumenti vivi»: i primi sono quei monumenti dell'antichità che non possono essere più utilizzati, spesso sono ridotti allo stato di rudere, per loro si esclude la possibilità di eseguire interventi di trasformazione; i secondi, al contrario, possono essere riutilizzati magari con una funzione analoga a quella originaria; a questo gruppo appartengono numerose chiese e palazzi. La distinzione fra le due tipologie di monumenti era stata già delineata dall'architetto belga Louis Cloquet<sup>206</sup>, che assoggettava i monumenti così distinti a due differenti trattamenti: quelli morti dovevano essere conservati ma non restaurati, mentre per i secondi era indispensabile eseguire tutti gli interventi necessari, rispettando comunque la bellezza originaria del monumento, ma legittimando integrazioni e ampliamenti, motivati dall'utilità.

Giovannoni ha infine individuato e classificato i possibili interventi di restauro, applicabili ai monumenti. Le opere di consolidamento servono a restituire «solidità e resistenza alle costruzioni» e prevedono l'utilizzo anche di materiali all'epoca considerati moderni come il ferro e il cemento armato; si ricorre, invece, ai restauri di ricomposizione o anastilosi per gli edifici in pietra da taglio, rimontando i pezzi e aggiungendo solo parti secondarie mancanti. I cosiddetti restauri di liberazione, applicabili sia per gli interni sia per gli esterni, servono ad eliminare tutte quelle parti che «chiudono» il monumento, affinché questo possa ritornare al suo aspetto originario, mentre i restauri di completamento e di rinnovazione comportano aggiunte utili a reintegrare il manufatto e a renderlo utilizzabile.

Sicuramente il contributo lasciato da Giovannoni alla disciplina del restauro ha influenzato le successive generazioni e i suoi stessi contemporanei. Fra questi ricordiamo Carlo Ignazio Gavini<sup>207</sup> (1867 - 1936), un architetto prima di tutto, ma anche uno storico che ha interpretato e applicato le considerazioni che Boito, Beltrami e Giovannoni avevano

<sup>205</sup> F. Gurrieri, *Teoria e cultura del restauro dei monumenti e dei centri antichi*, Cooperativa Editrice Universitaria, Firenze, 1977, pp. 39-46.

<sup>206</sup> M. P. Sette, *op. cit.*, pp. 114-115.

<sup>207</sup> *Ibid.*, p. 152.

elaborato. Sosteneva soprattutto l'impiego dei nuovi materiali negli interventi di restauro, come ad esempio nella chiesa di Santa Maria di Collemaggio a L'Aquila dove realizzò un'intelaiatura verticale allo scopo di ricollegare la facciata con il corpo della chiesa.



Fig. 2.6 Santa Maria di Collemaggio, L'Aquila (Autore: Freegiampi, <[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Laquila\\_collemaggio002.jpg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Laquila_collemaggio002.jpg)>, 03/07/2014)

### 2.1.7 Cesare Brandi

Cesare Brandi (1906 – 1988), considerato uno degli storici e dei critici d'arte più autorevoli del Novecento, si è dedicato soprattutto alla *Teoria del restauro*, che dà il nome ad un noto scritto risalente al 1948, anno in cui Brandi preparò la prolusione per l'apertura del corso di «Teoria e Storia del Restauro» presso l'Università di Roma. Lo scritto è stato poi pubblicato, due anni dopo, nel Bollettino dell'Istituto Centrale del Restauro. Brandi era impegnato nell'ambito accademico e nelle istituzioni pubbliche, come lo stesso Istituto Centrale del Restauro, da Lui fondato sempre a Roma nel 1938 e da Lui diretto fino al 1961.

Il ragionamento condotto da Brandi sul concetto di restauro passa dall'interpretazione comunemente accettata del termine ad una definizione vera e propria. Partendo dalla necessità di mantenere in efficienza i prodotti dell'attività umana, il restauro si avvale di precisi interventi per raggiungere la piena conservazione del bene; bisognerà quindi distinguere il restauro dei manufatti industriali da quello delle opere d'arte. Anche se gli interventi saranno di natura diversa il fine ultimo sarà sempre la «restituzione in pristino» e precisa Brandi:

*Finché si tratta, infatti, di prodotti industriali, intendendosi ciò nella scala più vasta che parte dal più minuto artigianato, lo scopo del restauro sarà con ogni evidenza di ristabilire la funzionalità del prodotto, e, pertanto, la natura dell'intervento di restauro sarà esclusivamente legata alla realizzazione di questo scopo.*

*Ma allorché si tratti invece di opera d'arte, anche se fra le opere d'arte se ne trovano che posseggono strutturalmente uno scopo funzionale, come le architetture e in genere gli oggetti della cosiddetta arte applicata, risulterà chiaramente che il ristabilimento della funzionalità, seppure rientra nell'intervento di restauro, non ne rappresenta in definitiva che un lato o secondario o concomitante, mai quello primario e fondamentale che ha riguardo all'opera d'arte in quanto opera d'arte.*

*Si rivelerà subito allora che lo speciale prodotto dell'attività umana a cui si dà il nome di opera d'arte, lo è per il fatto di un singolare riconoscimento che avviene nella coscienza: riconoscimento doppiamente singolare, sia per il fatto di dovere essere compiuto ogni volta da un singolo individuo, sia perché non altrimenti si può motivare che per il riconoscimento che il singolo individuo ne fa<sup>208</sup>.*

Sembra dunque che l'individuazione dell'opera d'arte sia un prerequisito per l'intervento di restauro e la stessa qualità dell'intervento dipenda dall'opera d'arte. L'idea di restauro comunemente accettata viene completata da nuove osservazioni che relazionano l'opera d'arte al restauro, in quanto la prima condiziona il secondo e non viceversa. I prodotti dell'attività umana diventano opera d'arte allorché viene loro riconosciuta una certa valenza estetica e una valenza storica; la prima delle «istanze» citate è quella che valuta l'artisticità all'opera, mentre la seconda considera la sua appartenenza ad un determinato luogo e ad un dato periodo della storia. Non vi è alcun riferimento all'istanza della «utensilità» che, nonostante sia insita nell'architettura, non è utile a conferire all'opera d'arte tale riconoscimento. Allora, secondo Brandi, possiamo assumere la seguente definizione di restauro:

*[...] il restauro costituisce il momento metodologico del riconoscimento dell'opera d'arte, nella sua consistenza fisica e nella sua duplice polarità estetica e storica, in vista della sua trasmissione al futuro<sup>209</sup>.*

La consistenza fisica dell'opera d'arte è determinante per il fine della sua conservazione e nel momento in cui ciascuno ne prende coscienza diventa un obiettivo universale. Non è possibile tuttavia identificare in maniera univoca le regole della conservazione. Brandi evidenzia che in alcuni casi si tratterà soltanto di rispettare l'opera d'arte, così come l'abbiamo ereditata dal passato; in altri casi, ad esempio, quando si verificano distacchi di affreschi, sarà necessario adottare interventi più radicali per conservare la «consistenza materiale» dell'opera e sarà indispensabile fare «tutti gli sforzi e le ricerche» necessarie a tutelare nel tempo l'opera d'arte. L'intervento di restauro deve, in pratica, ricorrere ad ogni strumento disponibile; la «vasta gamma di sussidi scientifici» è chiamata per questo ad intervenire per favorire la sopravvivenza delle opere d'arte e garantire la conservazione della loro immagine. Da quanto detto Brandi individua un importante assioma: «*si restaura solo la materia dell'opera d'arte*»<sup>210</sup>.

Qualunque intervento occorrerà apportare, anche quei «sacrifici» che interessano soltanto delle parti fisiche dell'opera, bisognerà sempre appellarsi all'istanza estetica e quindi alla singolarità dell'opera d'arte che, in quanto tale, sarà unica e irripetibile. Non bisognerà dall'altro lato non tener conto dell'istanza storica, che è duplice perché legata al momento creativo in cui è stata prodotta in un certo luogo e all'attuale coscienza del suo valore storico. Fra passato e presente l'opera d'arte sarà vissuta in altri periodi intermedi dai quali avrà assorbito dei segni significativi, quindi l'istanza storica fa riferimento anche alle tracce del passato diverse da quelle in cui l'opera è stata prodotta. Tali concetti hanno condotto ad un secondo principio del restauro:

<sup>208</sup> C. Brandi, *Il concetto di restauro. Principi per il restauro dei monumenti*, in «Teoria del restauro», Roma, 1963, in F. Gurrieri, *Teoria e cultura del restauro dei monumenti e dei centri antichi*, Cooperativa Editrice Universitaria, Firenze, 1977, p. 204.

<sup>209</sup> *Ibid.*, p. 206.

<sup>210</sup> *Ibid.*, p. 207.

*[...] il restauro deve mirare al ristabilimento della unità potenziale dell'opera d'arte, purché ciò sia possibile senza commettere un falso artistico o un falso storico, o senza cancellare ogni traccia del passaggio dell'opera d'arte nel tempo<sup>211</sup>.*

Le definizioni fornite hanno una valenza generale che interessa anche i monumenti; la differenza che distingue l'architettura dalle altre forme dell'arte riguarda la sua dimensione spaziale; i monumenti, infatti, oltre ad avere una propria organizzazione degli spazi interni, sono a loro volta contestualizzati in un dato luogo, ne sono parte ed è proprio grazie alla loro presenza che i luoghi acquistano una data connotazione. Osserva Brandi:

*Se allora in un'architettura come interno, la salvaguardia della dimensione esterno-interno è assicurata solo dalla conservazione dell'interno, in un'architettura come esterno, la dimensione interno-esterno esige la conservazione dello spazio ambientale in cui il monumento viene costruito. Ed ecco allora che, mentre sarà possibile, in caso di necessità, ricostruire – se pure non in via assoluta – l'interno di un monumento (camera sepolcrale di una tomba, dipinta o no, con resecazione delle pareti e anastilosi delle medesime), per un monumento in quanto esterno, la possibilità di ricostruzione del dato ambientale sarà solo possibile con l'anastilosi del monumento – ove possa smontarsi pietra per pietra – ma nel luogo stesso e non altrove<sup>212</sup>.*

I monumenti architettonici hanno quindi una doppia vita, in quanto interni ed esterni e il restauro dei monumenti rispetto a quello delle opere d'arte risente di tale aspetto. Il monumento in quanto esterno è «inalienabile» dal sito storico, ciò richiede un'attenta analisi dei luoghi e dei loro valore storico e una doverosa valutazione delle conseguenze che avrebbe l'eliminazione totale o parziale di quei monumenti che hanno determinato le caratteristiche dei luoghi in cui sono inseriti. Brandi enuncia allora tre corollari alla sua teoria del restauro:

- 1) l'assoluta illegittimità della scomposizione e ricomposizione di un monumento in un luogo diverso da quello dove è stato realizzato, poiché tale illegittimità discende ancor più dall'istanza estetica che dall'esistenza storica, in quanto che, nell'alterazione dei dati spaziali di un monumento, si viene ad infirmarlo come opera d'arte;*
- 2) la degradazione del monumento, scomposto e ricostruito altrove, a falso di se stesso ottenuto con i suoi medesimi materiali, per cui è ancor meno di una mummia rispetto alla persona che fu viva;*
- 3) la legittimità della scomposizione e ricomposizione, come legata unicamente alla salvaguardia del monumento in quanto non si possa sopperire alla sua salvezza in altro modo, ma sempre e solo relativamente al sito storico dove fu realizzato<sup>213</sup>.*

Il problema generale da affrontare è dunque la conservazione dei siti storici e non solo la conservazione dei singoli monumenti. Una questione che pone l'attenzione su due aspetti: il primo riguarda la possibilità o meno di conservare un monumento in un sito ambientale, naturale o monumentale, che sia stato alterato; il secondo riguarda invece la possibilità di realizzare delle copie di monumenti non più esistenti che, nonostante siano dei falsi, consentono di ricreare la dimensione spaziale persa. Tali interrogativi non trovano soluzione nel restauro ma nell'essenza dell'opera d'arte. Secondo Brandi alla prima domanda bisogna rispondere con una valutazione del sito utile a capire come ricreare le condizioni originarie, cercando sempre di conservare i monumenti, mentre il secondo quesito richiede una precisazione. Se il monumento scomparso non era un'opera d'arte in quanto tale, allora è possibile la sua ricostruzione in copia, non verrebbe alterata la qualità artistica dell'ambiente e servirebbe solo a ricreare uno spazio; per questo è ammessa

<sup>211</sup> *Ibid.*, p. 209.

<sup>212</sup> *Ibid.*, p. 210.

<sup>213</sup> *Ibid.*, p. 211.

anche la ricostruzione di nuovi manufatti edilizi con architetture contemporanee, affidando alla progettazione e non al restauro il compito di individuare una soluzione idonea. Se, al contrario, il monumento era dotato di valore artistico, non è ammessa la realizzazione di falsi, bisognerà solo ricostruire l'ambiente secondo i dati disponibili e non secondo l'aspetto formale del monumento perso. A proposito di alcuni noti restauri, Brandi dirà:

*Così si doveva ricostruire un campanile a San Marco a Venezia, ma non il campanile caduto; così si doveva ricostruire un ponte, a S. Trinita, ma non il ponte dell'Ammannati*<sup>214</sup>.

Per quanto riguarda i criteri da adottare per il restauro dei monumenti architettonici, Brandi ritiene validi gli stessi principi che si applicano al restauro delle opere d'arte, tanto da assimilare ad esempio il problema degli intonaci nell'edilizia con quello «della patina e della vernice»<sup>215</sup> nei dipinti. L'unica differenza è ancora una volta la dimensione urbana dalla quale l'edificio non può prescindere, per evitare che l'intervento su un singolo monumento arrechi squilibrio all'interno del complesso in cui è inserito. Per questo l'ipotetico inserimento di nuove espressioni artistiche nei contesti storici, derivanti da successive stratificazioni del costruito, è escluso in maniera categorica, mentre le aggiunte realizzate nel corso della storia diventano una parte del singolo monumento e non sembra giusto cancellarle. Una concezione che, secondo Brandi, può essere intesa come estensione delle misure filologiche e che si oppone nettamente a quella che è stata definita «del creatore»<sup>216</sup>, basata sul volere dell'artista che intende reinterpretare l'opera, dandole nuova vita. In questa seconda accezione, l'oggetto non è più portatore di storia ma su di esso si compie l'evento storico, oltre che quello artistico. Brandi evidenzia che se l'opera d'arte è rappresentata da una poesia o un romanzo, una nuova interpretazione certamente non distrugge il testo originario, ma quando l'opera d'arte è unica, gli interventi che possono modificarla o alterarla per sempre devono essere giustificati dalla coscienza universale, così da assicurare la sua conservazione e la trasmissione della stessa alle generazioni future. Ogni intervento su un'opera d'arte deve essere responsabilmente motivato, Brandi manifesta quindi vari dubbi sulla legittimità delle scelte che si appellano semplicemente all'esigenza di rendere presumibilmente più «bella» un'opera. Soltanto se si considera l'istanza storica di questa, si arriva a una spontanea conclusione, ed è grazie allo storicismo ottocentesco che il passato è stato finalmente inteso non più come fonte d'ispirazione ma come fonte di scienza. Ad esempio, il Bernini non considerava il Pantheon come un monumento da conservare soltanto; per questo, quando nel VII secolo fu rinominato Sancta Maria ad Martyres, ha assunto una rinnovata coscienza religiosa nel tempo, tale da essere ancora conservato con questo spirito.

Per quanto riguarda invece il rapporto fra il restauro e le scienze, sempre più spesso chiamate a contribuire per i fini della conservazione, lo stesso Brandi afferma:

*Confesso di trovarmi a disagio, io storico dell'arte, in mezzo a tanti scienziati e di classe così elevata. Perché mentre si fanno sempre più vive le esigenze della interdisciplinarietà, le singole scienze si sviluppano in un modo così autonomo e con un linguaggio formalizzato così particolare ad ognuna, che i contatti divengono sempre più difficili, ostili addirittura: e infine si riducono ad accettare le conclusioni di una scienza, che si vuol mettere a profitto in un campo diverso, senza la possibilità di un controllo; il che fa assomigliare quelle conclusioni, in sé astruse, come giustificate dal solo principio di autorità*<sup>217</sup>.

<sup>214</sup> *Ibid.*, p. 213.

<sup>215</sup> C. Brandi, *Il restauro. Teoria e pratica*, a cura di M. Cordaro, Editori Riuniti, Roma, 1996, p. 54.

<sup>216</sup> *Ibid.*, p. 37.

<sup>217</sup> *Ibid.*, p. 43.

Tali parole, anche se erano riferite all'applicazione delle «tecniche nucleari» al restauro delle opere d'arte, sembrano significative per comprendere la complessità del restauro e chiariscono meglio il punto di vista dello storico che, in favore della conservazione delle opere d'arte, sostiene tutti quegli interventi in grado di rimuovere «l'indebito», così da tutelare l'originalità delle pitture e delle sculture e l'azione del tempo su di esse. Se l'istanza estetica, nella concezione brandiana, viene prima di quella storica e per questo non è possibile giustificare le aggiunte o le ridipinture come conseguenze del tempo, occorre anche considerare la contemporanea presenza di un'istanza storica utile a non cancellare il segno della storia appunto sull'opera d'arte. Il contributo scientifico sembra chiamato proprio a tutelare l'opera originaria fornendo analisi e strumenti necessari a guidare l'intervento di restauro verso le scelte che favoriscono la conservazione delle opere stesse.

### 2.1.8 Renato Bonelli

Studioso e teorico della storia dell'architettura, Renato Bonelli (1911 - 2004) ha rinnovato la materia del restauro dei monumenti, superando gli assunti filologici e promuovendo una nuova visione critica. Egli affronta il tema del restauro facendo riferimento non tanto al singolo edificio quanto al contesto della città storica, passando quindi dal restauro architettonico a quello integrale dell'ambiente edilizio. Autore di numerosi articoli, egli ha affrontato le questioni del restauro nella raccolta di saggi *Architettura e restauro* del 1959 e le sue considerazioni sono state poi riportate nella Enciclopedia universale dell'arte del 1963 alla voce *Restauro architettonico e urbanistico*. Faremo riferimento proprio a questi scritti per delineare l'interpretazione fornita dello storico.

*Il restauro architettonico è concezione tipicamente moderna, che muove da un modo nuovo e diverso di considerare i monumenti del passato e di intervenire su di essi, modificandone la forma visibile e l'organismo storico e strutturale. Il principio fondamentale del restauro, rimasto costantemente a base delle dottrine che si sono susseguite nel corso del secolo XIX, è quello di restituire l'opera architettonica al suo mondo storicamente determinato, ricollocandola idealmente nell'ambiente dove è sorta e considerandone i rapporti con la cultura ed il gusto del suo tempo; e contemporaneamente quello di operare su essa per renderla nuovamente viva ed attuale, quale parte valida ed integrante del mondo moderno<sup>218</sup>.*

Bonelli esordisce con queste parole spiegando che è necessario adeguare le forme dei monumenti antichi per renderli utilizzabili nella contemporaneità, fissando dei criteri operativi. Ricorda i due contrapposti principi che hanno dominato la scena della critica architettonica fino a quel periodo: il primo più rispettoso verso il monumento, il secondo più disponibile verso tutti gli interventi che apportano modifiche, accrescendo il valore dell'immobile. In un caso il monumento è assimilato ad un documento da preservare in virtù del suo valore storico, nell'altro prevale il desiderio di vivere completamente il monumento, ma intorno agli anni Quaranta del Novecento si profila un innovativo punto di vista: gli edifici antichi non sono più considerati soltanto come documenti da tutelare per il loro valore storico, poiché il gusto e il linguaggio architettonico non possono essere paragonati a materiale d'archivio. Probabilmente, come evidenzia Carbonara<sup>219</sup>, il termine monumento si è sovrapposto a quello di documento, a causa della sua radice linguistica. La parola "monumento" deriverebbe dal verbo latino «"moneo"» che significa proprio ricordare, suggerire, a richiamare l'idea di un oggetto che possiede un valore storico-documentale. Inoltre, anche le teorie filologiche che considerano indispensabile la ricerca

---

<sup>218</sup> R. Bonelli, *Il restauro architettonico* in «Enciclopedia universale dell'arte», 1963, in F. Gurrieri, *Teoria e cultura del restauro dei monumenti e dei centri antichi*, Cooperativa Editrice Universitaria, Firenze, 1977, p. 159.

<sup>219</sup> G. Carbonara, *Restauro architettonico: principi e metodo*, m.e. Architectural Book and Review, Roma, 2012, pp. 31-32.



dell'autenticità dell'opera, sono solo il punto di vista di un determinato periodo e, in quanto tali, sono destinate a essere superate. In sintesi, il restauro dei monumenti, nella nuova veste critica, non deve garantire la permanenza di un documento, ma deve rendere attuale, attraverso una nuova forma, il manufatto antico.

Il restauro critico sembra essere legato all'estetica idealista che, secondo Bonelli, sarebbe più opportuno chiamare estetica spiritualista. Il presupposto della rinnovata concezione del restauro è che l'architettura in quanto forma d'arte richiede al restauratore un'attenta analisi della qualità artistica del manufatto e, in mancanza di questa, la valutazione del suo valore. Ciò implica un atteggiamento di tipo critico e un'approfondita conoscenza del monumento, finalizzata a una valutazione più oggettiva possibile. Il restauro, quindi, deve servire a liberare e valorizzare l'opera d'arte, insita nel manufatto, anche a costo di eliminare aggiunte e sovrapposizioni di altre epoche che hanno offuscato il valore dell'opera, individuandone la vera forma. La fase critica deve essere poi seguita da una fase creativa tesa a progettare l'intervento, quando distruzioni o ingombri visivi abbiano danneggiato l'edificio. Un momento delicato che affida alla fantasia il compito di ricreare i ritmi interrotti e di suggerire soluzioni compatibili con le parti alterate. Riassumendo, i criteri da adottare sono completamente rovesciati rispetto a quelli del restauro filologico: si basano sull'eliminazione delle aggiunte e sulla rinuncia alla ricostruzione dei monumenti distrutti come erano, ad eccezione delle parti mancanti, che possono essere ricreate con certezza secondo le forme originarie per riproporre «la veduta autentica».

Questi concetti sono evidentemente legati alle questioni della ricostruzione, poste subito dopo le vicende belliche, che hanno determinato consistenti danni al patrimonio storico-edilizio delle città italiane. Il restauro in questo caso sconfinava nella pianificazione urbana proprio per la necessità di sviluppare un intervento che non sia rivolto in via esclusiva ai monumenti singoli, ma che interessi soprattutto aggregati urbani o piccoli nuclei di abitazioni. In tal caso sarà indispensabile risalire non solo alle caratteristiche tipologiche dell'edilizia, ma sarà altresì indispensabile indagare sugli usi e sulle funzioni assunte dagli edifici all'interno del quartiere, una sorta di studio sociologico che fa riferimento prima di tutto alla comunità e alle sue abitudini. Pertanto, secondo Bonelli, il risanamento dei quartieri deve costituire parte del Piano regolatore urbano. Questi concetti a distanza di anni sono stati metabolizzati e recepiti dalle amministrazioni locali che oggi, per fronteggiare disagi, come quelli causati dai terremoti, pianificano gli interventi proprio a livello urbano. Tali riflessioni hanno condotto lo stesso Bonelli a credere che il processo critico non debba limitarsi alla sola constatazione del valore artistico dell'opera, ma debba estendersi al quadro storico in cui gli oggetti edilizi sono inseriti, in modo da valutare accanto al valore artistico anche quello «estartistico»<sup>220</sup>, cioè gli aspetti «pratici, concettuali e psicologici» che devono essere confrontati, al fine di ottenere un giudizio completo e rappresentativo della complessità della materia. L'estensione del restauro critico, così inteso, alla dimensione ambientale dovrà sempre avere come fine l'individuazione della forma e assicurarne la sopravvivenza, perché parte della nostra vita spirituale.

L'analisi dell'ambiente urbano richiede, prima di tutto, la definizione dei confini dell'area per poi procedere, attraverso successive fasi di approfondimento, allo studio del contesto, a partire dalla conoscenza cronologica degli eventi, dei periodi di costruzione e delle trasformazioni intervenute, utilizzando materiale documentario ed effettuando rilievi diretti, per ottenere una chiara identificazione degli aspetti stilistici. A seguire, occorre ripercorrere la vita di tali monumenti per arrivare al giudizio critico finale, basato sulla valutazione artistica, letteraria e storica. Bonelli evidenzia che non sono solo i monumenti di pregio architettonico a richiedere interventi di conservazione; anche i campanili e le chiese considerate di minor rilevanza, oppure i ponti o i semplici gruppi di abitazioni, possono assumere un elevato valore evocativo e, in quanto memoria storica, devono

<sup>220</sup> R. Bonelli, *Il restauro come forma di cultura*, in «Architettura e restauro», Venezia, 1959, in F. Gurrieri, *Teoria e cultura del restauro dei monumenti e dei centri antichi*, Cooperativa Editrice Universitaria, Firenze, 1977, pp. 152-153.

essere tutelati con ogni strumento e con ogni provvedimento utile alla loro salvaguardia. Soltanto se l'edilizia presente non risponde a tali requisiti, si può ipotizzare il rifacimento di nuove forme anche all'interno delle aree considerate storiche.

Bonelli precisa che il restauro, concepito in questo modo, richiede una conoscenza a priori della cultura figurativa e dei caratteri architettonici che si sono storicamente susseguiti; egli evidenzia che la fase critica e quella creativa del restauro simboleggiano in modo significativo gli orientamenti dell'architettura contemporanea che ricerca il legame col passato e nello stesso tempo propone soluzioni proprie della cultura contemporanea. In quest'ottica il restauro, più che la progettazione ex-novo dell'edificio, sembra investito di un rilevante ruolo sociale ed è chiamato a risolvere il rapporto fra nuovo e antico in tutti quei casi in cui è indispensabile intervenire e armonizzare la progettazione edilizia nei centri storici: una questione non semplice, che spesso condanna le soluzioni proposte dall'architettura contemporanea, ma riconosce anche i limiti dei vecchi restauri filologici eseguiti soprattutto su edifici parzialmente demoliti durante le guerre.

Secondo Bonelli il problema dell'architettura contemporanea è il suo carattere astratto e informale, spesso relazionata a «un movente esclusivamente economico ed ispirato da una concezione utilitaristica della vita»<sup>221</sup>. Senza considerare la ricerca continua di originalità che è spesso causa di soluzioni che stridono con l'ambiente storico in cui andranno teoricamente a inserirsi. Lo storico prosegue così le sue osservazioni:

*La cosiddetta crisi dell'architettura, per la quale le stesse «conquiste» di tutti i movimenti moderni sono poste in discussione ed in dubbio, è dunque in realtà crisi della civiltà e della cultura. L'isolamento della cultura, la sua mancanza di potere nella società, la sua incapacità ad incidere in modo sensibile e durevole sui «fatti» della politica e dell'economia, sono le ragioni che hanno reso impossibile la difesa dell'ambiente, la protezione dei centri storici, l'integrale risanamento edilizio e sociale dei quartieri antichi, e che ostacolano anche il restauro monumentale e ambientale. La crisi dell'architettura diventa crisi del restauro, che quando non è opera d'arte è comunque intervento di gusto legato alle condizioni della cultura architettonica»<sup>222</sup>.*

## 2.2 CENNI SUL RESTAURO URBANO

Il degrado dei centri storici, cui si assiste frequentemente, è dovuto alla noncuranza del patrimonio edilizio e spesso all'abbandono delle antiche dimore. Le cause dei fenomeni riscontrati sono riconducibili alle nuove dinamiche sociali, alla logica del consumo e alle economie contemporanee, che spingono fette sempre più consistenti di popolazione ad abbandonare piccoli borghi e nuclei di antica edificazione in favore dei nascenti quartieri, facilmente raggiungibili con i mezzi pubblici, dotati di parcheggi, ben collegati alle reti di comunicazione, organizzati e serviti da numerose funzioni, che rendono più agevole la vita degli utenti. Senza compiere approfondite analisi di tipo sociologico e urbano, possiamo osservare come il restauro, sia riferito alla dimensione architettonica sia a quella urbana, avendo per oggetto tutte le preesistenze, abbia assunto un ruolo decisamente ampio, abbracciando diversi ambiti operativi.

La questione dei centri storici è stata diffusamente affrontata durante il Convegno di Gubbio, tenutosi nel 1960<sup>223</sup>. Un incontro che ha portato alla stesura di una Carta ancora oggi considerata di grande interesse per i risvolti in materia di urbanistica e di restauro. L'incontro è stato l'occasione per individuare degli obiettivi e comprendere, al contempo, le necessità espresse dalla maggior parte delle città di antica edificazione. Al convegno, promosso da un gruppo di Comuni, hanno infatti aderito numerose città, rappresentate dai propri Amministratori, interessate a risolvere problematiche di scala nazionale. Il primo

<sup>221</sup> *Ibid.*, p. 155.

<sup>222</sup> *Ibid.*, p. 156.

<sup>223</sup> E. Salzano, *Fondamenti di urbanistica: la storia e la norma*, GLF editori Laterza, Roma, 2010, pp. 130-132.

argomento affrontato riguardava la necessità di una complessiva ricognizione sullo stato del patrimonio edilizio, al fine di individuare le porzioni di città da salvaguardare. Tale obiettivo è stato considerato persino come una premessa per lo sviluppo della città moderna e come tale è stato stabilito che fosse recepito all'interno dei piani regolatori comunali. Il vincolo della salvaguardia è l'unico strumento in grado di sospendere gli interventi sui centri storici prima che siano predisposti i piani di risanamento conservativo, assimilati a piani particolareggiati di iniziativa comunale. A riguardo nella Carta di Gubbio si precisa:

*Rifiutati i criteri del ripristino e delle aggiunte stilistiche, del rifacimento mimetico, della demolizione di edifici a carattere ambientale anche modesto, di ogni "diradamento" ed "isolamento" di edifici monumentali attuati con demolizioni nel tessuto edilizio, ed evitati, in linea di principio, i nuovi inserimenti nell'ambiente antico, si afferma che gli interventi di risanamento conservativo, basati su una preliminare profonda valutazione di carattere storico-critico, devono essenzialmente consistere in:*

- a) consolidamento delle strutture essenziali degli edifici;
- b) eliminazione delle recenti sovrastrutture a carattere utilitario dannose all'ambiente ed all'igiene;
- c) ricomposizione delle unità immobiliari per ottenere abitazioni funzionali ed igieniche, dotate di adeguati impianti e servizi igienici, o altre destinazioni per attività economiche o pubbliche o per attrezzature di modesta entità compatibili con l'ambiente, conservando al tempo stesso vani ed elementi interni ai quali l'indagine storico-critica abbia attribuito un valore;
- d) restituzione, ove possibile, degli spazi liberi a giardino ed orto;
- e) istituzione dei vincoli di intangibilità e di non edificazione<sup>224</sup>.

Infine, l'aspetto innovativo proposto dal documento è l'attenzione che è rivolta ai gruppi sociali che vivono e lavorano nei quartieri urbanizzati e che, a conclusione dei lavori di risanamento, dovranno avere la possibilità di rientrare nelle abitazioni e negli edifici lasciati temporaneamente.

Negli anni Settanta del Novecento, inoltre, come osserva Secchi<sup>225</sup> si è diffusa l'idea del riuso come mezzo del rinnovamento urbano e tale posizione ha implicazioni dirette nella concezione del restauro. Analogamente già Gurrieri<sup>226</sup> aveva incoraggiato il restauro territoriale a partire dalla «storicità e dalla vocazionalità di determinate zone per esaltarne la capacità di trascinarsi nei confronti degli altri settori», come quello industriale, responsabile di aver sottratto popolazione ai centri storici e alle campagne. In sostanza, il restauro non è limitato all'intervento sul singolo monumento, ma è finalizzato a riequilibrare le attività produttive all'interno degli insediamenti urbani, spostando il baricentro verso quelle porzioni di costruito che, per rispondere alle nuove esigenze, dovranno essere restaurate.

A distanza di qualche anno anche Pier Luigi Cervellati è intervenuto in proposito, evidenziando come fra gli anni Ottanta e Novanta del Novecento in sostituzione del termine restauro si preferivano espressioni come «recupero», «ricucitura» e/o «interstizio»<sup>227</sup>, probabilmente perché i termini «conservare/restaurare» sembravano più «reazionari». Senza considerare che il restauro comprende anche quegli interventi di ripristino che molti teorici non giustificavano in nome dell'autenticità dell'opera d'arte. L'architetto e urbanista bolognese invece sembra piuttosto favorevole a parlare di

<sup>224</sup> *Salvaguardia e risanamento dei centri storico-artistici*. Dichiarazione finale del "Convegno sulla salvaguardia e il risanamento dei centri storico-artistici", Gubbio, 1960 in «Urbanistica», n. 32, 1960, pp. 66-67.

<sup>225</sup> B. Secchi, *Immagini della città* in A. Bellini (a cura di), «Tecniche della conservazione», FrancoAngeli, Milano, 1988 p. 57.

<sup>226</sup> F. Gurrieri, *Dal restauro dei monumenti al restauro del territorio*, Sansoni, Firenze, 1983, p. 12.

<sup>227</sup> P. L. Cervellati, *Ripristino, città e campagna* in L. Masetti Bitelli, M. Cuoghi Costantini (a cura di), *Ripristino architettonico: restauro o restaurazione?*, Nardini editore, Fiesole, 1999, p. 11.

restauro in ambito urbanistico e territoriale in generale. Così come l'architettura, grazie agli studi sulle tipologie edilizie, sui metodi costruttivi e sui materiali, ha raggiunto validi risultati e continua a progredire nel campo degli interventi edilizi, allo stesso modo l'urbanistica può trarre dallo studio del territorio quei segni e quegli input utili al restauro dei centri storici e di tutti i luoghi in cui si interviene attraverso l'azione pianificatrice. In passato molte scelte sono state compiute senza una chiara cognizione degli aspetti paesaggistici e naturali, nonché delle caratteristiche proprie di ogni area; questo ha generato numerosi «ritagli di terreno»<sup>228</sup> in attesa di essere recuperati per successivi interventi territoriali. Cervellati si dimostra favorevole a rivalutare il ripristino come un utile mezzo per riequilibrare il territorio; così i corsi d'acqua che sono stati deviati o gli argini fluviali che sono stati cementificati potranno ritrovare la condizione che è loro congenita, mentre i tessuti urbani potranno essere restaurati alla luce di un piano di riordino in grado di attribuire loro nuove funzioni. La natura e la storia del territorio sono i due punti chiave chiamati a guidare gli interventi di restauro e di conseguenza le scelte della pianificazione territoriale, al fine di salvaguardare l'identità dei luoghi e promuoverne lo sviluppo.

Anche Edoardo Salzano, nel premettere che il territorio dovrebbe essere concepito come «*deposito di storia*»<sup>229</sup>, fa poi riferimento al concetto, allora embrionale, di sostenibilità, per richiamare l'attenzione sulla necessità di lasciare alle future generazioni quelle risorse che è nostro dovere conservare. Il suo punto di riferimento non è il ripristino, inteso come ricostruzione di elementi andanti perduti, quanto la «*comprensione delle regole*»<sup>230</sup> che hanno determinato nel tempo l'attività edificatoria e che consentiranno la pianificazione futura. Secondo Salzano, non dovremmo puntare al restauro filologico, quanto alla conservazione intesa come manutenzione dei beni, non solo quella dei singoli manufatti, ma soprattutto quella degli interi complessi edilizi. Il riuso diventa così lo strumento per trasformare l'edilizia del passato e adeguarla alle nuove necessità, tutelando al contempo le fabbriche originarie. La tutela è possibile, a sua volta, soltanto sulla base di una conoscenza tipologica - strutturale dell'edilizia. L'urbanista ha poi evidenziato come le tecniche di zonizzazione adoperate negli anni Novanta del Novecento non abbiano favorito il riuso dei centri storici, anzi: tali tecniche sono considerate responsabili dell'aumento della mobilità fra le varie parti dell'ambiente urbano e della perdita sociale delle piazze che storicamente erano luoghi di incontro. In sostanza, al problema dell'organizzazione urbana è associata la questione sociale dei rapporti umani che nelle moderne città sono sempre più "distanti". La pianificazione, dunque, anche se è uno strumento «imperfetto», è senza dubbio essenziale nella gestione del territorio e vengono individuati due aspetti da rinnovare. Il primo riguarda la concezione dello spazio come luogo dotato di una sua individualità da valorizzare. Il secondo aspetto da rinnovare è il rapporto della pianificazione con il tempo, in modo da individuare gli obiettivi da raggiungere nel medio - lungo termine e le necessità da soddisfare con una certa imminenza. Salzano aveva, in pratica, posto le basi per una innovativa forma di pianificazione, distinta in una parte strutturale e in una parte programmatica al posto dei vecchi piani regolatori generali.

### 2.2.1 Il Tema della Ricostruzione

La questione che affrontiamo riguarda un tema, quello della ricostruzione, che non interessa soltanto singoli edifici monumentali ma ha per oggetto intere città, anche oltre i confini nazionali e in periodi storici diversi. Le ricostruzioni si rendono necessarie dopo eventi bellici oppure spesso dopo devastanti incendi. Più recentemente sono intraprese in attuazione di nuovi disegni urbani o ancora in attuazioni di piani di ricostruzione disposti a

---

<sup>228</sup> *Ibid.*, p. 15.

<sup>229</sup> E. Salzano, *Restauro, recupero, riuso: memoria e società*, in L. Masetti Bitelli, M. Cuoghi Costantini (a cura di), *Ripristino architettonico: restauro o restaurazione?*, Nardini editore, Fiesole, 1999, p. 19.

<sup>230</sup> *Ibid.*, p. 23.

seguito di eventi calamitosi naturali. Occorre, altresì, considerare anche il caso delle ricostruzioni necessarie dopo attentati di natura terroristica e non, che hanno provocato la perdita, a volte irrimediabile, di edifici antichi e moderni di grande interesse sociale, come teatri e musei, che, oltre ad assumere importanti funzioni pubbliche, devono essere considerati dei veri e propri riferimenti urbani. Ricordiamo, fra i casi italiani, l'incendio doloso che ha devastato il Teatro veneziano La Fenice nel 1996, ricostruito fedelmente come l'originale e inaugurato nel dicembre 2003. Un caso, invece, ancora irrisolto è quello della Città della Scienza; il museo napoletano è stato distrutto anche questa volta a causa di un incendio nel marzo 2013, ma la ricostruzione non è ancora iniziata e certamente accanto alle questioni di ordine ideologico non mancano problemi di natura economica per reperire i fondi necessari ad avviare gli interventi.

Le correnti di pensiero che negli anni si sono contrapposte sul tema della ricostruzione, in particolare quella dei centri storici, parteggiano in un caso per le ricostruzioni integrali delle città e nell'altro per l'innovazione dei centri cittadini. Ad esempio, dopo il primo conflitto bellico, in Belgio in particolare, c'erano tanti sostenitori favorevoli alla ricostruzione di chiese gotiche e altri favorevoli persino alla ricostruzione «di pittoreschi aggruppamenti edilizi»<sup>231</sup>, ma non mancavano quelli che volevano soltanto conservare i ruderi: una terza ipotesi che si affianca alle due posizioni richiamate e che anche in Italia ha trovato sostegno, con riferimento alle teorie ruskiniane.

L'ipotesi delle ricostruzioni integrali, nonostante sia stata favorita dalla prospettiva di restituire monumenti e interi quartieri storici alle città danneggiate, attraverso documentazioni d'archivio, come evidenzia De Angelis d'Ossat, non può comunque ricreare la vitalità degli antichi centri. Quegli edifici per adattarsi alle mutate esigenze sociali e per accogliere nuove funzioni rischierebbero di conservare unicamente le facciate di un tempo. Le strutture originarie verrebbero alterate dall'introduzione di moderne tecniche, producendo edifici ibridi e privi dei caratteri originari che si volevano tutelare. Tali edifici apparirebbero in netto contrasto con le rinnovate esigenze di vita, servirebbero soltanto a illudere i suoi abitanti dell'esistenza di un mondo che in realtà non c'è più.

I modernisti, invece, abbracciano l'idea di ricostruire le città all'insegna dei nascenti caratteri della cultura e dell'architettura contemporanea: una soluzione che, se da un lato può favorire la crescita economica e lo sviluppo urbano, d'altra parte può causare arbitrarie interpretazioni e risultati non sempre condivisibili. Fra i migliori esempi offerti dalla storia dell'urbanistica ottocentesca ricordiamo il caso di Parigi<sup>232</sup>. La città francese è stata oggetto di una complessiva riorganizzazione, messa in atto dalle scelte del prefetto della Senna, il barone E. Haussmann. Il sistema di percorsi doveva servire a raccordare le principali funzioni della capitale, dalle stazioni agli edifici di rappresentanza, considerati dei veri e propri nodi urbani. La nuova trama viaria ha imposto pesanti demolizioni e ricostruzioni di diversi complessi edilizi, consentendo altresì la realizzazione della rete idrica e della fognatura. Una complessiva trasformazione della città eseguita senza il timore di perdere le proprie radici urbane, capace di assorbire i monumenti che hanno segnato le epoche del passato e, nello stesso tempo, proiettata verso una crescita e un rinnovamento coerente con le richieste e le acquisizioni scientifiche del periodo. Un esempio raro, che forse costituisce ancora oggi un modello di riferimento per affrontare i problemi legati alla ricostruzione delle città, invogliando ad avere maggior fiducia verso le soluzioni offerte dall'architettura e dall'urbanistica contemporanea e confidando di accrescere il rapporto con le conoscenze di tipo ingegneristico che possono implementare la qualità e la vivibilità degli ambienti urbani.

<sup>231</sup> G. De Angelis d'Ossat, *Danni di guerra e restauro dei monumenti*, in Atti del V Convegno Nazionale di Storia dell'Architettura, Perugia, 1948, in G. De Angelis d'Ossat, *Sul restauro dei monumenti architettonici*, a cura di S. A. Curuni, prefazione di G. Miarelli Mariani, Bonsignori, Roma, 1995, p. 12.

<sup>232</sup> G. Zucconi, *La città dell'Ottocento*, GLF editori Laterza, Roma, 2001, pp.30-36.

Guglielmo De Angelis d'Ossat, ingegnere e storico dell'architettura, durante il V Convegno Nazionale di Storia dell'Architettura ha riassunto i principali indirizzi che possono essere utili ad affrontare la ricostruzione dei monumenti danneggiati da eventi bellici e che riteniamo abbiano una validità generale in tutti i casi sopra ricordati.

Il primo di questi è rivolto agli edifici che hanno subito «solo danni di limitata entità, quale dissesto dei tetti, fori o brecce determinati da proiettili di artiglieria di piccolo calibro, o che presentano altri danni prodotti da schegge o da mitragliamenti»<sup>233</sup>. Situazioni che possono essere risolte con la riparazione dei danneggiamenti subiti attraverso l'impiego di materiali facilmente reperibili.

Al secondo gruppo appartengono tutti i monumenti che hanno subito danni più consistenti, perdendo completamente le coperture o presentando crolli parziali oppure sconnessioni strutturali, causati, si ipotizza, dall'azione delle bombe. In tali circostanze le soluzioni applicabili sono due: il ripristino dei monumenti originari oppure la realizzazione di interventi difforni dall'aspetto dei primitivi edifici, spesso utili a riportare in luce caratteristiche architettoniche di pregio, perse proprio a seguito delle successive manomissioni dei monumenti.

Infine, la terza categoria raccoglie tutti quei casi in cui i danneggiamenti sono tali da poter considerare gli immobili completamente distrutti. Circostanza che impone soltanto la loro ricostruzione e, secondo De Angelis d'Ossat, «qualunque rifacimento non potrebbe riuscire che una smorfia e falsa copia dell'originale», a causa dell'uso di differenti materiali e dell'incertezza formale e decorativa.

Particolare attenzione viene rivolta al caso degli edifici realizzati in pietra; infatti, i monumenti potrebbero essere considerati «scomposti» e non distrutti e per questo attraverso il procedimento dell'anastilosi si potrebbe decidere per la loro ricomposizione. Tale atteggiamento è utile a motivare ad esempio la ricostruzione del Ponte S. Trinita che è stato fatto saltare dai tedeschi a Firenze.



**Fig. 2.7 Ponte Santa Trinita, Firenze**

Lo storico sembra giustificare anche la ricostruzione dei monumenti che, oltre ad essere dei riferimenti indimenticabili, sono stati oggetto di studio e se ne conservano rilievi, documenti e fotografie, validi per la loro ricostruzione integrale. Egli cita, oltre al campanile di San Marco, anche la torre settecentesca del Palazzo della Ragione a Fano, la cui ricostruzione è auspicata per non alterare il rapporto formale con la piazza antistante, e ricorda ancora la Torre Civica di Faenza, un simbolo della città, risorto proprio grazie ai documenti d'archivio. Si tratta di casi tuttavia eccezionali; lo stesso De Angelis d'Ossat sottolinea come sia impossibile ricreare i caratteri originariamente barocchi delle chiese «dove sculture, affreschi, stucchi, marmi, intarsi, e legni scolpiti

---

<sup>233</sup> G. De Angelis d'Ossat, *Danni di guerra e restauro dei monumenti*, in Atti del V Convegno Nazionale di Storia dell'Architettura, Perugia, 1948, in G. De Angelis d'Ossat, *op. cit.*, p. 17.

costituiscono non una suppellettile, ma sono viva parte del risultante aspetto architettonico»<sup>234</sup>; nel considerare la Chiesa abbaziale di Montecassino<sup>235</sup>, ad esempio, ne suggerisce la ricostruzione secondo canoni diversi, in sostituzione di quelli barocchi inimitabili, favorevole al motto «*succisa virescit*».

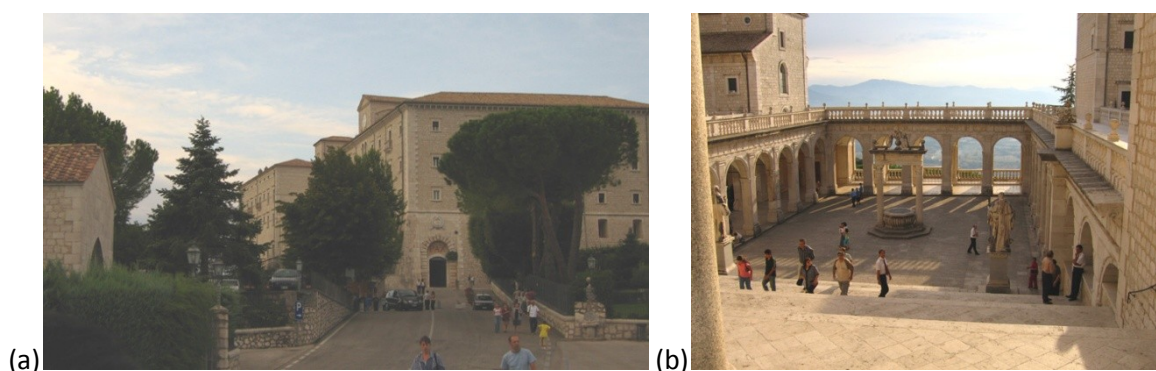


Fig. 2.8 Abbazia di Montecassino: (a) esterno, (b) chiostro interno

Dal ragionamento condotto, gli interventi di restauro, nella concezione dello storico romano, possono essere distinti, quindi, in cinque gruppi<sup>236</sup>: restauro di consolidamento, di liberazione, di reintegrazione (o di ricomposizione), di ricostruzione, di innovazione. Il primo, dopo la delicata fase di diagnosi del monumento, interviene anche con l'ausilio delle ultime avanguardie tecnologiche e materiche per risolvere le problematiche derivanti dai dissesti strutturali verificati. Questo è un ambito in cui «L'ingegnere ed il professore di scienze delle costruzioni prendono parte attiva» perché chiamati a suggerire gli accorgimenti più adatti. Il restauro definito di liberazione è chiamato ad eliminare superfetazioni o aggiunte; non è tuttavia semplice capire entro quali limiti si possono effettuare tali interventi. Al terzo gruppo appartengono tutte le operazioni, come l'anastilosi, che consentono di ricomporre l'edificio; la reintegrazione non deve essere confusa con quegli interventi che vogliono ingiustamente completare, ad esempio, le facciate delle chiese. Le ricostruzioni, invece, sono ammesse in casi eccezionali e solo a fronte di una conoscenza certa del monumento. Infine, i restauri di innovazione lasciano una certa libertà ai restauratori che nelle varie epoche hanno cercato di intervenire in maniera creativa, mostrando talvolta scarso interesse verso i primitivi edifici. Un atteggiamento oggi abbandonato in favore di una nuova progettualità più rispettosa verso i caratteri storici. De Angelis d'Ossat, a conclusione della sua sintesi, suggerisce ancora un'altra categoria chiamata «*restauro dei restauri*» per tener conto di tutti gli interventi finalizzati all'eliminazione delle modifiche inappropriate eseguiti nel passato.

Vogliamo ricordare ancora l'interessante punto di vista, offerto dallo storico, che paragona l'edificio da restaurare al corpo umano. Così come ogni paziente presenta un quadro clinico unico e differente dall'altro, allo stesso modo i monumenti non possono essere restaurati secondo principi generali: gli edifici nella loro individualità richiedono interventi diversificati. Nonostante tali premesse, il riferimento alla validità delle Carte del Restauro indica la necessità di seguire degli orientamenti generali, quindi pur considerando il restauro, un'arte, questa è assoggettata a tutti quei criteri che forniscono una chiave di lettura alle situazioni emerse non solo dopo le guerre.

Nel commentare a distanza di qualche anno i contenuti della Carta di Venezia del 1964, De Angelis d'Ossat rileva come il documento, elaborato sulla base di differenti posizioni,

<sup>234</sup> G. De Angelis d'Ossat, *Danni di guerra e restauro dei monumenti*, in Atti del V Convegno Nazionale di Storia dell'Architettura, Perugia, 1948, in G. De Angelis d'Ossat, *op. cit.*, p. 19.

<sup>235</sup> L'abbazia di Montecassino (Cassino) era stata innalzata nel 529 da San Benedetto. E' stata distrutta più volte: nel 577 ad opera dei Longobardi e nell'887 dai Saraceni. Ha subito il terremoto del 1349, durante la Seconda Guerra Mondiale, i bombardamenti hanno devastato buona parte del complesso abbaziale.  
<<http://montecassinoabbey.org>>.

<sup>236</sup> G. De Angelis d'Ossat, *Il restauro dei monumenti: provvidenze legislative, esperienze, suggerimenti*, in «Orientamenti dell'Arte Sacra dopo il Vaticano II», Bergamo, 1969, in G. De Angelis d'Ossat, *op. cit.*, pp. 37-39.



nonostante sia stato ampiamente condiviso, possa in futuro assumere regole «non troppo restrittive e univoche»<sup>237</sup>. A tal proposito, sono rammentati i restauri orientali che, molto diversamente dalla concezione occidentale, prevedono la sostituzione di parti deteriorate e persino la realizzazione ex-novo di sculture e pitture, ricostruendo così l'edificio secondo il gusto delle tradizioni millenarie. Una concezione che non cura l'originalità della materia quanto la continuità delle forme sacre e non possiamo certamente pensare di poter imporre a quei popoli la nostra interpretazione del restauro. Proprio per questo, migliorare la Carta di Venezia significava fornire considerazioni di cui i differenti linguaggi potessero tener conto.

La ricostruzione postbellica è stata probabilmente l'occasione più significativa, per i Paesi europei, non solo per confrontare punti di vista e differenti interpretazioni, ma soprattutto per attuare un complessivo rinnovamento del patrimonio immobiliare esistente. Mentre alcune città hanno preferito le ricostruzioni integrali, in memoria delle forti tradizioni popolari e della cultura locale, come nel caso di Varsavia, in altre è stata molto più forte la volontà di innovare il tessuto urbano. Fra i restauri che meglio descrivono tale atteggiamento ricordiamo il caso della Chiesa della Rimembranza a Berlino, dove le parti nuove dialogano con quelle esistenti, di cui restano soltanto dei ruderi. In Italia è prevalsa la prima delle soluzioni individuate e così in diverse città sono state interamente ricostruite nelle originarie forme antiche fabbriche andate distrutte, ad alcune delle quali abbiamo già fatto riferimento. Non sono mancati interventi discutibili, come la Chiesa di San Benedetto a Ferrara e il duomo di San Tommaso a Ortona, dove il ricorso a forme semplificate e interpretazioni moderne «producono miseri, tristi surrogati delle opere perdute»<sup>238</sup>.



**Fig. 2.9 Chiesa di San Benedetto a Ferrara (Autore: GiòBatta**  
**<[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Chiesa\\_di\\_San\\_Benedetto.JPG](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Chiesa_di_San_Benedetto.JPG)>, 20/06/2014)**

La questione della ricostruzione è ancora aperta, soprattutto in Italia, soprattutto dopo il recente sisma che nel 2009 ha profondamente ferito la città de L'Aquila e dopo le sequenze sismiche che hanno interessato diversi comuni dell'Emilia Romagna nel 2012. Il problema evidentemente non riguarda soltanto la materia del restauro, poiché, dalle argomentazioni finora presentate da autorevoli storici, emerge il coinvolgimento diretto di varie discipline: dall'architettura, nella sua eccezione più generale e complessiva, all'urbanistica, all'ingegneria, fino alle discipline economiche per la gestione finanziaria degli interventi. Probabilmente, nonostante siano già stati presentati Piani di Ricostruzione nei Comuni colpiti, le perplessità di tipo progettuale aspettano ancora delle risposte;

<sup>237</sup> G. De Angelis d'Ossat, *Relazione introduttiva al convegno ICOMOS, "Il restauro in Italia e la Carta di Venezia"*, Napoli - Ravello, 1977, in «Restauro» nn. 33-34, in G. De Angelis d'Ossat, *op. cit.*, p. 51.

<sup>238</sup> G. Carbonara (diretto da), *Trattato di restauro architettonico*, UTET, Torino, 2007, Vol. 1, p. 280.

vogliamo per questo richiamare l'attenzione su un caso significativo che può fornire utili chiavi interpretative. Si tratta della ricostruzione, ancora in atto, dell'area di Ground Zero a New York, dopo l'attentato alle Twin Towers del World Trade Center nel 2001.

Non intendiamo proporre paragoni fra realtà sociali e urbane molto diverse, ma sicuramente, nel caso americano, le numerose soluzioni presentate hanno dimostrato il bisogno di ricordare le torri abbattute, senza rinunciare a soluzioni innovative dal punto di vista progettuale, mostrando un atteggiamento di apertura, una grande capacità e voglia di guardare al futuro e una sapiente interpretazione di quelli che sono stati i simboli forti del luogo, gli stessi segnali che hanno guidato la riprogettazione dell'area. Un caso che potrebbe diventare un modello di riferimento anche per l'Italia affinché acquisti il coraggio di cambiare e la voglia di ricominciare, sentimenti che da parte delle popolazioni afflitte sono certamente molto forti e possono far leva, da soli, sulla ricostruzione, anche quella dei centri storici, con maggior fiducia verso le soluzioni che le varie discipline coinvolte possono fornire. Il caso ricordato è soltanto uno dei possibili approcci; in effetti, la specificità degli eventi e la diversità delle situazioni richiedono sempre valutazioni "su misura".

Se l'architettura, per sua natura, tende a proporre soluzioni progettuali che modificano la percezione dei monumenti, in generale delle città, lasciando segnali tangibili della propria epoca, anche il restauro si avvale di interventi che, per garantire la perpetuazione delle opere artistiche nel tempo, apportano delle modifiche più o meno invasive. Il problema dunque è capire come coniugare architettura e restauro, qual è il limite, se esiste, fra i due ambiti, dato che il restauro con le sue teorie e le sue tecniche operative si basa proprio sulla conoscenza, a priori, dei caratteri architettonici, nonché sull'individuazione dei valori storico-artistici dei beni. Un utile insegnamento è proposto da Giovanni Carbonara che ha evidenziato proprio come architettura e restauro debbano essere viste in maniera unitaria, indirizzate verso una ricerca comune<sup>239</sup>, una tendenza che è propria del cosiddetto restauro critico o meglio del restauro critico creativo, basato sulle considerazioni espresse da Renato Bonelli.

### 2.2.1 Il Rapporto Edificio - Spazio Urbano

Il tema della ricostruzione è legato inevitabilmente a un problema di tipo urbano; anche De Angelis d'Ossat si era espresso in proposito evidenziando due aspetti. Il primo fa riferimento alla questione della valorizzazione dei monumenti per evitare il loro isolamento all'interno del tessuto cittadino, il secondo interessa la cosiddetta «architettura minore», costituita dall'insieme dei complessi edilizi che caratterizzano città e piccoli borghi. Il consiglio dello storico è di non considerare il danneggiamento edilizio come l'occasione per ricostruire in maniera più intensa, eliminando in questo modo gli allineamenti dei vecchi centri urbani e le caratteristiche materiche delle antiche fabbriche. In sostanza, il consiglio è di favorire il recupero delle masse, della conformazione urbana, nonché dei tratti architettonici che contraddistinguono un determinato complesso urbano, senza tuttavia escludere tutti quei miglioramenti di tipo igienico, funzionale, distributivo e i rinnovamenti estetici dei fronti che dovranno comunque mantenere la memoria e richiamare le forme originarie dell'edilizia preesistente. De Angelis d'Ossat motivava in questo modo le sue riflessioni:

*Penso che codeste limitazioni non possano considerarsi tali da costringere o mortificare l'estro degli architetti e da inibire l'eventuale sbocciare di opere d'arte; sono soltanto dei punti fermi, delle pratiche condizioni iniziali, assai familiari all'architettura, anzi implicite nella sua stessa essenza.*

<sup>239</sup> G. Carbonara, *Restauro architettonico: principi e metodo*, m.e. Architectural Book and Review, Roma, 2012, p. 11.

*Non si tratterà, quindi, di comporre versi e rime obbligate, ma mi sembra piuttosto che il campo rimanga libero per tentare qualsivoglia variazione sopra un dichiarato assunto tematico. Lasciate perciò le esperienze e le avventure urbanistiche fuori dai vecchi centri artistici, in questi chiediamo soltanto rispetto. Con ciò non si vuol naturalmente escludere che alcuni modesti e veramente utili ritocchi potranno essere tentati; nella ricostruzione dei danni di guerra sarà certo possibile prospettare qualche necessaria variante nei confronti della precedente consistenza edilizia. Ciò è chiaro, direi sottinteso, nel concetto stesso di una conservazione saggiamente attuata; però questi adattamenti debbono venire studiati - bandendo il superfluo, spesso dannoso - non solo da competenti urbanisti, ma da quanti abbiano particolare sensibilità artistica e coscienza storica, da gente che senta la responsabilità e sappia quel che significa metter le mani nel vivo di una delle nostre città, cui secoli e secoli hanno impresso un carattere indelebile e personalissimo<sup>240</sup>.*

Considerazioni che evocano il ricordo di memorabili interventi, come quello eseguito per il Museo di Castelvecchio (Verona), non per sopperire a danni postbellici ma per progettare un allestimento temporaneo negli spazi esterni del castello scaligero. *Il giardino dei passi perduti*, un luogo ideato da Peter Eisenman<sup>241</sup> nel 2004, in segno di rispetto verso il precedente restauro eseguito dal maestro veneziano Carlo Scarpa, intrattiene uno stretto dialogo sia con gli spazi museali, sia col contesto territoriale, al quale l'architetto americano presta particolare attenzione.

Un lavoro esemplare, non solo per lo studio sapiente condotto sui segni dei luoghi, sulle griglie e sui rapporti dimensionali esistenti, ma significativo anche per l'insegnamento che offre: la possibilità di instaurare un dialogo fra vecchio e nuovo. Nel caso di Castelvecchio è stato determinante affrontare e interpretare la relazione fra interni ed esterni. In generale, è sempre necessario analizzare il rapporto dialettico che ogni monumento intrattiene con il luogo in cui si colloca e per questo il ruolo progettuale dell'architetto è fondamentale per indirizzare la costruzione e la ricostruzione urbana. Sembra dunque impossibile fissare una regola unica, mentre sembra più auspicabile affrontare ogni caso individuando una "cura" personalizzata.

L'importanza dell'analisi urbana, la lettura del tessuto preesistente e lo studio tipologico - strutturale dell'edilizia trovano nella figura di Saverio Muratori<sup>242</sup> un grande maestro. Anche i suoi allievi Paolo Maretto e Gianfranco Caniggia hanno in seguito sviluppato questo tipo di analisi, tanto da renderle premesse indispensabili della pianificazione. L'analisi tipologica è utile soprattutto a capire quelle regole non scritte, ma soltanto tramandate che hanno determinato l'edificazione, in determinate aree, secondo prestabiliti criteri formali e dimensionali, secondo precisi rapporti spaziali fra l'edificio e l'isolato in cui è inserito e ancora fra l'edificio e la strada.

La lettura edilizia inizia con il riconoscimento delle componenti essenziali del territorio urbanizzato, ossia «elementi, strutture di elementi, sistemi di strutture, organismo di sistemi»<sup>243</sup>, una distinzione che aiuta a comprendere i rapporti di scala fra le parti. Gli edifici, in quest'ottica diventano i "mattoni" di una città, sono dunque gli elementi, con i quali abbiamo un rapporto più diretto poiché costituiscono i luoghi in cui viviamo. Analogamente le strutture saranno rappresentate dai tessuti urbani, mentre i sistemi andranno a identificare i quartieri e infine le città saranno sinonimo di tanti organismi. Studiare gli edifici significa individuare il «tipo edilizio» cui ciascuno di essi fa riferimento. A volte non è sempre semplice capire qual è la tipologia di un fabbricato: con i secoli, infatti, la concezione dello spazio, le tecniche e i materiali disponibili sono cambiati ed

<sup>240</sup> G. De Angelis d'Ossat, *Danni di guerra e restauro dei monumenti*, in Atti del V Convegno Nazionale di Storia dell'Architettura, Perugia, 1948, in G. De Angelis d'Ossat, *op. cit.*, p. 21.

<sup>241</sup> P. Eisenman, *Il giardino dei passi perduti*, Marsilio, Venezia, 2004.

<sup>242</sup> Saverio Muratori (1910 - 1973) era un architetto, un urbanista e uno scrittore modenese, docente nelle università di Roma e di Venezia. Egli è noto per aver fondato una nuova metodologia nello studio dei centri abitati, all'indomani della seconda guerra mondiale, quando numerose città mostravano i segni lasciati dal conflitto. La sua ricerca era finalizzata all'interpretazione delle leggi che sottendono la struttura urbana dei centri storici, attraverso lo studio dei suoi caratteri tipologici.

Approfondimenti e dettagli in: G. Pigafetta, *Saverio Muratori Architetto*, Saggi Marsilio, Venezia, 1990.

<sup>243</sup> G. Caniggia, G. L. Maffei, *Composizione architettonica e tipologia edilizia*, vol. 1 - *Lettura dell'edilizia di base*, Marsilio, Venezia, 1995, p. 73.

effettuare oggi una corretta lettura degli edifici esistenti significa individuare quei concetti di base che hanno determinato la distinzione fra le varie tipologie. Un utile esercizio, a riguardo, può essere l'analisi degli aggregati urbani attraverso lo studio dei primi piani degli edifici, al fine di osservare e confrontare le loro caratteristiche, come la posizione delle scale, la disposizione e la forma delle aperture nei prospetti, la distribuzione degli ambienti fra i vari piani. Possiamo poi compiere ulteriori osservazioni nell'analizzare il rapporto fra il costruito e gli spazi aperti, così da individuare la posizione dell'edificio nel lotto, la disposizione di eventuali corti interne o la presenza di giardini. In questo modo possiamo anche catalogare tutte le differenze riscontrate in edifici apparentemente simili che, secondo il Caniggia, rappresentano varianti sincroniche dello stesso tipo. In questo modo, inoltre, saranno facilmente individuabili, all'interno del tessuto, tutti quegli edifici che chiameremo "specialistici" perché distinguibili strutturalmente e funzionalmente, come chiese, scuole, municipi, biblioteche e teatri oppure ospedali, caserme, uffici, ecc..

Attraverso studi di questo tipo, condotti a partire dagli anni Cinquanta del Novecento in varie città, prima di tutto Venezia e Roma, grazie alle ricerche di Muratori, poi Firenze e Genova, sono state chiaramente individuate le proporzioni tipiche dell'edilizia di base e sono state altresì definite le cosiddette leggi dei successivi raddoppi che hanno portato alla nascita di nuovi tipi edilizi. Così, ad esempio, possiamo distinguere, valutando le sole dimensioni sui fronti stradali dei singoli prospetti, una casa "a schiera" da una "in linea". Le prime erano destinate ad accogliere una sola famiglia, mentre le seconde, essendo un'evoluzione tipologica, avevano una destinazione plurifamiliare. L'argomento merita ulteriori approfondimenti, ma ci limitiamo a capire qual è il ruolo svolto dalle analisi tipologiche - strutturali di questo tipo.

Possiamo prima di tutto evidenziare come tali indagini possano supportare l'elaborazione dei piani di risanamento conservativo, cui fa riferimento la Carta di Gubbio. Infatti, l'individuazione delle tipologie edilizie semplifica la definizione delle classi di intervento da mettere in atto. Basterebbe solo fissare, per ogni tipologia, i criteri della trasformazione ed eventualmente i vincoli da apporre. A partire dagli anni Sessanta del Novecento tali analisi sono state utili nella stessa elaborazione dei piani regolatori; vogliamo ricordare, in particolare, il primo caso, quello della città di Bologna<sup>244</sup>. Nel 1969 il Comune sviluppò un piano per il centro storico, una variante del piano regolatore del 1958, che comprendeva l'area interna ai viali di circonvallazione e alcune parti esterne. Nell'occasione si decise di affrontare la pianificazione attraverso una preliminare analisi tipologica, finalizzata alla determinazione delle caratteristiche morfologico - strutturali dell'edilizia. Non si trattava di distinguere gli edifici in monumenti di pregio e fabbricati rappresentativi dell'edilizia minore, quanto di delineare in maniera oggettiva i tratti tipici, così da definire attraverso la normativa i criteri di trasformazione e le destinazioni d'uso compatibili.

Il piano è nato all'interno degli uffici comunali per mano di Pier Luigi Cervellati, Roberto Scannavini, Felicia Bottino e fu approvato nel 1971, anno in cui è stata emanata la nuova legge per la casa. A Bologna furono proprio i finanziamenti per la casa a essere destinati al risanamento del centro storico e non alla realizzazione di nuovi quartieri. Un atteggiamento "sostenibile" che ha puntato al rilancio del territorio piuttosto che al suo consumo. Il piano per il centro storico prevedeva diversi espropri che non furono, di fatto, realizzati, anzi: le sue indicazioni sono state attuate solo attraverso apposite convenzioni stipulate con i privati e attraverso l'acquisto di alcuni immobili. Il piano di risanamento, adottato nel 1977, anche se ha interessato soltanto alcuni comparti, è diventato un simbolo virtuoso della città di Bologna e un esempio per altre città.

La metodologia<sup>245</sup> adottata non intendeva «congelare» l'antico centro storico, quanto intendeva prevedere azioni di recupero per la vita della comunità. Per questo, per l'elaborazione del programma di conservazione, sono stati definiti i parametri di

<sup>244</sup> E. Salzano, *Fondamenti di urbanistica: la storia e la norma*, GLF editori Laterza, Roma, 2010, pp. 134-135.

<sup>245</sup> Comune di Bologna - Ente bolognese manifestazioni artistiche, *Bologna: centro storico, Catalogo per la Mostra «Bologna/Centro Storico»*, Bologna, Palazzo d'Accursio, 1970, Edizioni Alfa, Bologna, 1970, pp. 163-188.



valutazione della «struttura fisica del centro storico»: il primo basato sul valore storico delle architetture censite; il secondo relazionato alle tipologie edilizie. Gli interventi previsti sono stati distinti nelle categorie rappresentate nel «piano operativo della conservazione»: categoria 1a - Restauro (vincolo assoluto), categoria 1b - Restauro (vincolo parziale), categoria 2a - Risanamento (ripristino conservativo), categoria 2b - Ristrutturazione (vincolo parziale), categoria 3a - Demolizione (con ricostruzione), categoria 3b - Demolizione (con ricostruzione condizionata).

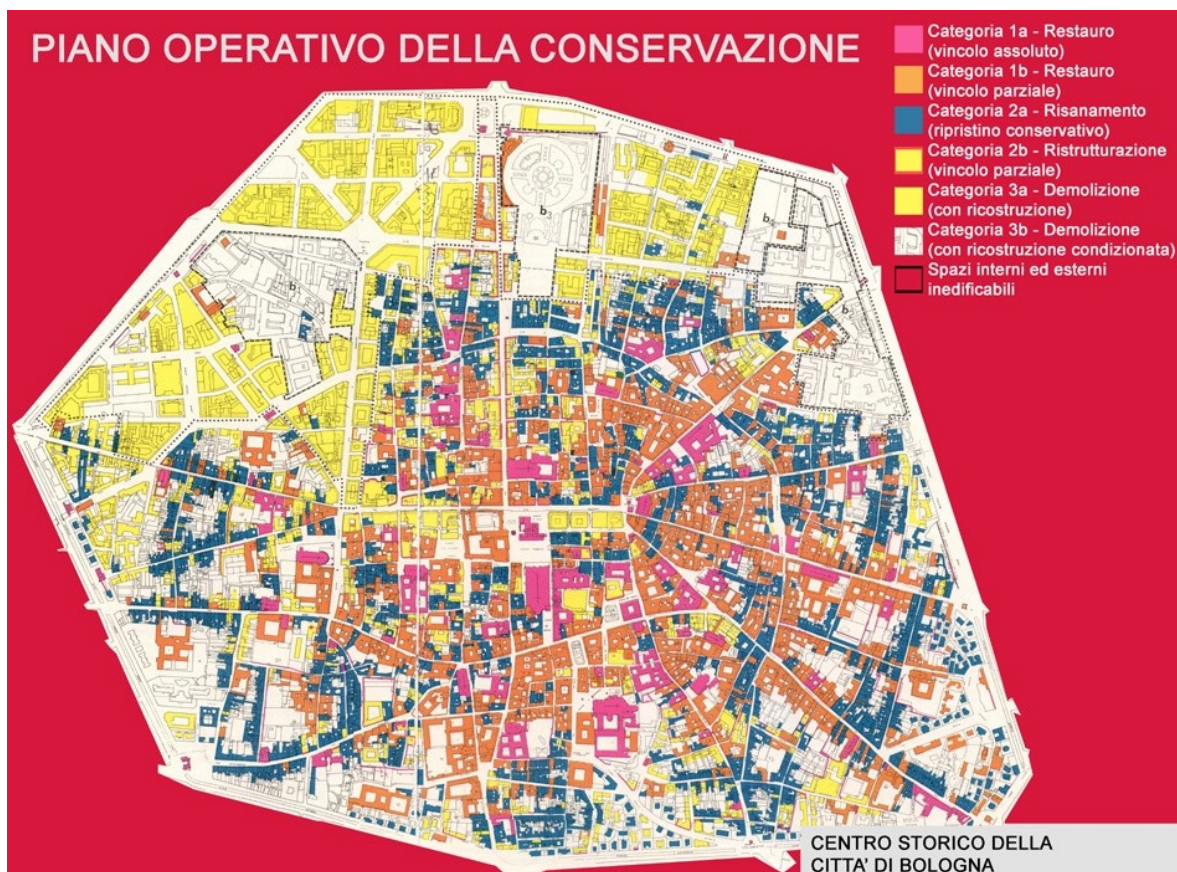


Fig. 2.10 Il caso della città di Bologna (in Ente bolognese manifestazioni artistiche, 1970)

Durante l'elaborazione del piano sono emersi alcuni temi di grande rilevanza, come quello del rapporto fra la forma e la funzione dell'edificio. Questo argomento diventa di fondamentale importanza per stabilire la «funzionalizzazione» del centro storico, ossia la destinazione d'uso dei monumenti e di tutti i fabbricati caratteristici dei centri urbani. Il piano è servire a limitare il più possibile le modifiche formali degli edifici, rendendo questi compatibili con le funzioni loro assegnate. Gli edifici, nella carta delle «tipologie edilizie», sono stati distinti in quattro categorie: dalla A alla D, per differenziare i cosiddetti «grandi contenitori» (categoria A), che comprendono i vari tipi di edifici specialistici, dal gruppo dei «piccoli contenitori» (categoria B), che annoverano, invece, al loro interno, i vari edifici a corte. Questi ultimi sono stati, inoltre, distinti dall'insieme degli edifici privati, che rispondevano a un'altra tipologia edilizia e a una diversa organizzazione urbana, e, in generale, sono stati distinti da tutti gli edifici considerati come una variazione del precedente gruppo (rispettivamente categorie C e D). Le funzioni che sono state, invece, assunte per il centro storico sono: università, artigianato, attrezzature alberghiere e ricettive, turismo, attività rappresentative e attrezzature ricreative.

Intorno agli anni Novanta, anche Antonino Giuffré, nel caso di Ortigia<sup>246</sup>, cuore storico della città di Siracusa, si è avvalso di un ampio studio sulle tipologie edilizie. In quell'occasione, prima di arrivare alla definizione delle tecniche di intervento più opportune a garantire la sicurezza del centro storico e la sua conservazione, sono stati

<sup>246</sup> A. Giuffré (a cura di), *Sicurezza e conservazione dei centri storici: il caso Ortigia*, Editori Laterza, Roma, 2006.

effettuati numerosi rilievi non solo metrici, ma anche schizzi e studi di carattere tecnologico utili a comprendere gli aspetti costruttivi propri dei tipi edilizi individuati. E' stato osservato che gli edifici propri di un determinato ambiente urbano, nelle loro diversità, possono essere comunque uniti dalle medesime scelte morfologiche e materiche.

Nel quartiere della Graziella<sup>247</sup> (Fig. 2.11), dopo l'individuazione dei tipi ricorrenti, si è passati alla descrizione dei caratteri architettonici, tipici dell'edilizia locale, dallo studio delle aperture, alle caratteristiche dei cantonali e dei balconi, alla descrizione dei materiali e dei decori. Non è superfluo capire le ragioni che hanno indotto i progettisti di quegli edifici a realizzare ad esempio determinate cornici, che solo apparentemente hanno solo una valenza estetica. Oggi sappiamo, infatti, che le loro dimensioni erano legate al clima poco piovoso del siracusano e che i conci squadrati sormontanti tali cornici servivano a nascondere le gronde, secondo una sapiente logica compositiva. E' stato inoltre osservato come molte soluzioni fossero ricorrenti anche in edifici realizzati in epoche successive, probabilmente in ragione del fatto che le tecniche utilizzate sono state volutamente tramandate di padre in figlio così da diventare tratti caratteristici non solo del singolo edificio ma dell'intero tessuto. In questo modo si è affermato un dialogo formale fra le parti dell'organismo urbano, rendendo il centro storico unico e irripetibile.



Fig. 2.11 L'isola di Ortigia

(base cartografica in: <[http://www.laboratorio1.unict.it/cartografia\\_11.htm](http://www.laboratorio1.unict.it/cartografia_11.htm)>, 29/06/2014)

L'analisi svolta nel quartiere della Graziella può essere estesa anche ad altre aree urbanizzate. Possiamo evidenziare come ogni realtà locale abbia sviluppato, in relazione alle condizioni climatiche e alla disponibilità di precisi materiali, tecniche costruttive del tutto specifiche di un determinato luogo e di un certo periodo storico.

<sup>247</sup> C. Carocci, *Caratteri formali e materiali dei partiti architettonici*, in A. Giuffrè (a cura di), *Sicurezza e conservazione dei centri storici: il caso Ortigia*, Editori Laterza, Roma, 2006, pp. 100-131.

## 2.3 LE CARTE DEL RESTAURO

Il restauro dei monumenti, la complessa questione della ricostruzione dei centri storici, nonché i temi legati alla loro conservazione sono stati oggetto di numerosi convegni e incontri che hanno prodotto al livello internazionale documenti significativi, recepiti in seguito attraverso iniziative a carattere nazionale. Ripercorreremo sinteticamente il contenuto delle Carte del Restauro elaborate in più di un secolo di storia, per riassumere come sono stati descritti i criteri di salvaguardia, conservazione e restauro dei monumenti.

### 2.3.1 Il D. M. 21 Luglio 1882 e La Circolare 21 Luglio 1882 N. 683 Bis

Il Decreto Ministeriale del 1882 rappresenta la prima carta italiana del restauro e affronta l'argomento con riferimento al valore storico e artistico dei monumenti, al fine di garantire la migliore conservazione delle preesistenze. Pone l'attenzione sullo studio dei monumenti, considerando questo momento di analisi, determinante per le prossime scelte progettuali.

L'esame dei monumenti può essere condotto non solo attraverso i documenti d'archivio, ma anche attraverso rappresentazioni d'insieme e di dettaglio dello stato attuale e delle condizioni passate. Nella fase di studio si ricercano le forme originarie, le proporzioni adottate, gli aspetti distributivi, le tecniche di esecuzione e di decorazione utilizzate, così da stabilire le parti che possiedono un valore storico e artistico da tutelare da quelle che invece non hanno tali requisiti, e si valutano altresì i danni sofferti dal monumento; mentre la compilazione del progetto di restauro prevede relazioni, elaborati grafici nelle scale più opportune, stima dei lavori e condizioni d'esecuzione.

Non entreremo in questi dettagli quanto nelle indicazioni fornite dalla Circolare elaborata nello stesso anno. Il documento è stato scritto allo scopo di ostacolare i «rifacimenti non indispensabili» e gli interventi che potessero ledere la memoria storica e artistica dei beni. Secondo tale Circolare, quando i danni sono rappresentati da «corrosioni» occorre distinguere se queste sono causate dal trascorrere del tempo oppure se sono dovute alle azioni dell'uomo, ed è necessario capire se i danni riscontrati abbassano o no il livello di stabilità dei fabbricati.

Si raccomanda che i rifacimenti parziali siano limitati; tuttavia, se il monumento è stato distrutto se ne raccomanda la ricostruzione parziale o totale, secondo le circostanze, sempre che sia possibile dimostrare che ciò che vogliamo sopprimere non ha un valore per la storia o per l'arte e sempre che sia possibile ricostruire il fabbricato con le forme originarie. Per quanto riguarda le aggiunte, la Circolare propone l'eliminazione di tutti gli interventi posteriori che sono colpevoli di aver alterato il carattere antico dei beni. Infine sono sostenute tutte le soluzioni che risolvono i problemi di «stabilità» senza la sostituzione dei vecchi materiali con i nuovi, anche se, ove necessari, sono raccomandati tutti gli interventi di rinforzo e di consolidamento «che riproducano esattamente le condizioni statiche antiche». Sembra, in conclusione, che il primo testo normativo sul restauro dei monumenti non lasci spazio a interventi arbitrari.

### 2.3.2 La Carta di Atene del 1931

La Carta è stata elaborata ad Atene durante una conferenza internazionale, che ha raccolto all'interno di dieci punti i principi condivisi dagli Stati partecipanti. Il primo concetto è l'interesse verso la conservazione dei beni di valore artistico e archeologico. A



tal fine la manutenzione è indicata come la soluzione preferibile e raccomandata per tutti i manufatti.

In tutti i casi in cui si rendano indispensabili interventi di restauro si deve sempre rispettare lo stile del passato «senza proscrivere lo stile di alcuna epoca». Interessante è anche l'attenzione rivolta al riuso dei monumenti purché vengano sempre rispettati il carattere storico e artistico.

La conservazione viene persino considerata come un diritto della collettività e per questo sono favorite tutte quelle disposizioni normative che tutelano l'interesse pubblico contro il prevalere di quello privato.

Per quanto riguarda la tutela delle rovine che possono essere facilmente recuperate, si suggerisce il ricorso all'anastilosi; negli altri casi, invece, è consigliato il solo rilievo delle stesse rovine. La Conferenza ha evidenziato che, se per la conservazione dei ruderi si istaura un rapporto diretto fra architetto e archeologo, per gli altri monumenti dell'antichità il restauro richiede la preliminare indagine «delle malattie cui occorre portare rimedio».

Un punto davvero innovativo riguarda l'impiego di nuovi materiali come il cemento armato. Vengono, infatti, approvati tutti gli interventi che prevedano le nuove tecniche disponibili, sempre che non alterino l'aspetto dell'edificio.

Sembra significativa anche l'attenzione posta verso le nuove edificazioni in prossimità di monumenti. Il consiglio fornito è quello di rispettare prospettive e ornamentazioni vegetali presenti. Si sconsiglia, invece, l'uso di pubblicità o fili telegrafici nelle vicinanze degli edifici storici e naturalmente si esclude l'ipotesi di costruire addirittura industrie nelle loro prossimità.

Oltre all'impegno espresso dagli Stati di tutelare i beni monumentali, viene in conclusione evidenziato il ruolo dell'educazione nel diffondere la cultura della salvaguardia e il rispetto verso l'edilizia storica.

### 2.3.3 La Carta del Restauro del 1932

Nel 1932 il Consiglio Superiore per le Antichità e le Belle Arti curò l'elaborazione della Carta del Restauro Italiana, che riprendeva diverse considerazioni, espresse l'anno prima ad Atene. Il Consiglio, consapevole della responsabilità collettiva verso l'edilizia storica, ha racchiuso in undici punti i concetti che dovrebbero essere applicati indistintamente da privati e da enti pubblici. L'intervento di restauro, infatti, non deve cancellare gli aspetti storici, né deve portare alla perdita dei materiali originali dei monumenti. Per queste ragioni, con l'ausilio delle teorie che in quegli anni iniziavano a diffondersi, sono stati proposti interessanti suggerimenti per affrontare il progetto di restauro.

Il documento evidenzia come la manutenzione possa essere un utile strumento per effettuare quegli interventi di consolidamento necessari a garantire «la resistenza e la durevolezza tolta dalle menomazioni o dalle disgregazioni». La soluzione del ripristino, invece, è giustificata soltanto se la conoscenza del monumento si basa su dati certi. Per quanto riguarda i «monumenti lontani ormai dai nostri usi e dalla nostra civiltà», ossia gli edifici antichi, ridotti spesso allo stato di rudere, la Carta suggerisce il ricorso al metodo dell'anastilosi, cioè la ricomposizione lapidea delle parti, ammettendo, anche se entro certi limiti, aggiunte con «elementi neutri». Richiamando ancora i principi sanciti ad Atene, la Carta del 1932 evidenzia che il riuso dei monumenti «viventi» deve sempre essere coerente con le destinazioni per cui tali edifici erano stati edificati.

Uno degli aspetti sottolineati è la necessità di rispettare tutte le forme d'arte e quindi tutti gli stili che storicamente si sono susseguiti, evitando gli interventi che possono cancellare la memoria di uno stile in favore di un altro. Pertanto, dovrebbero essere accuratamente

valutati anche quegli interventi che eliminano aggiunte immotivate, realizzate negli anni, solo per inseguire un'ideale unità stilistica.

Il Consiglio affronta poi la questione dell'isolamento dei monumenti, causato dalle nuove edificazioni all'interno del tessuto urbano. Il principio da seguire è ancora una volta il rispetto dell'ambiente in cui il monumento si colloca, evitando la realizzazione di nuovi fabbricati «invadenti per massa, per colore, per stile».

Nel caso in cui si rendano indispensabili interventi di completamento, l'indirizzo fornito è quello di limitare all'indispensabile tali aggiunte e di dare a queste un «carattere di nuda semplicità», ammettendo soluzioni di continuità stilistica solo per richiamare le geometrie esistenti ma «prive di individualità decorativa». Tutte le aggiunte dovrebbero essere dichiarate apertamente sia con il ricorso a materiali differenti da quelli antichi, sia con l'ausilio di «cornici di involuppo» oppure semplici epigrafi in modo da non ingannare e falsificare il monumento storico.

L'impiego delle nuove soluzioni tecnologiche e materiche per fini strutturali è apertamente favorito e persino incoraggiato il contributo che le varie scienze possono apportare all'intervento di restauro.

Per quanto riguarda la tutela dei ruderi, il Consiglio suggerisce come soluzione più idonea la conservazione in situ dei reperti emersi durante le fasi di scavo, una soluzione che implica un progetto di conservazione e di valorizzazione delle aree archeologiche.

Infine, che si tratti di restauro dei monumenti o che si intervenga in uno scavo, la Carta considera il «giornale del restauro» come il principale strumento chiamato a documentare attraverso relazioni, disegni e fotografie la natura degli interventi eseguiti e le scelte adottate, nonché lo stato del monumento, prima e dopo la realizzazione del restauro.

#### 2.3.4 La Carta di Venezia del 1964

Occorre premettere che all'indomani della Seconda Guerra Mondiale le distruzioni e i danni subiti dal patrimonio culturale erano ingenti in tutti i Paesi; questo motiva i numerosi ripristini e la realizzazione di veri e propri falsi storici, nel periodo immediatamente successivo al conflitto bellico. Dopo l'emergenza, l'attenzione internazionale ha posto nuovamente il suo interesse verso i temi del restauro architettonico. La Carta di Venezia fu per questo elaborata nel maggio del 1964, quando divenne forte la necessità di chiarire alcuni aspetti legati alla pratica del restauro.

La Carta, che si compone di sedici principi, chiarisce prima di tutto il concetto di monumento; se, infatti, nelle precedenti Carte era quasi sott'inteso l'oggetto della tutela, nel nuovo documento è esplicitamente dichiarato quali sono i beni interessati: non solo i singoli edifici ma anche «l'ambiente urbano e paesistico» che indicano il passaggio di una civiltà. È altresì specificato che la materia del restauro si avvale di tutte quelle discipline che possono contribuire al fine della conservazione monumentale. La Carta ha dunque un atteggiamento di grande apertura verso un approccio di tipo interdisciplinare.

Ancora una volta è richiamato il valore della manutenzione, inteso come atto di cura dei monumenti; ancora una volta la Carta consiglia il rispetto per la distribuzione degli spazi esistenti e limita, in tal senso, interventi che possano alterare l'edificio in ragione di nuove esigenze funzionali. Uno degli aspetti più importanti del documento è l'attenzione rivolta alla conservazione dei beni all'interno del contesto ambientale in cui sono stati costruiti. Non trova giustificazione la pratica di «smontare» e «rimontare» altrove gli edifici che appartengono a un determinato periodo storico e a un determinato luogo. Si raccomanda anche di conservare, assieme all'edificio, le sculture e i decori che caratterizzano il monumento; solo eccezionalmente e per fini di conservazione è consentita la separazione degli uni dall'altro.

L'intervento di restauro è inteso come un gesto necessario per la tutela monumentale e «si fonda sul rispetto della sostanza antica e delle documentazioni autentiche». Quando si renda indispensabile, il restauro dovrà essere distinguibile e non dovrà falsificare il monumento. Gli studi storici e archeologici del bene continuano a essere fondamentali per la scelta dei migliori criteri d'intervento. Per quanto riguarda il ricorso alle nuove tecniche, sono sostenute purché ci sia un'evidenza scientifica a loro supporto.

Lo scopo del restauro non è l'unità stilistica e quindi tutte le manifestazioni artistiche del bene sono assoggettate alle stesse leggi di tutela. Proprio per questo, devono essere valutate con attenzione le opere chiamate a liberare il monumento dalle aggiunte realizzate negli anni; qualora queste siano di altrettanto pregio, non è ammessa la loro eliminazione.

Per gli scavi archeologici si rimanda alle Raccomandazioni elaborate dall'UNESCO nel 1956. Tuttavia, la Carta garantisce la salvaguardia delle rovine con tutti i mezzi necessari a proteggere i reperti. Sono sostenute anche le iniziative volte alla loro valorizzazione e comprensione. Non sono ammesse le ricostruzioni: l'unica eccezione è la pratica dell'anastilosi per le sole parti smembrate, mentre le aggiunte dovranno sempre essere riconoscibili e limitate.

Tutti gli interventi, infine, devono essere documentati attraverso relazioni, elaborati grafici e fotografici, inclusi gli stati di avanzamento dei lavori e si consiglia di conservare il materiale prodotto presso pubblici archivi. E' favorita anche la loro pubblicazione.

### 2.3.5 La Carta del Restauro del 1972

Rappresenta la riedizione italiana della Carta del Restauro del 1931 e prevede, accanto ai concetti generali, quattro allegati che affrontano rispettivamente: il restauro delle antichità, il restauro architettonico, il restauro pittorico e scultoreo e la tutela dei centri storici. Il documento rielabora quindi la vasta materia del restauro, riprendendo i principi formulati per il patrimonio architettonico ed estendendo tali concetti alle altre tipologie di beni. Oltre a quelli già citati, sono annoverati nel gruppo delle opere d'arte anche gli arredi conservati nella loro disposizione originaria e i giardini storici di particolare rilevanza.

La Carta precisa due definizioni: quella di "salvaguardia", che indicherebbe l'insieme dei provvedimenti conservativi che non implicano «l'intervento diretto sull'opera» e quella di "restauro" che rappresenta l'intervento «volto a mantenere in efficienza, a facilitare la lettura e a trasmettere integralmente al futuro» le opere precedentemente ricordate.

La Carta elenca quali sono le attività proibite in maniera categorica, ossia i completamenti in stile, anche in possesso di dati certi; le demolizioni che cancellano gli interventi apportati alle opere nel tempo, ad eccezione di quelli che hanno alterato i «valori storici dell'opera»; le rimozioni e le ricostruzioni dei monumenti in luoghi diversi; le «alterazioni delle condizioni accessorie o ambientali» e l'eliminazione delle patine antiche. Al contrario sono considerate ammissibili le aggiunte che migliorano la staticità degli edifici, differenziando i materiali impiegati e rendendo distinguibile l'intervento apportato; per le sculture e le pitture sono consentite le puliture che rispettino comunque le patine esistenti; è ammessa l'anastilosi qualora siano disponibili fonti certe, ricorrendo a interventi neutrali per i completamenti necessari; sono consentiti i nuovi ambientamenti, quando quelli originari siano andati distrutti.

Nel corso degli interventi di restauro dovrebbe essere elaborato un apposito giornale per documentare i lavori svolti e, a conclusione di questi, dovrebbe essere prevista la stesura di una relazione finale con allegate fotografie precedenti e successive al restauro. Occorrerà anche documentare tutte le ricerche effettuate sul bene, compreso le indagini chimiche, microbiologiche e quelle derivanti dal contributo di altre scienze.

Nel restauro è ammesso il ricorso a materiali innovativi e a nuove procedure, purché siano autorizzati dal Ministero della Pubblica Istruzione e con parere conforme dell'Istituto Centrale di Restauro. Tutti i provvedimenti che conservano i beni dall'inquinamento e dai cambiamenti climatici devono comunque garantire il rispetto dei materiali, dei colori e dell'ambiente in cui le opere sono collocate e, qualora tali interventi si rendano necessari, non devono alterare o falsificare le opere stesse.

Il primo allegato della Carta fa riferimento alla salvaguardia e al restauro delle antichità e comprende anche il sottosuolo archeologico e i reperti emersi durante ricerche terrestri e subacquee. Sono considerate fondamentali le indagini che si avvalgono di fotografie aeree e prospezioni del terreno per fornire indicazioni complete sulla natura dei suoli. Analogamente, si suggerisce il ricorso a ricerche ed esplorazioni delle coste italiane per ottenere una «Forma Maris» utile all'identificazione dei relitti eventualmente affondati.

L'allegato, oltre a consigliare la predisposizione di ambienti idonei ad accogliere i reperti, considera necessari gli interventi restaurativi immediati, soprattutto nel caso degli scavi archeologici, valutando le problematiche legate alla ricollocazione delle opere nei luoghi originari, come per le pitture e i mosaici.

Se gli interventi di restauro riguardano un monumento dell'antichità, si consiglia il ricorso a saggi di scavo che consentano di risalire anche alla natura delle fondazioni, utilizzando il metodo stratigrafico per ricostruire la storia del manufatto.

Gli interventi da predisporre per le cortine di opus dovrebbero essere leggermente arretrati, mentre l'impiego di mattoni moderni dovrebbe essere segnalato attraverso opportune rigature. Si suggerisce anche l'applicazione di apposite targhette per indicare con evidenza i lavori eseguiti. Non è escluso il ricorso al cemento superficialmente rivestito dalla polvere del materiale proprio del monumento, mentre per coprire i muri rovinati, si propone l'impiego di uno «strato di malta mista a cocciopesto». Il consolidamento murario esclude il ricorso a tecniche non sperimentate.

Il secondo allegato ha per oggetto il restauro architettonico. Le raccomandazioni espresse precedentemente nella Carta sono ribadite con varie precisazioni, come quelle riguardanti la conservazione delle patine oppure i consigli forniti per la manutenzione delle pietre che a volte presentano strati di fuliggine, guano di piccioni, ecc.: situazioni che possono essere risolte con l'ausilio di spazzole vegetali o getti d'aria a pressione moderata che tutelano l'integrità dei materiali.

Le pitture e le sculture sono, invece, considerate nel terzo allegato della Carta. Le indicazioni fornite riguardano le differenti tipologie di analisi da condurre sulle pitture e sulle sculture ed evidenziano come le recenti strumentazioni favoriscano l'acquisizione di dati sulla natura delle opere, oggi indispensabili per proporre idonei interventi di restauro con mezzi meccanici, quali ad esempio bisturi, oppure chimici come i solventi. L'argomento è sicuramente complesso, si estende ai problemi propri delle pitture murarie, descrivendo anche le più indicate tecniche cui ricorrere nei casi in cui sia necessaria la rimozione del dipinto dal supporto. Infine, nell'allegato è sconsigliata la ricollocazione delle opere restaurate in ambienti che non hanno caratteristiche termoigrometriche adatte alla loro conservazione.

L'ultimo allegato della Carta del Restauro si rivolge alla tutela dei centri storici. Sono presi in considerazione non solo i centri di antica edificazione ma tutti gli insediamenti, costruiti nel passato, che sono una testimonianza della storia di una civiltà e nei quali è possibile identificare una determinata struttura urbana o architettonica.

Gli interventi di restauro dei centri storici non sono finalizzati alla sola conservazione formale dei singoli monumenti, ma alla tutela delle «caratteristiche d'insieme dell'intero organismo urbanistico». Si consiglia, per questo, di provvedere alla riorganizzazione delle parti più antiche a partire dal contesto territoriale, quindi dall'esterno della città, in modo che le funzioni non compatibili con il tessuto storico siano dislocate in altri luoghi, così da favorire il risanamento conservativo dei centri. Sono oggetto di tutela sia gli spazi esterni, come strade e piazze, sia quelli interni, cioè i giardini, le corti, nonché quegli elementi che

caratterizzano le città storiche come le porte urbane o le antiche mura difensive; dovrebbero essere altresì conservati gli elementi naturali che sono parte della città come i fiumi, le singolarità geomorfologiche, ecc.. Il valore di tutte le caratteristiche urbane può essere valutato attraverso un'analisi di tipo storico-critica, così da stabilire quali sono i diversi gradi degli interventi necessari.

Il risanamento conservativo, più volte richiamato nell'allegato, dovrebbe garantire il mantenimento delle strutture viarie, di quelle edilizie e dei caratteri ambientali, ricorrendo alle sostituzioni solo in casi eccezionali e solo per conservare il carattere delle strutture storiche. Gli interventi di tipo urbanistico cui è possibile ricorrere sono: la ristrutturazione urbanistica, che prevede la valutazione del rapporto fra il centro e le aree di recente urbanizzazione, il riassetto viario e la revisione dell'arredo urbano. Quest'ultimo, al fine di migliorare la relazione fra l'edificato e gli spazi esterni, si avvale del risanamento statico e igienico degli edifici e del rinnovamento funzionale, entrambi progettati in base agli aspetti tipologici e costruttivi dei fabbricati. Il rinnovamento funzionale può ricorrere anche a strumenti urbanistici quali piani regolatori generali, piani particolareggiati e piani esecutivi di comparto.

### 2.3.6 La Carta di Amsterdam e la Dichiarazione di Amsterdam del 1975

Il Congresso di Amsterdam riunitosi nel 1975 ha approvato la *Carta europea del patrimonio architettonico* anche nota come *Carta della conservazione integrata*, preparata dal Comitato dei Monumenti e dei Siti del Consiglio d'Europa per sostenere la causa del patrimonio architettonico e soprattutto la sua tutela all'interno degli strumenti di pianificazione urbana e territoriale. Il documento, composto di dieci punti, è stato scritto dopo la Convenzione culturale del 1954, accogliendo, inoltre, le Raccomandazioni della Conferenza dei Ministri europei del 1959 e quelle dell'Assemblea Consultiva del Consiglio d'Europa del 1970.

La Carta evidenzia come il patrimonio architettonico sia costituito non solo dagli edifici monumentali più rappresentativi ma anche dagli insiemi urbani e dagli elementi ambientali che connotano una città. Tale patrimonio è considerato come la radice culturale di un popolo ed è per questo necessario tutelarlo e trasmetterlo alle future generazioni. Una memoria storica, portatrice di valori spirituali, culturali, economici e sociali, è un vero proprio capitale che non possiamo perdere e attraverso il quale è possibile limitare lo spreco di risorse. L'esistenza dei centri storici serve anche a equilibrare l'organizzazione sociale nelle città, ospitando importanti funzioni per la comunità e favorendo l'integrazione della popolazione. Al quinto punto la Carta sottolinea anche il valore pedagogico assunto dell'edilizia antica. Le differenze formali e lo studio degli aspetti caratteristici delle varie epoche servono, infatti, a educare soprattutto le nuove generazioni, contribuendo a sviluppare il senso del gusto per le differenti forme artistiche.

Dal sesto punto in poi la Carta porta l'attenzione sulle questioni della salvaguardia del patrimonio architettonico, considerato in pericolo a causa dell'ignoranza, della vetustà, del degrado e dell'abbandono. Responsabili di tale situazione sono le carenze urbanistiche, ma anche la speculazione immobiliare e la realizzazione di interventi restaurativi inadeguati. La soluzione ai sopramenzionati problemi è la conservazione integrata. Questo strumento è il frutto delle tecniche di restauro unite alla ricerca di funzioni appropriate. I centri storici, soprattutto quelli in stato di abbandono, sono divenuti riserve di alloggi a basso costo. Il restauro dell'edilizia antica, pertanto, deve saper rispettare la condizione sociale della popolazione esistente, mentre all'urbanistica è affidato il compito di rapportare i centri storici all'architettura moderna, istaurando un dialogo attraverso i rapporti volumetrici, spaziali e la conservazione dei materiali tradizionali.

La conservazione integrata può essere attuata solo con adeguati mezzi giuridici, amministrativi, finanziari, tecnici. Si tratta dunque di predisporre normative nazionali in favore della protezione del patrimonio architettonico, nonché di organizzare un apparato amministrativo adeguato alle nuove problematiche. L'aspetto fiscale è determinante per la riuscita dei programmi di tutela e per questo è necessario individuare fondi da destinare ai restauri, almeno pari a quelli destinati alle nuove edificazioni. I mezzi tecnici sono invece rappresentati da coloro che sono chiamati a predisporre gli interventi opportuni, ossia architetti, tecnici di ogni tipo e imprese specializzate.

Il patrimonio architettonico appartiene a tutti: ciascuno può intervenire, mettendo in atto interventi di tutela; per questo la Carta favorisce la partecipazione della collettività alle scelte che riguardano il restauro monumentale. È infine dichiarato che i problemi della conservazione riguardano tutti i Paesi e spetta al Consiglio d'Europa promuovere azioni coordinate nei vari Stati.

Con riferimento ai contenuti della Carta, la Dichiarazione di Amsterdam è stata scritta nello stesso anno dai Paesi europei che avevano insieme riconosciuto l'architettura come patrimonio comune da salvaguardare e come simbolo culturale dell'identità dei popoli. Nel documento viene anche espresso l'impegno degli Stati affinché siano favoriti scambi culturali e cooperazione. Di seguito riassumiamo brevemente tali principi.

La salvaguardia è rivolta a quartieri e intere città che sono purtroppo oggetto di devastazioni oppure sono state sfigurate da interventi di ricostruzione incoerenti con la struttura urbana esistente. La conservazione del patrimonio architettonico diventa, in tale accezione, una questione di tipo urbanistico e, pertanto, è proprio la pianificazione che deve chiarire quali sono gli interventi che favoriscono la tutela del costruito. La Dichiarazione stabilisce che gli interventi sui quartieri esistenti non possono modificare la distribuzione sociale della popolazione, un aspetto innovativo che interessa anche la gestione dei fondi pubblici, attraverso disposizioni legislative e amministrative. All'educazione è affidato, invece, il compito di trasmettere i valori culturali dell'architettura alle successive generazioni che potranno così proseguire il lavoro di tutela iniziato.

Le disposizioni promosse dal Congresso sono rivolte indistintamente a enti, associazioni e agli stessi cittadini d'Europa, affinché ci sia una partecipazione collettiva verso i temi della conservazione e, per questo, i Paesi sono invitati a redigere periodiche relazioni sullo stato della tutela raggiunto da ciascuno.

Evidenziamo ancora come il concetto di tutela sia stato esteso, in quest'occasione, a tutti i beni architettonici, dunque non solo monumenti antichi ma anche realizzazioni moderne che sono portatrici di valori culturali: un principio che generalizza l'applicazione della tutela e che sostiene una nuova forma di urbanistica in grado «di ritrovare gli spazi chiusi, la dimensione umana, l'interpretazione delle funzioni e la varietà socio-culturale che caratterizzano i tessuti urbani antichi».

La conservazione è intesa anche come soluzione allo spreco delle risorse, limitando l'invasione dei suoli a uso agricolo e il conseguente abbandono della popolazione dei vecchi quartieri. Sulla base delle motivazioni fornite la Dichiarazione ha formulato sei principi generali.

Il primo di questi stabilisce che: «La conservazione del patrimonio architettonico deve essere uno dei principali obiettivi della pianificazione urbana e dell'assetto territoriale». Un assunto che racchiude in sé la necessità di instaurare un dialogo fra conservatori e urbanisti. Le parti storiche delle città, infatti, non possono essere gestite con le stesse regole della pianificazione adottate per le nuove aree di espansione: sono evidentemente diversi gli obiettivi. Il ricorso a differenti disposizioni urbanistiche può favorire lo sviluppo di quartieri destinati al «declino economico», frenando il degrado dovuto all'abbandono dei centri storici. A tal proposito i trasporti, le politiche di occupazione e l'organizzazione funzionale devono essere coinvolti nelle misure di tutela del patrimonio edilizio; ad esempio, il decentramento è considerato più congeniale alla conservazione dei centri.

Il secondo principio afferma che: «La conservazione integrata impegna la responsabilità degli enti locali ed esige la partecipazione dei cittadini». Per mettere in atto il concetto di conservazione integrata, gli enti locali devono analizzare la struttura degli insediamenti urbani e rurali, individuare le funzionalità assunte dall'edilizia presente, valutare l'evoluzione dei servizi offerti, tenendo presente che «il gigantismo è sfavorevole alla loro qualità», individuare i fondi necessari per attuare gli interventi conservativi, scegliere coloro che saranno responsabili degli affari riguardanti il patrimonio architettonico, creare organismi di pubblica utilità che gestiscano il rapporto fra gli utilizzatori dei beni e i loro proprietari e, infine, promuovere la formazione di associazioni volontarie per il restauro. Gli enti, inoltre, dovrebbero valutare le osservazioni fornite dai gruppi interessati alla conservazione monumentale; pertanto, l'informazione pubblica e la diffusione delle questioni che riguardano lo sviluppo urbano sono incoraggiate attraverso i media, i sondaggi e tutti i mezzi di divulgazione e di dibattito.

Il successivo punto recita: «La consapevolezza dei fattori sociali condiziona il successo di qualsiasi politica di conservazione integrata». Sembra di leggere in queste parole la necessità di considerare accanto al valore culturale dell'edilizia, il valore d'uso del patrimonio architettonico, valutando quindi gli aspetti sociali della conservazione. Si fa presente, inoltre, che il restauro dei centri storici non implica una spesa maggiore di quella che comporta la nuova edificazione e qualunque scelta dovrebbe essere sempre rapportata al costo sociale dell'intervento. Spetta ai poteri pubblici vigilare sugli affitti di appartamenti e locali restaurati, per evitare che aumenti eccessivi provochino l'allontanamento delle classi sociali residenti proprio in tali centri storici.

Il quarto principio affronta la questione normativa: «La conservazione integrata esige un adeguamento delle misure legislative e amministrative». Poiché la conservazione è stata estesa dagli oggetti architettonici agli insediamenti urbani, è necessaria una riforma legislativa che tuteli gli uni e gli altri. Quella indirizzata al patrimonio architettonico deve prevedere procedure speciali sui seguenti aspetti: delimitazione degli insiemi architettonici, delimitazione delle zone periferiche, individuazione di programmi di conservazione integrata, approvazione di progetti. Devono essere anche affrontate le necessità economiche, assegnando adeguati fondi agli interventi di riqualificazione, favorendo l'iniziativa privata e dedicandole vantaggi finanziari, modificando infine il regime degli aiuti economici dello Stato.

Il penultimo principio evidenzia che «La conservazione integrata esige adeguati mezzi finanziari». I mezzi economici a disposizione della conservazione sono purtroppo limitati in tutti i Paesi, così come nessuno di loro dispone ancora di un apparato amministrativo in grado di rispondere alle esigenze della conservazione. I due aspetti sembrano quindi relazionati e la legislazione è indicata come l'unico strumento in grado di fissare "standard edilizi" e regole utili a gestire la pianificazione urbana, che è chiamata a incoraggiare le riqualificazioni al posto delle demolizioni. E' altresì utile quantificare il vantaggio economico derivante da tali interventi e concedere ai cittadini promotori di interventi di restauro le stesse agevolazioni fiscali concesse per le nuove edificazioni.

Il sesto e ultimo punto afferma: «La conservazione integrata esige una promozione dei materiali, delle tecniche e delle competenze professionali connesse al restauro e alla riabilitazione». Con questo principio si intende favorire lo sviluppo di metodologie di riqualificazione che possano essere applicate a una «vasta gamma di costruzioni ed insiemi».

Il Congresso, richiamando l'attenzione sulla necessità di conservare le tecniche della tradizione, ravvisa nelle opere di manutenzione un prezioso strumento alleato della conservazione. Il ricorso alle nuove tecniche è giustificato solo se supportato da evidenze scientifiche, mentre è consigliata l'elaborazione di cataloghi sulle tecniche e sui materiali esistenti.

Tali elaborati richiedono inevitabilmente un supporto della ricerca di tipo multidisciplinare e la formazione di personale qualificato; a tal proposito sono favoriti anche i tirocini di tipo



formativo. Infine La Dichiarazione evidenzia: «Dovrà essere anche più facile disporre di urbanisti, architetti, tecnici e artigiani necessari per preparare i programmi di conservazione e assicurare la promozione di mestieri artigianali che occorrono di frequente nei lavori di restauro e che minacciano di scomparire».

Ricordiamo che nel 1985, con la Convenzione di Granada, stipulata da tutti gli Stati del Consiglio d'Europa che avevano precedentemente collaborato per la Carta europea del patrimonio architettonico del 1975, sono stati puntualizzati, attraverso definizioni e procedure, i concetti legati al tema della conservazione del patrimonio architettonico.

### 2.3.7 La Carta di Machu Picchu del 1978

Nell'introduzione alla Carta si evidenzia come il documento sia nato per riformulare a livello internazionale i contenuti della Carta di Atene. Le stesse città scelte hanno un valore simbolico: Atene rappresentava la civiltà occidentale, Machu Picchu rappresentava il contributo culturale di una diversa civiltà che si è posta di fronte a numerosi interrogativi, molti dei quali non hanno una risposta.

Il primo argomento è il rapporto fra «Città e regione». L'urbanizzazione è responsabile del consumo di risorse naturali ed umane, nonché delle trasformazioni socio-economiche conseguenti. La Carta rinnova l'interesse verso la pianificazione urbana come strumento essenziale per analizzare le necessità e gestire lo sviluppo e come strumento indispensabile per relazionare le funzioni fra i quartieri. Le tecniche urbanistiche devono essere applicate a tutte le scale, dalle città alle aree metropolitane e poi alla dimensione regionale fino a quella nazionale. Pertanto, la pianificazione abbraccia la programmazione economica, quella urbana e quella architettonica e richiede la collaborazione di figure differenti, dai professionisti, alle amministrazioni, agli stessi utenti. Le città riflettono gli esiti delle scelte economiche fatte ed eventualmente mostrano le necessità di rinnovare la pianificazione urbanistica e architettonica.

«La crescita urbana» è relazionata con l'aumento della popolazione che, dai tempi della Carta di Atene, è addirittura raddoppiata, accompagnata da una crescente crisi ecologica, energetica ed alimentare. Le conseguenze sono l'insufficienza abitativa e la deficienza di servizi come i trasporti, nonché un abbassamento della qualità della vita. L'evoluzione urbana ha prodotto due fenomeni: l'industrializzazione, che ha indotto le classi sociali più agiate a trasferirsi nei piccoli borghi vicini, lasciando le città nelle mani dei «nuovi immigranti»; il secondo fenomeno è la formazione di regioni in via di sviluppo che hanno pochi servizi e infrastrutture ma ospitano comunità molto vaste, difficili da gestire persino con le tradizionali tecniche della pianificazione urbana.

Il terzo punto affrontato dalla Carta riguarda «Le funzioni integrate». Fino a quel momento, sulla base delle indicazioni dettate dalla Carta di Atene, le funzioni urbane erano divise in: abitare, lavorare, ricrearsi e circolare. La città era organizzata in parti funzionalmente distinte. Tale sistema costringeva la popolazione a una mobilità forzata, limitando persino i rapporti interpersonali, e la produzione architettonica era costituita da edifici isolati dal contesto. Per risolvere le problematiche emerse, la nuova Carta, al contrario della precedente, sostiene l'integrazione delle funzioni nell'ambiente urbano.

«L'abitazione» è trattata sulla base delle più condivise esigenze di vita, quindi l'integrazione con la componente naturale, l'esistenza di comunicazione e la possibilità di instaurare relazioni sociali. Con questo spirito, anche l'edilizia popolare deve essere progettata in maniera creativa, come un aggregato edilizio dinamico e rispondente alle esigenze dei suoi fruitori. La Carta sottolinea anche l'importanza di integrare le residenze con altre funzioni, localizzando i vari gruppi comunitari all'interno dell'organismo urbano.

Il quinto punto riguarda «I trasporti». La Carta raccomanda di prevedere servizi di massa all'interno della pianificazione. La circolazione già nella Carta di Atene era considerata

fondamentale e allora era relazione all'uso dell'automobile, quindi un mezzo di trasporto individuale. Nel nuovo documento, il problema non è riferito tanto alla realizzazione di nuovi sistemi viari, quanto alla disponibilità di un trasporto pubblico. Il suo ruolo è di disegnare una griglia di connessioni fra le parti interne ed esterne delle città.

«La disponibilità di suolo urbano» per fini sociali era ancora uno dei punti della Carta del 1931, ma, nonostante le iniziative adottate, la pratica dell'esproprio continuava a essere difficilmente attuabile. Per questo il proposito è di migliorare attraverso nuove disposizioni normative la fruizione pubblica del suolo contro il prevalere degli interessi privati.

Il settimo punto è inerente a «Risorse naturali e inquinamento ambientale». Questo rappresenta una minaccia dovuta all'urbanizzazione incisiva del territorio. Il problema è ricondotto alla carenza di standard edilizi e, di conseguenza, alle cattive condizioni igieniche, allo scarso benessere abitativo e, appunto, ai fenomeni di inquinamento delle acque, dell'atmosfera e degli alimenti. La pianificazione deve rispondere attivamente proponendo, quindi, riqualificazioni utili a migliorare le condizioni di igiene urbana. Le soluzioni individuate devono poi avere un riscontro nella programmazione economica, nella progettazione architettonica e nelle normative.

La successiva questione è la «Tutela e preservazione dei valori culturali e del patrimonio storico-monumentale». La Carta parte dal presupposto che l'identità di una città dipenda sia dalla sua forma sia dalla società. Le città, quindi, possono essere conservate attraverso la salvaguardia dei valori culturali e il «restauro e riciclaggio di ambienti storici e monumenti architettonici», considerati vitali per lo sviluppo urbano. L'edilizia moderna può essere innestata proprio nelle aree da riciclare.

Per quanto riguarda il rapporto con «La tecnologia», la Carta, consapevole del suo grande sviluppo anche nei settori dell'architettura e dell'urbanistica, invita ad accogliere i nuovi sviluppi tecnologici con prudenza. Se da un lato il progresso scientifico e le comunicazioni fra i popoli hanno risolto numerosi problemi di tipo edilizio, dall'altro il cattivo impiego delle nuove tecnologie può causare il ricorso a materiali e soluzioni non sempre indicate, persino alla realizzazione di decori legati alle tendenze momentanee. Ad esempio, i sistemi di condizionamento e le diverse forme di illuminazione hanno creato ambienti artificiali, poco relazionati alle condizioni naturali dei luoghi. La tecnologia, in pratica, deve essere impiegata come un mezzo e non come un fine e a essa spetta anche il compito di studiare soluzioni per riciclare i materiali dell'edilizia.

«L'attuazione dei piani» è considerata una vera e propria responsabilità dei governi. Non è possibile, infatti, limitare l'intervento delle autorità pubbliche e delle professionalità alla sola pianificazione. Inoltre, in relazione ai continui mutamenti sociali, è loro dovere la stessa revisione dei piani già in atto.

La Carta del 1978, rispetto alla precedente edizione di Atene, affronta anche il tema «Progettazione urbana ed architettonica». L'interesse verso tale aspetto è maturato negli anni, passando dall'idea di una città divisa funzionalmente a quella di una città interessata ad avere «spazi sociali in cui vivere». L'attenzione per la forma edilizia è stata sostituita da quella per il contenuto del tessuto urbano. Sebbene ciò, sono considerate ancora valide le conquiste degli anni Trenta: «l'analisi delle funzioni e dei contenuti edilizi, il principio della dissonanza, la visione antiprospectica spazio-temporale, la disgregazione della tradizionale scatola edilizia, la riunificazione dell'ingegneria strutturale con l'architettura». A queste sono state aggiunte: «la temporalizzazione dello spazio, la reintegrazione edificio-città-territorio». All'urbanistica moderna viene richiesta una nuova forma di pianificazione basata sulla continuità edilizia. Ai futuri fruitori degli spazi urbani, invece, viene chiesta una partecipazione diretta nelle scelte della progettazione architettonica.

### 2.3.8 La Carta di Firenze del 1981

Definita come la *Carta dei Giardini Storici*, è stata elaborata dopo la VI Assemblea dell'ICOMOS (Consiglio Internazionale dei Monumenti e dei Siti). Fornisce quattro principi, per la prima volta, indirizzati alla tutela del verde storico.

Il primo aspetto riguarda la concezione del giardino storico, cui è riconosciuta l'essenza di bene culturale. Il giardino, infatti, è un prodotto della progettazione, un'opera d'arte fatta di materiali naturali e non, irripetibile e legato alla cultura delle varie epoche: merita, per questo, di essere considerato parte del patrimonio culturale, al pari di un monumento.

È poi affrontato il discorso del restauro, richiamando la validità dei concetti presentati nella Carte del 1964 e del 1972. Gli interventi devono rispettare la storicità dei giardini, che rappresentano l'evoluzione della progettazione del verde nel tempo. La Carta non giustifica la cancellazione delle tracce storiche più recenti in favore di quelle del passato, sarebbe soltanto un atteggiamento antistorico. Il restauro dei giardini deve avvalersi del principio della conservazione e ricorrere alla manutenzione per favorire la loro tutela.

Secondo il terzo principio, i giardini devono essere relazionati al contesto in cui sono collocati, sia esso tessuto agricolo o boschivo; questo implica una preventiva programmazione degli interventi, che saranno finalizzati a riequilibrare l'intero territorio. Il concetto di conservazione è esteso dall'edificio, al giardino, alle infrastrutture esterne, coinvolgendo quindi la viabilità, le piazze, gli specchi d'acqua, ecc..

La tutela può essere attuata solo se supportata dalla conoscenza diretta delle opere d'arte. Studiare un giardino storico significa acquisire dati sulle architetture realizzate, sulle caratteristiche idriche e geologiche, sulle specie vegetali presenti, sulla componente ambientale. I mezzi cui è possibile ricorrere sono sia i documenti storici, sia le fotografie, le fonti catastali, persino le indagini archeologiche, dato il legame con diverse discipline.

Costituiscono parte della Carta alcune raccomandazioni sui giardini pubblici e su quelli privati, nonché l'invito indirizzato al Ministero dei Beni Culturali affinché siano censiti i giardini da sottoporre a vincolo di tutelare. Tali raccomandazioni riguardano anche gli Enti che dovrebbero predisporre adeguate risorse per la manutenzione del verde. C'è infine un importante interesse a trasmettere la cultura dei giardini storici attraverso apposite scuole e attraverso la divulgazione delle conoscenze specialistiche a ogni grado dell'istruzione.

### 2.3.9 La Carta di Noto del 1986

Dopo il Convegno Internazionale sul caso della città di Noto, è stata elaborata una nuova Carta, articolata, anche in questo caso, in quattro punti e accompagnata da alcune raccomandazioni rivolte, in particolare, alle aree di antica edificazione.

Il primo punto indica quali sono gli «Strumenti operativi per l'intervento nei centri storici». Con riferimento alla città di Noto, è stato proposto il ricorso a uno strumento di pianificazione intermedio fra il piano di recupero, previsto dalla Legge n. 457/1978, e l'esercizio della tutela sui singoli monumenti, come predisponiva la Legge n. 1089/1939. Il nuovo strumento è stato chiamato «*Piano di conservazione integrata dell'insieme storico*» e lo scopo è di guidare la riqualificazione del centro storico attraverso l'«analisi di conoscenza», la «diagnosi», la «terapia» da applicare.

Per quanto riguarda le «Analisi conoscitive», sono ritenute valide tutte le ricerche che, come evidenziato in altre Carte precedenti, si basano su fonti bibliografiche, archivistiche, rilievi, analisi dirette e strumentali. L'obiettivo è acquisire dati che possano essere utili a delineare gli aspetti funzionali e infrastrutturali dei centri storici, ma anche indicazioni sui manufatti edilizi, come materiali, tecniche costruttive, caratteristiche strutturali, ecc.. Il Piano dovrà, infatti, essere supportato dalle tecniche diagnostiche più avanzate e dalle

cartografie più aggiornate, nonché da indicazioni sul rischio sismico e da informazioni riguardanti il centro storico.

Con l'«Analisi dei materiali da costruzione», invece, si intendono ricercare quali sono i materiali ricorrenti nell'edilizia e individuare le cause del loro degrado al fine di definire le più adatte metodologie per la manutenzione, come puliture, consolidamenti, stuccature e sistemi di protezione dei paramenti lapidei, delle malte e degli intonaci. Viene, infine, proposta la sperimentazione su un edificio campione di un progetto di consolidamento e di un programma manutentivo.

L'ultimo punto, che descrive gli «Strumenti sussidiari per la progettazione del restauro», completa le indicazioni già fornite, consigliando la catalogazione per aree omogenee, dei dati ottenuti durante le analisi svolte. In questo modo gli operatori del settore avranno a disposizione indicazioni utili ai fini progettuali, che potranno essere implementate da ulteriori ricerche. Pertanto, si suggerisce l'elaborazione di veri e propri «*Manuali*» per fornire dettagli architettonici, indicazioni sulle strutture edilizie, sulla muratura, sulle tipologie di solaio, fondamentali per definire gli interventi di manutenzione e di rinforzo. È poi richiamata l'attenzione sulle questioni di tipo sociale ed economico, è, infatti, importante riprogettare gli spazi e le loro funzionalità per ricreare l'equilibrio sociale perso e sarà altrettanto fondamentale valorizzare l'imprenditoria, il commercio, l'artigianato, l'agricoltura e tutte le attività tipiche del territorio per favorire lo sviluppo economico delle comunità.

Le raccomandazioni espresse dal Convegno, invece, hanno per oggetto due temi che possiamo considerare di grande attualità: «Tutela dei centri storici dal rischio sismico» e «Formazione e qualificazione dei Maestri d'Arte nel campo del restauro architettonico».

Per quanto riguarda il primo aspetto, sono stati formulati alcuni suggerimenti per finalità preventive contro il rischio sismico della Sicilia Orientale, che gli esperti del Gruppo Nazione per la Difesa dei Terremoti del CNR e del Dipartimento della Protezione Civile considerano in Italia una delle zone più in pericolose. Le indicazioni fornite sembrano, tuttavia, di interesse generale per tutte le città e i nuclei abitativi situati in zone sismiche. Il primo consiglio è la realizzazione di mappe di rischio sismico per i centri storici, da elaborare sulla base della vulnerabilità verificata, considerando le condizioni strutturali dell'edilizia esistente e la loro localizzazione territoriale. Il secondo consiglio è di individuare le priorità di intervento, basandosi sull'esigenza di tutela dei beni monumentali e sulla necessità di garantire la pubblica incolumità. L'ultimo consiglio è di definire le tecniche di intervento più adatte per l'adeguamento sismico dell'edilizia.

La seconda tematica affrontata nelle raccomandazioni del Convegno riguarda, invece, la formazione di maestranze che siano in grado di operare nel campo del restauro, un settore che richiede conoscenze specifiche sulle tecniche dell'edilizia storica. A tal proposito, è rammentata l'esistenza, in alcune città italiane, di appositi corsi che potrebbero essere replicati anche nella zona degli Iblei. Tali corsi dovrebbero essere promossi dalle Regione e supportati, nell'elaborazione del piano didattico, da Università e Ministero per i Beni Culturali e Ambientali.

### 2.3.10 La Dichiarazione di Washington del 1987

Il Consiglio Internazionale dei Monumenti e dei Siti (ICOMOS), per rinnovare i concetti riguardanti la conservazione dei centri storici, ha redatto nel 1987 un nuovo documento chiamato *Carta internazionale per la salvaguardia delle città storiche*. La Carta interpreta ancora i centri abitati come luoghi portatori di valori culturali e approfondisce gli argomenti già affrontati nel 1964 a Venezia, seguendo le raccomandazioni dettate dall'UNESCO e riguardanti proprio la salvaguardia dei centri storici e il loro ruolo nella vita moderna.

Fra i principi della Carta è sottolineata la necessità di considerare la salvaguardia delle città fra gli obiettivi economici e sociali, nonché di valutarne gli effetti all'interno della pianificazione urbana e territoriale. Gli aspetti che andrebbero tutelati sono: la forma urbana, caratterizzata dal sistema viario e dalla suddivisione in aree urbane, le relazioni fra gli spazi urbani, quindi fra costruito, spazi liberi e aree verdi, i caratteri edilizi, ossia gli aspetti formali, costruttivi e decorativi, la vocazione urbana delle aree. La Carta, inoltre, considera indispensabile il coinvolgimento sociale per diffondere gli ideali legati alla salvaguardia; viene, infine, sostenuta la necessità di ricorrere a criteri e metodi relazionati a casi e situazioni specifiche, contro ogni dogmatismo.

I metodi e gli strumenti sono descritti all'interno di altri dodici punti. La Carta stabilisce che il piano di salvaguardia deve essere preceduto da analisi volte a definire gli aspetti architettonici o archeologici, economici e sociali di una città e deve prevedere le azioni giuridiche, amministrative e finanziarie necessarie ad attuare il piano stesso. Questo deve individuare gli edifici da tutelare e quelli che in precise circostanze dovranno essere abbattuti. In mancanza di un piano di salvaguardia sono considerate valide le disposizioni contenute nella precedente Carta di Venezia, oltre a quelle fornite dalla nuova Carta, e continuano a essere considerati validi gli interventi di manutenzione.

Per quanto riguarda la realizzazione di nuove infrastrutture, si raccomanda di adattare queste ai contesti storici esistenti, perseguendo sempre l'obiettivo di migliorare l'habitat urbano. Analogamente, se è necessario inserire elementi contemporanei nei contesti storici, occorre verificare sempre l'esistenza di un rapporto armonioso fra le parti. È richiamata l'importanza della conoscenza storica come strumento fondamentale per l'organizzazione urbana, in particolare per individuare le percorrenze automobilistiche nei quartieri storici e le aree più adatte a ospitare i nuovi parcheggi. Le reti autostradali previste nell'ambito della pianificazione territoriale non devono mai essere collegate direttamente alle città storiche.

La Carta invita a ricercare misure preventive contro catastrofi naturali e non, come l'inquinamento, considerando tali misure degli strumenti di salvaguardia.

Infine, per coinvolgere la cittadinanza verso la cultura della tutela, si consiglia di insegnare tali valori nell'età scolare. Sono altresì favorite le iniziative formative specialistiche nei settori professionali attinenti.

### 2.3.11 La Carta C.N.R. del 1987

Questa Carta è stata considerata un aggiornamento della Carta Italiana del Restauro del 1972 ed è indicata come *Carta 1987 della Conservazione e del Restauro*. Si rivolge alla tutela di tutti i beni di interesse artistico e storico che sono considerati beni culturali. Appartengono a tale classificazione opere architettoniche e aree urbanizzate, ma anche «ambienti *costruiti*» come parchi e giardini. Gli strumenti scientifici, i libri e i documenti possono essere considerati beni culturali e, analogamente, le «testimonianze di usi e di costumi di interesse antropologico», oppure gli elementi figurativi tridimensionali e piani. Tutti gli oggetti, quindi, compreso i ritrovamenti archeologici, possono essere sottoposti a potenziali interventi di conservazione e di restauro, se alterati da forme di degrado.

La Carta fornisce in seguito le seguenti definizioni che distinguono alcuni termini ricorrenti.

*Conservazione: l'insieme degli atti di prevenzione e salvaguardia rivolti ad assicurare una durata tendenzialmente illimitata alla configurazione materiale dell'oggetto considerato;*

*Prevenzione: l'insieme degli atti di conservazione, motivati da conoscenze predittive al più lungo termine possibile, sull'oggetto considerato e sulle condizioni del suo contesto ambientale;*

*Salvaguardia: qualsiasi provvedimento conservativo e preventivo che non implichi interventi diretti sull'oggetto considerato;*

*Restauro: qualsiasi intervento che, nel rispetto dei principi della conservazione e sulla base di preve indagini conoscitive di ogni tipo, sia rivolto a restituire all'oggetto, nei limiti del possibile, la relativa leggibilità e ove occorra, l'uso;*

*Manutenzione: l'insieme degli atti programmaticamente ricorrenti rivolti a mantenere le cose di interesse culturale in condizioni ottimali di integrità e di funzionalità, specialmente dopo che abbiano subito interventi eccezionali di conservazione e/o restauro.*

Al terzo punto della Carta è evidenziato come la conservazione non possa riguardare solo i singoli monumenti, ma debba essere estesa all'intero contesto ambientale. Qualora si rendano necessari i restauri, i relativi interventi devono sempre garantire la lettura dell'oggetto originario. È altresì precisato come conservazione e restauro non necessariamente siano uniti; possono tuttavia essere «complementari» e comunque il restauro deve prevedere programmi di salvaguardia e di prevenzione.

Nel punto seguente si rinnova l'idea di realizzare dei programmi d'intervento attraverso gli organi preposti, ossia le Soprintendenze, gli Enti locali e gli uffici del Ministero dei Beni Culturali e Ambientali, da sottoporre ad approvazione.

L'aspetto affrontato al punto successivo sembra utile soprattutto per orientare le scelte sulla rimozione o meno delle opere dal sito in cui sono localizzate. Nel caso in cui queste siano soggette a inquinamento ambientale o siano collocate in luoghi esposti alle avversità naturali come sismi o frane, è consigliato di allontanare i beni e conservarli in ambienti più idonei. Proprio a proposito delle sale espositive la Carta suggerisce di stabilire dei limiti di affollamento, anche in relazione ai parametri termoigrometrici degli ambienti, al fine di preservare al meglio la "salute" delle opere esposte.

Per quanto riguarda gli interventi restaurativi, la Carta impone alcuni divieti, come i completamenti in stile, anche alla presenza di documenti certi, a eccezione di quelli eseguiti per ragioni statiche, «specie nelle zone sismiche». Sono vietate anche le rimozioni e le demolizioni che cancellano completamente il corso della storia di un luogo, ad eccezione dei completamenti che falsificano l'autenticità di un'opera. Non sono ammesse neanche le alterazioni delle patine antiche, anche se occorre considerare le situazioni in cui i danni sono dovuti al degrado dei materiali.

Gli interventi permessi nel restauro sono, invece, le aggiunte per finalità statiche, mentre per le reintegrazioni si ammette il ricorso a materiali diversi dall'originale purché rispettino il colore di quelli e purché le caratteristiche chimico-fisiche siano analoghe. Le aggiunte dovranno essere distinguibili, siglate e datate, «ma sempre con la debita discrezione». La pulitura di pitture e sculture deve rispettare la «patina», senza mettere a nudo la materia dell'opera; le uniche eccezioni riguardano le puliture di manufatti architettonici per eliminare le cause di degrado. Continuano a essere giustificati gli interventi di anastilosi. Le modifiche vere e proprie sono ammesse solo per migliorare le prestazioni statiche e sempre nel rispetto dei colori, dei materiali e in generale dell'aspetto dell'opera. La Carta evidenzia come, nell'ultimo ventennio, gli interventi realizzati attraverso il ricorso a inserzioni di materiali come l'acciaio, le cuciture armate iniettate con malte cementizie o resine si siano dimostrate oltre che invasive anche poco durature e irreversibili; pertanto si consiglia il ricorso a tecniche di tipo tradizionale come speroni, cerchiature, catene, ecc.. Sono promossi nuovi ambientamenti solo nei casi in cui quelli autentici siano ormai persi.

La Carta sostiene tutti quegli interventi che possano conservare nel tempo le opere d'arte e per questo si ritiene indispensabile compiere studi preventivi, motivare gli interventi scelti e redigere un giornale nel corso delle opere, cui farà seguito una relazione che documenterà tutte le fasi, prima, durante e dopo i lavori. Dovranno essere documentate anche le indagini svolte con il supporto di analisi specifiche, come quelle di tipo chimico, fisico, microbiologico, ecc..

Il ricorso a nuovi materiali a nuove tecniche di restauro, anche nella nuova Carta, sono ammessi solo se autorizzati dal Ministero per i Beni Culturali e Ambientali con parere

favorevole dell'Istituto Centrale del Restauro, che sarà altresì chiamato a segnalare metodi obsoleti o nocivi e a dare suggerimenti.

Tutti i provvedimenti che sono presi per tutelare le opere d'arte dall'inquinamento o dalle variazioni climatiche devono sempre rispettare materiali e colori. Mentre le metodologie specifiche per la conservazione e il restauro di opere monumentali, centri storici, scavi, opere di pittura, scultura, beni archivistici sono descritte con maggior dettaglio negli allegati della Carta che non analizzeremo. Infine, per le questioni sull'attribuzione di competenze, la Carta rimanda la decisione al Ministero per i Beni Culturali e Ambientali.

### 2.3.12 La Carta di Cracovia del 2000

Nel preambolo della Carta di Cracovia è richiamata l'importanza della precedente versione veneziana. Dopo aver riconosciuto l'esistenza, in Europa, di una pluralità di culture e di valori, si conviene che il patrimonio culturale debba essere considerato come «*memoria collettiva*» e, in ragione di tale consapevolezza, tutti i beni che sono espressione di un popolo devono essere salvaguardati. L'aspetto che ci sembra innovativo è che alla pluralità sociale siano associati differenti concetti di patrimonio e gli stessi strumenti della salvaguardia sono ritenuti mutevoli. Per questo, i piani di conservazione e i progetti di restauro nella concezione della nuova Carta devono essere aggiornati secondo i più recenti principi.

Nella sezione dedicata a «Scopi e metodi» è meglio precisato che il patrimonio, sia esso costituito da beni architettonici, urbanistici o paesaggistici è il frutto di momenti storici diversi ed è conseguenza di realtà socio-culturali differenti. Lo scopo della Carta è quindi quello di conservare la memoria di tali diversità culturali. I mezzi attraverso i quali può essere attuato tale scopo vanno dal controllo ambientale, alla manutenzione, alla riparazione, arrivando ai veri e propri interventi di restauro e di riqualificazione. La manutenzione e la riparazione devono essere guidate dalla ricerca e dal monitoraggio sull'evoluzione delle scelte intraprese. Il progetto di restauro, invece, è considerato come uno strumento della conservazione. Le scelte tecniche proposte si basano ancora sulla conoscenza dell'oggetto da restaurare; per questo sono indispensabili le indagini statiche e quelle condotte per via grafica, finalizzate alla comprensione storica, artistica e socio-culturale del bene. Il restauro è legato a competenze pluridisciplinari e alla collaborazione di più esperti. Nella nuova Carta è subito esclusa l'ipotesi della ricostruzione in stile, tuttavia per porzioni limitate e sulla base di documenti certi sono ammesse alcune ricostruzioni architettoniche necessarie a rendere utilizzabile il manufatto, mentre, per porzioni più estese dell'edificio, i completamenti devono essere realizzati secondo l'architettura contemporanea. «La ricostruzione di un intero edificio, distrutto per cause belliche o naturali, è ammissibile solo in presenza di eccezionali motivazioni di ordine sociale o culturale, attinenti l'identità di un'intera collettività».

Il successivo tema affrontato riguarda i «Differenti tipi di patrimonio costruito». Il patrimonio archeologico, il primo dell'elenco, oltre a richiedere un'adeguata catalogazione in fase di scavo, deve essere tutelato in relazione al contesto in cui si trova. Anche il materiale archeologico è soggetto al principio del minimo intervento. La loro esposizione al pubblico deve garantire un'adeguata tutela dei beni; per questo sono favorite le moderne tecnologie per la loro presentazione.

Per quanto riguarda, invece, i monumenti del contesto urbano e rurale, l'obiettivo resta sempre quello di salvaguardarne l'integrità degli interni, degli esterni, dei decori e persino degli arredi attraverso appositi progetti di restauro. Le decorazioni architettoniche, le sculture e le opere d'arte sono affrontate distintamente nella Carta, perché richiedono competenze professionali specifiche riguardanti le tecniche decorative antiche. Le città e i villaggi storici costituiscono una parte del territorio e, in quanto tali, vanno tutelati in relazione al contesto. Questo comprende l'edificato, gli spazi aperti e la stessa



popolazione. Per le città è necessario ricorrere a un processo di pianificazione integrata. Gli interventi da mettere in atto in qualunque centro abitato richiedono un rapporto diretto con gli aspetti morfologici, funzionali e strutturali del contesto in cui si collocano. Per questo è importante sottoporre a tutela anche tutti quegli edifici, siti nei centri storici, che, pur non essendo dotati di particolare valore architettonico, sono parte di un organismo urbano di carattere storico. La salvaguardia è finalizzata alla conservazione degli aspetti costruttivi e distributivi, nonché dei materiali, dei colori e dei tratti caratteristici dell'edificato.

Il progetto di restauro, assumendo un'eccezione innovativa, è chiamato a verificare la sostenibilità delle scelte effettuate, in riferimento agli aspetti economici e sociali del territorio. Nel successivo punto è considerato parte del patrimonio anche il paesaggio frutto dell'interazione fra l'uomo e la natura. «L'integrazione tra la conservazione del paesaggio culturale, lo sviluppo sostenibile nelle regioni e località contraddistinte da attività agricole e le caratteristiche naturali richiede la comprensione e la consapevolezza delle relazioni nel tempo»: probabilmente questo è l'aspetto più rilevante che la Carta sottolinea a proposito dell'evoluzione sociale nel contesto naturale. A conclusione di questa parte troviamo alcuni concetti sul ruolo delle tecniche della conservazione e del restauro, che richiedono, secondo il documento, un approccio di tipo multidisciplinare. In questo modo gli interventi predisposti sarebbero più compatibili con quelli originali. Il ricorso ai nuovi materiali deve essere sperimentato e verificato prima del loro impiego in interventi restaurativi, analogamente per l'applicazione di tecniche innovative «*in situ*».

La Carta affronta poi gli aspetti legati alla «Gestione», in cui si fa riferimento alla necessità di valutare il processo di conservazione in relazione ai possibili rischi come il turismo culturale. Non approfondiremo questo e gli altri temi che riguardano «Formazione ed educazione» e «Misure legali», che, per quanto importanti, riprendono concetti già formulati nelle precedenti Carte. Il documento si conclude con alcune definizioni su: patrimonio, monumento, autenticità, identità, conservazione e restauro.

## 2.4 GLI ATTUALI ORIENTAMENTI DEL RESTAURO

Il quadro delineato, analizzando prima il contributo di grandi maestri e riepilogando poi i contenuti delle Carte del Restauro, elaborate fino alle soglie del nuovo millennio, consente a questo punto di individuare le questioni, vecchie e nuove, cui il restauro deve ancora dare delle risposte. Probabilmente, come evidenzia B. P. Torsello<sup>248</sup>, alla domanda «Che cos'è il restauro?» hanno finora dato una vera definizione solo Viollet-le-Duc e Brandi e, aggiungiamo, le Carte del Restauro che si sono via via susseguite. Lo stesso Torsello evidenzia anche che, dopo gli anni Sessanta del Novecento, sono aumentati gli investimenti sul patrimonio culturale, senza che, sotto il profilo teorico, la materia si sia arricchita di nuovi contenuti. Negli anni in cui in Europa è forte l'attenzione per la tutela e la valorizzazione dei beni culturali, «cala un imbarazzante silenzio sui principi e sugli obiettivi culturali che dovrebbero guidare l'azione di tutela»<sup>249</sup>. Tali interventi si sono resi necessari dopo eventi rimasti nella memoria collettiva, come l'alluvione di Firenze del 1966 o il terremoto del Friuli Venezia Giulia del 1976, coinvolgendo teorici di ambiti disciplinari diversi, impegnati a capire soprattutto come restaurare.

<sup>248</sup> B. P. Torsello (da un'idea di), *Che cos'è il restauro*, Marsilio, Venezia, 2005, pp. 9-17.

<sup>249</sup> *Ibid.*, p. 11.



**Fig. 2.12 L'alluvione di Firenze del 4 novembre 1966: (a) Palazzo vecchio (Utente: Archeologo, <[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Alluvione\\_di\\_Firenze\\_01.jpg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Alluvione_di_Firenze_01.jpg)>, 02/07/2014), (b) Basilica di Santa Croce (Utente: Archeologo, <[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Alluvione\\_di\\_Firenze\\_08.jpg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Alluvione_di_Firenze_08.jpg)>, 02/07/014)**

Alla domanda formulata dal Torsello hanno provato a dare una risposta numerosi esperti. Interpretando le definizioni fornite da A. Bellini, G. Carbonara, S. Casiello, R. Cecchi, M. Dezzi Bardeschi, P. Fancelli, P. Marconi, G. Spagnesi Cimbolli e lo stesso B. P. Torsello, sembra abbastanza ricorrente l'idea che gli interventi di restauro debbano garantire la tutela dei beni nel tempo, trasmettendo al futuro ciò che abbiamo ereditato dal passato. Un concetto che richiama quello di sviluppo sostenibile; possiamo, quindi, credere che sostenibilità e restauro siano legati dagli stessi fini. Allora il quesito a cui intendiamo attualmente rispondere è: «Quale sostenibilità per il restauro?»<sup>250</sup>.

Sicuramente il tema può essere affrontato da vari punti di vista; uno di questi è la ricerca di materiali eco-compatibili e sicuri per la salute dell'uomo e dell'ambiente, che possano sostituire i materiali esistenti oppure i prodotti di natura chimica utilizzati nell'ambito del restauro. Per quanto riguarda questi ultimi, i Regolamenti Europei REACH<sup>251</sup> e CLP<sup>252</sup> sono stati elaborati proprio per fornire garanzie sulla sicurezza: con il sistema REACH, le imprese che producono sostanze chimiche sono obbligate a effettuare tutte le prove necessarie a gestire i rischi derivanti dall'impiego di tali sostanze; il secondo Regolamento serve invece ad adeguare la precedente normativa UE al sistema GHS (sistema mondiale armonizzato di classificazione ed etichettatura delle sostanze chimiche), che consente di informare gli utenti, attraverso pittogrammi standard, dei pericoli derivanti dall'impiego di tali sostanze.

Come risposta al messaggio, lanciato dalla normativa europea, nell'ambito del restauro, sono state sperimentate tecniche che riducono o eliminano del tutto l'impiego di prodotti chimici potenzialmente dannosi. Vogliamo ricordare la *dry ice blasting technology*, anche nota come criosabbatura<sup>253</sup>, che sfrutta le proprietà dell'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) allo stato solido per pulire diversi materiali, in sostituzione dei lavaggi chimici o meccanici e

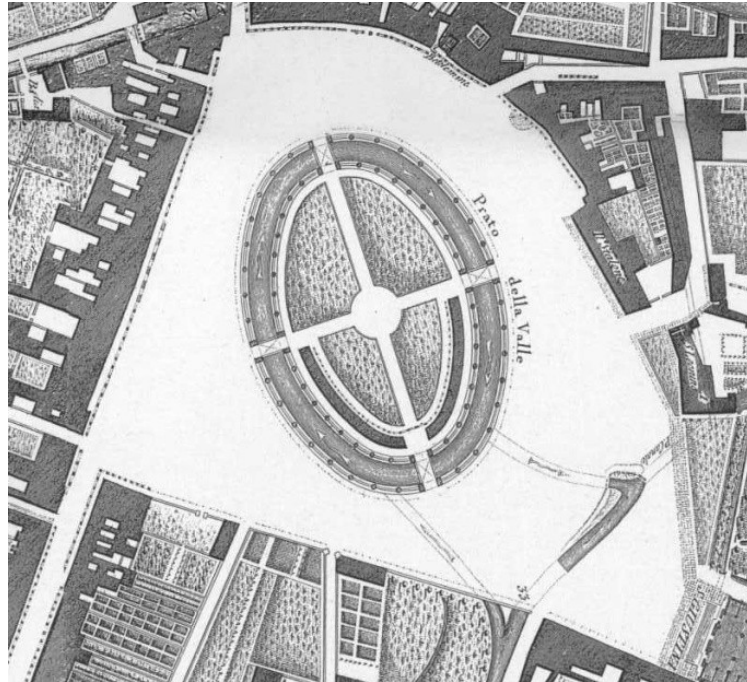
<sup>250</sup> Tema del Convegno "Scienza e Beni culturali" tenutosi a Bressanone dal 1 al 4 luglio 2014.

<sup>251</sup> Regolamento (CE) n. 1907/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 18 dicembre 2006, concernente la registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche (REACH), in <[http://europa.eu/legislation\\_summaries/internal\\_market/single\\_market\\_for\\_goods/chemical\\_products/121282\\_it.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/internal_market/single_market_for_goods/chemical_products/121282_it.htm)>.

<sup>252</sup> Regolamento (CE) n. 1272/2008 CLP - classificazione, etichettatura e imballaggio delle sostanze e delle miscele, in <<https://osha.europa.eu/it/topics/ds/clp-classification-labelling-and-packaging-of-substances-and-mixtures>>.

<sup>253</sup> G. Barbaro, *Dry ice blasting technology, o criosabbatura: quando la CO2 diventa una risorsa*, in <<http://www.architetturaecosostenibile.it/architettura/criteri-progettuali/dry-ice-blasting>>.

degli idrolavaggi, che rilasciano, invece, umidità. In questo modo è possibile rimuovere dalle superfici di oggetti monumentali le patine dovute allo smog e alla fuliggine, ma anche quelle organiche dovute alla crescita di licheni, oppure le vernici e le resine che possono aver nascosto opere di pregio. Sembra che tale tecnica sia stata applicata efficacemente per pulire lastre di pietra d'Istria e trachite a Venezia, la fontana monumentale a Prato della Valle, Padova, e delle tegole in cotto provenienti da La Plata, Argentina<sup>254</sup>, tuttavia, nell'applicazione della criosabbatura è molto importante determinare la pressione di erogazione del getto di ghiaccio secco e la distanza dal materiale da trattare, per evitare che la pulitura deteriori gli strati superficiali dei materiali.



**Fig. 2.13 Prato della Valle - Particolare tratto dalla pianta di G. Valle (Autore: Giovanni Valle, <[http://it.m.wikipedia.org/wiki/File:Pianta\\_Valle\\_Particolare\\_Prato.jpg](http://it.m.wikipedia.org/wiki/File:Pianta_Valle_Particolare_Prato.jpg)>, 30/06/2014)**

La valutazione dell'eco-sostenibilità dei materiali edili è stata in parte intrapresa da più di un ventennio, ancora una volta, attraverso le normative europee. In particolare, il Regolamento CEE 880/92 (sostituito dal Regolamento CE 1980/2000, aggiornato dal Regolamento UE 66/2010, quest'ultimo modificato nell'allegato III dal Regolamento UE 782/2013) ha introdotto il noto sistema Ecolabel, secondo cui i materiali, non solo quelli impiegati nelle costruzioni, devono essere contraddistinti da un marchio indicante la loro qualità ecologica, con riferimento all'intero ciclo di vita del prodotto (LCA), quindi dalla sua produzione, all'utilizzo, fino alla fase di smaltimento.

L'applicazione del sistema Ecolabel al settore edile è stata finora limitata soltanto a due categorie di prodotti: le vernici per interni, per cui trova applicazione la norma 2002/739/CE, e le coperture dure per pavimenti, come quelle in ceramica, cui si riferisce la norma 2002/272/CE, in seguito aggiornata da altre disposizioni comunitarie. I progettisti non hanno pertanto strumenti che consentano di attribuire ai materiali scelti un certo livello di sostenibilità ambientale. A oggi, gli strumenti utili a guidare l'individuazione di un materiale più eco-compatibile sono due: la corretta interpretazione delle schede tecniche che descrivono le caratteristiche di ogni materiale e il riferimento alle disposizioni europee. Nel primo caso si tratterà di fare delle osservazioni qualitative sul prodotto; ad

<sup>254</sup> U. Casellato, M. Favaro, *La criosabbatura per la pulitura di superfici dell'edilizia storica*, in A. Ferrari, A. P. Vigato, *Spazio tecnologico della ricerca. Ricognizione delle tecnologie per il patrimonio culturale*, Editrice Uni Service, Trento, 2007, pp. 91-92.

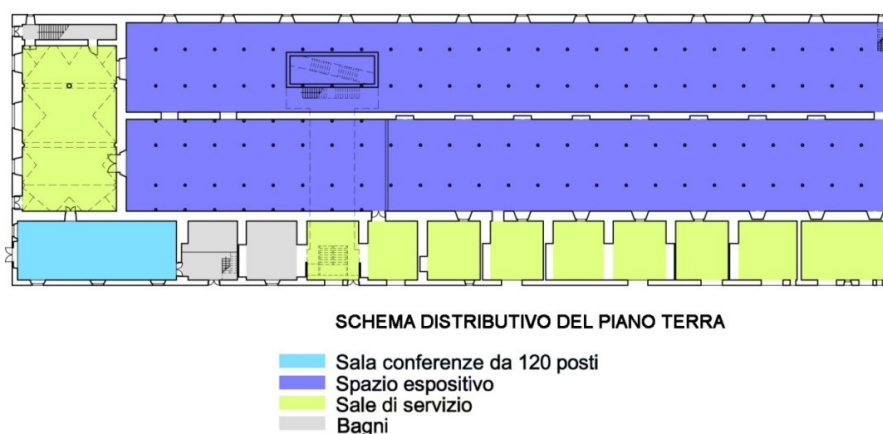
Si veda anche: *La criosabbatura per la pulitura di superfici dell'edilizia storica*, in <<http://www.cultura-territorio.cnr.it/km/act/act.00181>>.

esempio, nella scelta di una vernice sarà molto utile valutare il tipo di solvente presente o le emissioni di sostanze organiche volatili (SOV). Nel secondo caso bisognerà accogliere gli indirizzi finora dettati dalla Direttiva europea CEE 89/106, che aveva il merito di aver introdotto, accanto a requisiti quali la resistenza meccanica dei materiali o la capacità di isolamento termico, anche quelli relativi alla salute, all'igiene e all'ambiente. Tale direttiva è stata recentemente abrogata e sostituita dal Regolamento dei Prodotti da Costruzione CPR 305/2011, in vigore dal 1° luglio 2013.

Le nuove disposizioni fissano le condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione nell'Unione Europea, ma ribadiscono ancora, fra i «Requisiti di base delle opere di costruzione», la necessità che queste rispondano a requisiti meccanici e di stabilità, che siano sicure in caso di incendio, che siano garantiti igiene, salute e ambiente, che le opere da costruzione siano sicure e accessibili nell'uso, che queste siano protette dal rumore, che si dimostrino efficienti nel risparmio energetico e nella ritenzione del calore e, infine, che siano «concepite, realizzate e demolite in modo che l'uso delle risorse naturali sia sostenibile».

Anche i progetti di restauro dovranno confrontarsi con le nuove disposizioni e, in particolare, con la necessità di integrare negli edifici storici sistemi che riducano i consumi energetici e con la necessità di effettuare interventi in grado di accrescere la sicurezza dell'edificio, soprattutto nei confronti delle azioni sismiche. Si tratta di affrontare una sfida che da un lato ricerca la tutela del bene e dall'altro cerca di migliorare le prestazioni del manufatto, sia quelle di tipo energetico sia quelle di tipo strutturale. Nell'ambito del consolidamento strutturale degli edifici storici, ci sono interessanti esempi di restauro che, senza alterare l'aspetto formale delle antiche fabbriche, ma ricorrendo a materiali e tecniche innovative e tradizionali, hanno migliorato notevolmente le prestazioni strutturali degli edifici e possono essere di esempio per risolvere, attraverso un approccio simile, anche le questioni energetiche.

Ricordiamo, ad esempio, il consolidamento delle scuderie della Villa medicea di Poggio a Caiano, Firenze, conclusosi nell'ottobre del 2000, progettato da C. Blasi e S. Carfagni<sup>255</sup>. L'edificio è un fabbricato di due piani, di forma rettangolare abbastanza allungata, progettato da Niccolò Tribolo e completato nel 1548<sup>256</sup>.



**Fig. 2.14 Analisi funzionale delle scuderie della Villa medicea di Poggio a Caiano, Firenze (piante e sezioni dell'edificio in Rocchi, 2003)**

Il piano terra ospitava una scuderia composta di due ambienti paralleli, divisi da un muro, ciascuno dei quali è costituito da tre navate con volte a crociera poggianti su un totale di cento colonne. Il piano superiore è invece organizzato lungo un corridoio centrale dal quale si accede alle stanze laterali, dove risiedevano le famiglie dei servi. Dal 2009 gli ambienti del piano terra ospitano il Museo Ardengo Soffici, ci sono anche una sala congressi e alcuni uffici, come lo spazio per le informazioni turistiche.

<sup>255</sup> P. Rocchi (a cura di), *Trattato di consolidamento*, Mancosu Editore, Roma, 2003, C44-C48.

<sup>256</sup> *Scuderie medicee*, in <<http://www.comune.poggio-a-caiano.po.it/citta/?act=f&fid=728>>.

L'edificio presentava dissesti di vario tipo, dovuti ai cosiddetti «“meccanismi di collasso del primo modo”», ovvero di ribaltamento; erano state, infatti, riscontrate rotazioni delle colonne del piano terra e dei muri longitudinali perimetrali verso l'esterno, nonché parzializzazioni e fenomeni di schiacciamento dei piedritti. Proprio questi ultimi sono stati consolidati attraverso il ricorso a nuovi materiali, le fibre di carbonio, scelte in sostituzione delle cerchiature di ferro, certamente di maggior impatto visivo e di difficile esecuzione, in relazione alla singolare forma a tronco di piramide rovesciata di quei piedritti. Dopo la rimozione dell'intonaco e la pulitura delle murature, la tecnica utilizzata prevedeva delle «“fasciature”» in tessuto di fibre di carbonio applicate su resina epossidica fresca. L'intervento si è concluso con la posa del nuovo intonaco, in modo da ottenere un risultato visivo identico a quello precedente all'intervento. Nello stesso edificio, per risolvere il problema delle rotazioni delle pareti, è stata invece prevista la realizzazione di cordoli di legno alla sommità delle murature; in pratica, si è preferito ricorrere a una soluzione che non possiamo considerare innovativa, ma che si è dimostrata efficace ed è semplicemente basata sull'impiego di un materiale, il legno, tipico della tradizione costruttiva. Tale tecnica<sup>257</sup> era diffusa soprattutto negli edifici di pregio, non solo in Italia ma anche nei Balcani, ed era uno dei sistemi sviluppati in linea con il principio della *regola dell'arte*.

Nel caso richiamato sono state proposte strategie e scelte differenti. L'impiego dei cordoli di legno può essere considerato un “minimo intervento”, quindi una scelta necessaria a conferire un comportamento scatolare all'edificio, ma anche un ausilio che non ha alterato le caratteristiche del fabbricato e che ne rispetta pienamente le fattezze originarie: una soluzione facilmente individuabile è stata anche una scelta sostenibile. Possiamo pensare che la sostenibilità di un progetto di restauro possa essere espressa proprio attraverso la fattibilità dell'intervento; possiamo credere che questa debba essere frutto di un discorso logico. Il restauro sostenibile persegue i risultati certi, ricerca le soluzioni più efficaci, mentre rifiuta le scelte dagli esiti incerti e quelle che, a fronte di lavori incisivi, alterano le fabbriche originarie senza apportare i benefici auspicati.

Nel restauro delle scuderie della Villa medicea di Poggio a Caiano, il ricorso alle fasciature in fibra di carbonio mostra certamente la volontà di tutelare l'aspetto formale dell'edificio, ma dimostra anche che la sperimentazione di nuove soluzioni può essere utile soprattutto quando i sistemi tradizionali, come le cerchiature di ferro, sono difficilmente realizzabili. L'impiego del nuovo materiale è stato valutato attraverso prove a compressione su provini in muratura, prelevati nelle zone dell'edificio crollate, delle stesse dimensioni del tratto iniziale dei piedritti. Le circostanze hanno indotto i progettisti a ricercare soluzioni specifiche, che consideriamo sostenibili perché dettate dal ragionamento, dal senso di responsabilità verso il fabbricato storico e dalla necessità di superare i limiti dei metodi esistenti, che non per questo devono essere dimenticati. Le cerchiature di ferro sono state, infatti, utilizzate alla base e alla sommità delle colonne in pietra a sezione circolare per contenere la loro dilatazione trasversale. Possiamo pertanto concludere che in un intervento di restauro possono coesistere insieme tecniche e materiali vecchi e nuovi e il ricorso agli uni o agli altri è dettato dalla sapienza e dallo studio di soluzioni mirate e rispondenti alla logica del progetto sostenibile di restauro.

Con riferimento al caso brevemente analizzato, emergono alcune riflessioni sulla necessità di quantificare la sostenibilità di un progetto, anche con riferimento al settore del restauro. Uno studio che, al pari di quello sulla resilienza dei sistemi urbani, impone l'identificazione di indicatori precisi e di criteri di valutazione utili a *pesare* l'importanza che ogni parametro individuato assume nel progetto sostenibile. Abbiamo già indirettamente considerato come possibili indicatori alcuni aspetti che vogliamo sottolineare: l'impostazione teorica assunta come riferimento ideologico nel progetto di restauro; l'individuazione di tecniche e materiali scelti in relazione allo stato del bene; la possibilità di ricorrere a materiali innovativi, precedentemente sperimentati, e che non siano nocivi per la salute dell'uomo e

<sup>257</sup> *Ibid.*, C38.

dell'ambiente; la scelta di soluzioni che attraverso il minimo intervento consentano di ottenere i migliori risultati possibili per il problema presentato; la pianificazione della manutenzione del bene restaurato. Ricordando che per "manutenzione", secondo il Codice dei beni culturali e del paesaggio, D. Lgs. 22 gennaio 2004, n. 42, art. 29, deve intendersi «il complesso delle attività e degli interventi destinati al controllo delle condizioni del bene culturale e al mantenimento dell'integrità, dell'efficienza funzionale e dell'identità del bene e delle sue parti».

## Parte Seconda



### 3. IL RISCHIO SISMICO

#### 3.1 ASPETTI METODOLOGICI

Il tema del rischio diventa di attualità ogni volta che una calamità naturale o antropica colpisce il patrimonio edilizio, e in particolare, i monumenti di valore storico e architettonico. In Italia l'argomento è stato studiato soprattutto dal Dipartimento della Protezione Civile, che ha fornito una definizione del problema. Il rischio può essere considerato come la «possibilità che un fenomeno naturale o indotto dalle attività dell'uomo possa causare effetti dannosi sulla popolazione, gli insediamenti abitativi e produttivi e le infrastrutture, all'interno di una particolare area, in un determinato periodo di tempo»<sup>258</sup>. In relazione alla definizione fornita, è possibile delineare differenti forme di rischio, derivanti da terremoti, maremoti, frane, alluvioni, eruzioni vulcaniche, incendi, emergenze sanitarie, solo per citare i casi più ricorrenti. Nel presente capitolo analizzeremo il rischio sismico e gli aspetti a esso correlati, evidenziando quali sono le metodologie di rilievo dell'edificato attualmente disponibili.

Nello studio del rischio sismico è fondamentale valutare la combinazione dei tre fattori che consentono la determinazione del rischio medesimo: la pericolosità sismica P (in inglese hazard H), la vulnerabilità sismica V e l'esposizione sismica E.



Fig. 3.1 Definizione di Rischio

Nel caso del terremoto, la pericolosità (o hazard) dipende dalle caratteristiche insite nel territorio, poiché alcune zone sono più soggette a sismi di altre; è un fattore, quindi, non mitigabile. La vulnerabilità indica, invece, la predisposizione dell'edificato a subire un danneggiamento; tanto più il suo valore è elevato, tanto maggiori saranno le conseguenze sugli edifici sottoposti all'evento sismico. Infine, l'esposizione rappresenta il numero di beni potenzialmente soggetti al danno economico, culturale e soprattutto legati alla perdita di vite umane. Il cosiddetto *Disaster Risk*<sup>259</sup>, cioè la probabilità che avvengano conseguenze dannose, è relazionata ai fattori citati, rappresentati in Figura 3.1, pertanto, quest'indicatore serve a valutare l'eventuale perdita di vite, oppure il numero dei potenziali feriti, le costruzioni soggette a lesioni, le attività economiche maggiormente a rischio, nonché i danni ambientali derivanti da eventi catastrofici improvvisi. In formule si ha:

<sup>258</sup> Che cos'è il rischio?, in <[http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/che\\_cose.wp?contentId=APP40344](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/che_cose.wp?contentId=APP40344)>.

<sup>259</sup> M. Indirli, *Overview on risk assessment approaches for natural hazards*, Proc. Workshop of EU Project COST Action C26 Urban Habitat under Catastrophic Events, Praga, Repubblica Ceca, 30-31 marzo, 2007.

$$DR = \frac{(H \times V \times E)}{RM}$$

Nell'espressione del *Disaster Risk*, i tre elementi considerati sono rapportati al *Risk Management* o Gestione del Rischio, che è basata su un duplice processo: di comprensione e valutazione dei possibili fattori di rischio e di indirizzo verso le migliori strategie di mitigazione del rischio medesimo. Proprio sul tema della riduzione dei rischi (*Disaster Risk Reduction*) è stata elaborata la campagna delle Nazioni Unite, *Making Cities Resilient*<sup>260</sup>, all'interno della quale, il *Disaster risk management*

*is the systematic process of using administrative directives, organisations, and operational skills and capacities to implement strategies, policies and improved coping capacities to lessen the adverse impacts of hazards and the possibility of disaster. It aims to avoid, lessen or transfer the adverse effects of hazards through activities and measures for prevention, mitigation and preparedness (UNISDR)*<sup>261</sup>.

La gestione del rischio si avvale di precisi standard di riferimento in relazione ai quali valutare se il fattori di rischio considerati sono o no pericolosi e attivare, quindi, opportuni piani di intervento. Come vedremo, questo concetto è alla base della Scala EMS98, che, ad esempio, confrontando gli esiti dei rilievi condotti, con i modelli ideali di danno, classifica gli edifici su una scala di cinque livelli.

In base ai dati della Protezione Civile, l'Italia ha valori medio - alti di pericolosità sismica, con una vulnerabilità abbastanza alta e ha un'esposizione altissima, in relazione al numero considerevole di beni che costituiscono il patrimonio edilizio delle città italiane. Proprio osservazioni come queste hanno alimentato la necessità di effettuare studi sempre più attendibili per la stima finale del rischio. La metodologia d'analisi, pertanto, si basa sulla valutazione dei tre aspetti sopra indicati e sull'interpretazione dei dati ottenuti.

La pericolosità, la vulnerabilità e l'esposizione chiamano in causa ambiti disciplinari differenti: dalla geologia, alla sismologia, all'ingegneria, all'architettura, all'urbanistica, alla storia dell'arte, alle scienze sociali; per questo, varie istituzioni, università ed enti di ricerca hanno condotto studi indirizzati alla migliore comprensione dei tre fattori sopra citati. Tali argomenti negli anni sono stati completati da considerazioni frutto di valutazioni sugli eventi avvenuti e da ulteriori approfondimenti offerti dalle singole discipline.

In definitiva, studiare il rischio sismico equivale a capire quali possono essere le conseguenze che un evento di natura sismica può avere sulla popolazione e sul costruito. Valutazioni di questo tipo sono indispensabili non solo nelle fasi dell'emergenza e della ricostruzione, ma soprattutto nell'elaborazione di piani di mitigazione, in grado di prevenire gli effetti devastanti prodotti da un terremoto. Le analisi pluridisciplinari condotte in tema di rischio sismico hanno molteplici finalità: prima di tutto, di elaborare mappe di pericolosità sismica attendibili a livello nazionale, regionale e locale; quindi, di verificare la stabilità degli edifici e predisporre eventuali interventi di miglioramento o adeguamento sismico; di valutare, inoltre, lo stato delle infrastrutture e degli edifici strategici per l'efficace gestione dell'emergenza e per garantire la possibilità di raggiungere gli insediamenti ovunque sparsi nel territorio; infine, di organizzare al meglio il sistema dei soccorsi, predisponendo aree per la realizzazione temporanea di alloggi, per il soccorso sanitario e per l'approvvigionamento di risorse primarie.

<sup>260</sup> *Making Cities Resilient - My City is Getting Ready!* in <[www.unisdr.org/campaign](http://www.unisdr.org/campaign)>.

<sup>261</sup> "è il processo sistematico di utilizzo di direttive amministrative, di sistemi organizzativi e di competenze e capacità operative per attuare strategie, politiche e migliorare le capacità di reazione per ridurre gli impatti negativi dei rischi e la possibilità di un disastro. Questo processo mira ad evitare, ridurre o trasferire gli effetti negativi dei pericoli attraverso attività e misure di prevenzione, mitigazione e preparazione (UNISDR)".

*UNISDR's Disaster Risk Reduction Terminology* in <<http://www.unisdr.org/terminology>>.

## 3.2 LA PERICOSITA' SISMICA (SEISMIC HAZARD)

di Maurizio Indirli

La classificazione sismica italiana è basata sulla metodologia PSHA (*Probabilistic Seismic Hazard Assessment*)<sup>262</sup>, correntemente utilizzata nelle verifiche ingegneristiche, che descrive la pericolosità sismica in termini probabilistici e considerando un solo parametro, ovvero l'Accelerazione di Picco al Suolo (Peak Ground Acceleration PGA). La mappa di pericolosità sismica (a cura dell'INGV, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, metodologia PSHA) del territorio italiano è riportata in Figura 3.2. Sulla base di recenti studi e delle lezioni apprese in seguito ai grandi terremoti verificatisi nel mondo durante l'ultimo decennio, il metodo PSHA si è rivelato insoddisfacente<sup>263</sup>. In aggiunta, è ormai riconosciuto nella comunità scientifica che le sole stime basate sulla PGA si sono rivelate insufficienti per una progettazione ottimale, in particolare per edifici strategici e infrastrutture, poiché, tra le variabili di progetto antisismico, anche gli spostamenti causati da un terremoto possono giocare un ruolo fondamentale nell'analisi dinamica<sup>264</sup>. Una metodologia più accurata, innovativa e ormai consolidata per la valutazione della pericolosità sismica è rappresentata dalla NDSHA (*Neo-Deterministic Seismic Hazard Assessment*)<sup>265</sup>. Essa consente di elaborare serie temporali complete per gli scenari sismici desiderati, da cui ricavare i valori di picco per lo spostamento al suolo, la velocità e l'accelerazione di progetto<sup>266</sup>, integrando tutta l'informazione disponibile fornita dai database più aggiornati inerenti le tematiche sismologiche, geologiche, geofisiche e geotecniche per il sito oggetto dello studio, e fornendo modellazioni a scale differenti (nazionale, regionale e metropolitana)<sup>267</sup>. Un esempio dell'approccio NDSHA a scala locale per la città di Valparaiso (Cile) si può trovare nel Progetto "MAR VASTO"<sup>268</sup>; la mappa di DGA (Design Ground Acceleration) per l'Italia è riportata in Figura 3.3<sup>269</sup>. I limiti pratici della metodologia PSHA, in particolare per il calcolo strutturale e in generale per la mitigazione del rischio sismico, emergono chiaramente effettuando un confronto con il metodo NDSHA<sup>270</sup>. Quest'ultimo fornisce valori più elevati (e quindi conservativi) per i

<sup>262</sup> D. Giardini, G. Grünthal, K. M. Shedlock, P. Zhang, *The GSHAP global seismic hazard map*, in «Annali di Geofisica», 42, 1999, pp.1225-1230.

<sup>263</sup> M. Indirli, L. A. Kouris, F. Formisano, R. P. Borg, M. Mazzolani, *Seismic damage assessment of unreinforced masonry structures after the Abruzzo 2009 earthquake: the case study of the historic centres of L'Aquila and Castelvecchio Subequo*, in «International Journal of Architectural Heritage», Vol. 7, N. 5, 2013, pp. 536-578;

L. Decanini, F. Mollaioli, G. F. Panza, F. Romanelli, F. Vaccari, *Probabilistic vs deterministic evaluation of seismic hazard and damage earthquake scenarios: a general problem, particularly relevant for seismic isolation*, Proc. 7<sup>th</sup> International Post-Smirt Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control of Vibration of Structures, Assisi, Italia, 2-5 ottobre, 2001;

J. U. Klügel, L. Mualchin, G. F. Panza, *A scenario-based procedure for seismic risk analysis*, in «Engineering Geology», Vol. 88, 2006, pp. 1-22;

J.U. Klügel, *Error inflation in probabilistic seismic hazard analysis*, in «Engineering Geology», 90, 2007, pp. 186-192;

V. Kossobokov, A. Nekrasova, *Global Seismic Hazard Assessment Program Maps Are Misleading*, poster presentation at the AGU Fall Meeting 2010, U13A-0020.

<sup>264</sup> J.J. Bommer, N. A. Abrahamson, *Why do modern probabilistic seismic hazard analyses often lead to increased hazard estimates?*, in «Bulletin of the Seismological Society of America», 9, 2006, pp. 1967-1977.

<sup>265</sup> G. F. Panza, F. Romanelli, F. Vaccari, *Seismic wave propagation in laterally heterogeneous anelastic media: theory and applications to seismic zonation*, in «Advances in Geophysics», vol. 43, Academic Press, San Diego, 2001, pp. 1-95;

E. Zuccolo, F. Vaccari, A. Peresan, A. Dusi, A. Martelli, G. F. Panza, *Neo-deterministic definition of seismic input for residential seismically isolated buildings*, in «Engineering Geology», Vol. 101, 2008, pp. 89-95.

<sup>266</sup> I. A. Parvez., F. Romanelli, G. F., Panza, *Long period ground motion at bedrock level in Delhi city from Himalayan earthquake scenarios*, in «Pure and Appl. Geophysics», 168, 3-4, 2010, pp. 409-477;

I. Paskaleva, M. Kouteva, F. Vaccari, G. F. Panza, *Some Contributions of the Neo-Deterministic Seismic Hazard Assessment Approach to the Earthquake Risk Assessment for the City of Sofia*, in «Pure and Appl. Geophysics», 168, 3-4, 2010, pp. 521-541.

<sup>267</sup> A. Peresan, E. Zuccolo, F. Vaccari, A. Gorshkov, G. F. Panza, *Neodeterministic seismic hazard and pattern recognition techniques: time dependent scenarios for North-Eastern Italy*, in «Pure and Applied Geophysics», 168, 3-4, 2010, pp. 583-607.

<sup>268</sup> M. Indirli, H. Razafindrakoto, F. Romanelli, C. Puglisi, L. Lanzoni, E. Milani, M. Munari, S. Apablaza, *Hazard Evaluation in Valparaiso: the MAR VASTO Project*, in «Pure and Applied Geophysics», 168, 3-4, 2010, 543-582.

<sup>269</sup> E. Zuccolo, F. Vaccari, A. Peresan, G. F. Panza, *Neo-Deterministic and Probabilistic Seismic Hazard Assessments: a Comparison over the Italian Territory*, in G. F. Panza, K. Irikura, M. Kouteva, A. Peresan, Z. Wang, R. Saragoni, *Advanced Seismic Hazard Assessment*, Birkhauser, 2011, pp. 70-73.

<sup>270</sup> E. Zuccolo, F. Vaccari, A. Peresan, A. Dusi, A. Martelli, G. F. Panza, *op. cit.*

principali parametri di progetto, rispetto a quelli forniti dalla PSHA, per le zone a sismicità più elevata. Al contrario, tramite la NDSHA, detti valori sono inferiori per le zone a minor rischio sismico rispetto alla PSHA, che invece li sovrastima.

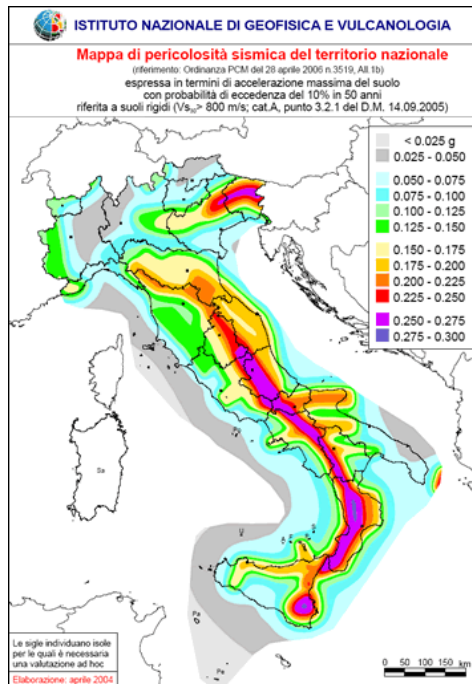


Fig. 3.2 Mappa di pericolosità sismica del territorio italiano (INGV, 2004)

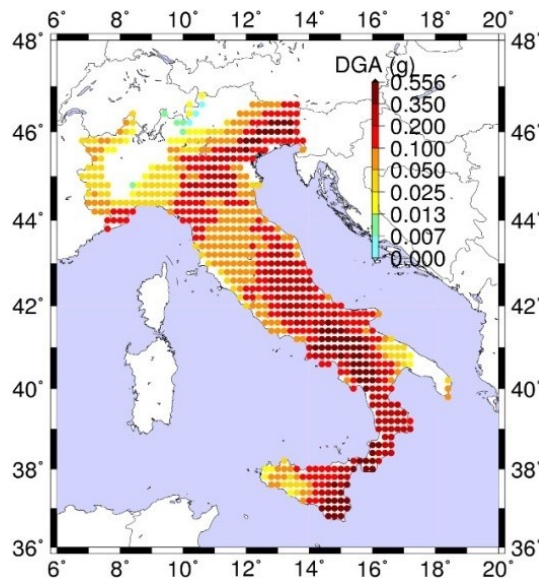
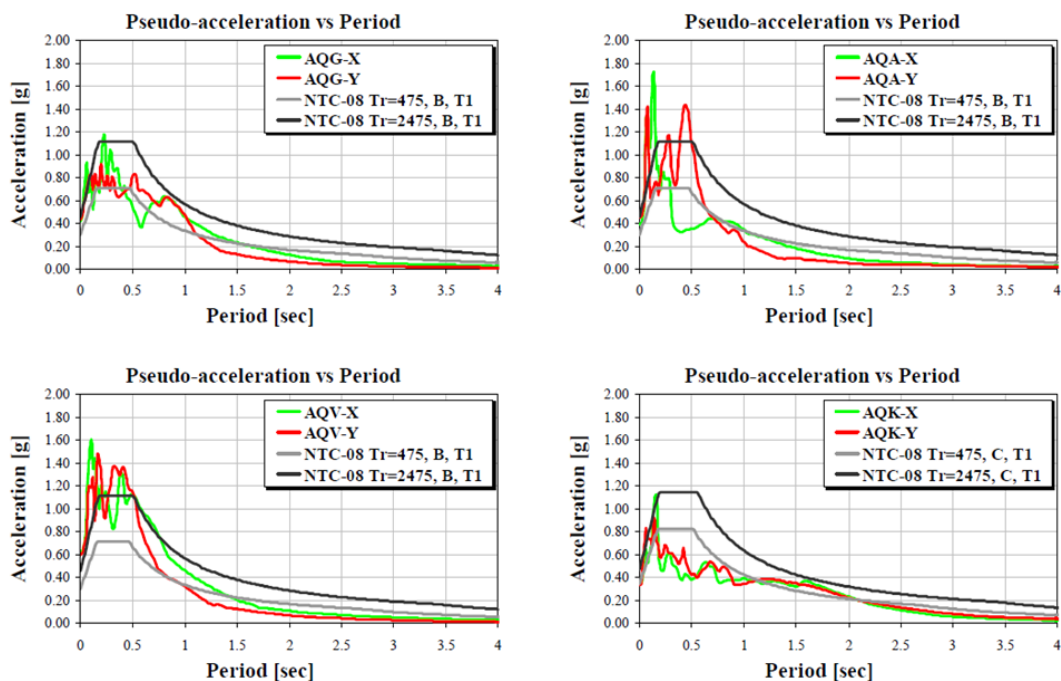


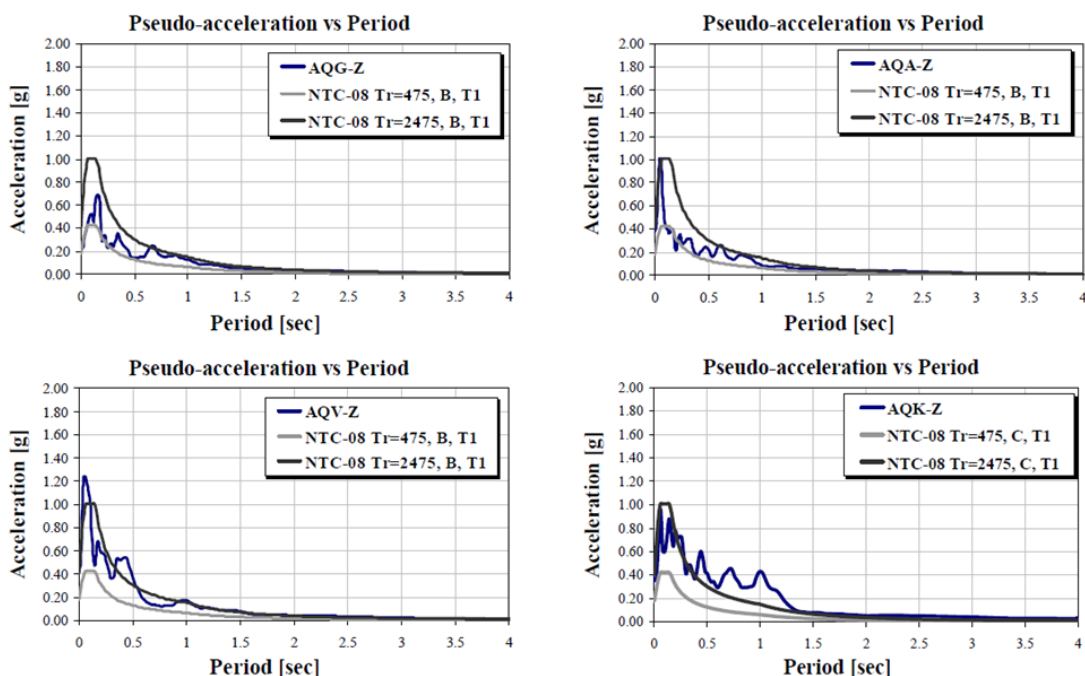
Fig. 3.3 Mappa di DGA (in Zuccolo et al., 2011)

Lo scuotimento sismico atteso, ottenibile tramite una stima probabilistica PSHA per l'evento sismico di riferimento associato alla probabilità di superamento del 10% in 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni, per il quale sono ricavate le mappe sismiche probabilistiche italiane), appare, infatti, fortemente sottostimato di circa un fattore 2, in particolare per i valori più elevati di PGA. Se si considera, invece, come evento di riferimento un terremoto con la probabilità di superamento del 2% in 50 anni, (ovvero periodo di ritorno di 2475 anni) la stima PSHA per aree a forte rischio sismico diventa comparabile con lo scenario ottenuto tramite NDSHA; ma, in questo caso, la PSHA sopravvaluta fortemente i parametri di progetto per le aree a sismicità bassa. Risulta evidente, quindi, come il metodo probabilistico PSHA sia una coperta troppo corta per una

corretta valutazione della pericolosità sismica. Per tale ragione, la classificazione sismica italiana deve essere ulteriormente aggiornata, tenendo conto dei recenti importanti progressi scientifici. Quanto appena detto si è verificato anche per l'evento sismico abruzzese del 6 Aprile 2009, e ciò è evidente analizzando gli spettri di pseudo-accelerazione (componenti orizzontali e verticali), con smorzamento al 5%, dello shock principale<sup>271</sup> (Figg. 3.4 e 3.5), se paragonati con le attuali norme antisismiche NTC.



**Fig. 3.4** Paragone tra gli spettri in pseudo - accelerazione dello shock principale del terremoto de L'Aquila e la normativa antisismica NTC 2008; componenti orizzontali (in Masi e Chiauzzi, 2009)



**Fig. 3.5** Paragone tra gli spettri in pseudo - accelerazione dello shock principale del terremoto de L'Aquila e la normativa antisismica NTC 2008; componenti verticali (in Masi e Chiauzzi, 2009)

<sup>271</sup> A. Masi, L. Chiauzzi, *Preliminary analyses on the main shock of the Aquilano earthquake occurred on April 06, 2009*, Rapporto ReLUIS 2009; M. Indirli, L. A. Kouris, F. Formisano, R. P. Borg, M. Mazzolani, *op. cit.*



La Figura 3.6 mostra, inoltre, l'evoluzione degli spettri di progetto per l'Abruzzo dal 1975 al 2008<sup>272</sup>. Se si considera un periodo di ritorno  $Tr=475$  anni, le norme NTC generalmente sottostimano i valori spettrali dei segnali ottenuti dalle registrazioni. Al contrario, per un periodo di ritorno  $Tr=2475$  anni, gli spettri di risposta in pseudo-accelerazione forniti dalle NTC sono comparabili con gli accelerogrammi registrati, in particolare con i valori più elevati delle stazioni AQA e AQV. In aggiunta, nella direzione verticale, le norme NTC 2008 ancora una volta in generale sottostimano i valori spettrali ottenuti dalle registrazioni per  $Tr=475$  anni<sup>273</sup>.

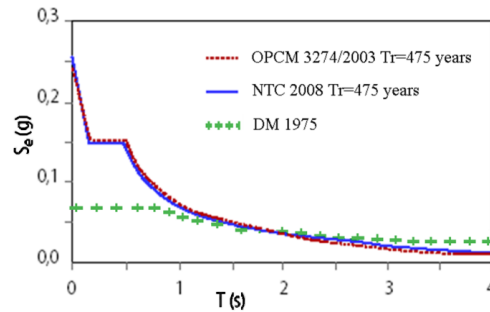


Fig. 3.6 Evoluzione degli spettri di progetto per l'Abruzzo dal 1975 al 2008 (Rapporto ENEA, 2009)

Una comparazione di grande interesse riguarda le mappe ottenute dall'applicazione dei due differenti approcci PSHA e NDSHA. Il confronto viene effettuato sulla base dell'intensità macrosismica MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg), una quantità che indica l'impatto che un terremoto produce sulle persone, sugli edifici e sull'ambiente. Le differenze (Fig. 3.7), rappresentate all'interno di una mappa, possono essere apprezzate su una griglia di punti comune per i due metodi. La simbologia di confronto prevede triangoli rivolti verso l'alto per indicare le differenze positive fra i metodi e triangoli rivolti verso il basso per indicare quelle negative. La mappa PSHA fornisce valori più grandi dell'equivalente mappa NDSHA in 324 punti su 469, viceversa 145 punti hanno valori superiori nella mappa NDSHA, in corrispondenza delle aree nelle quali sono stati osservati forti eventi sismici, come il Friuli o l'Appennino Centrale.

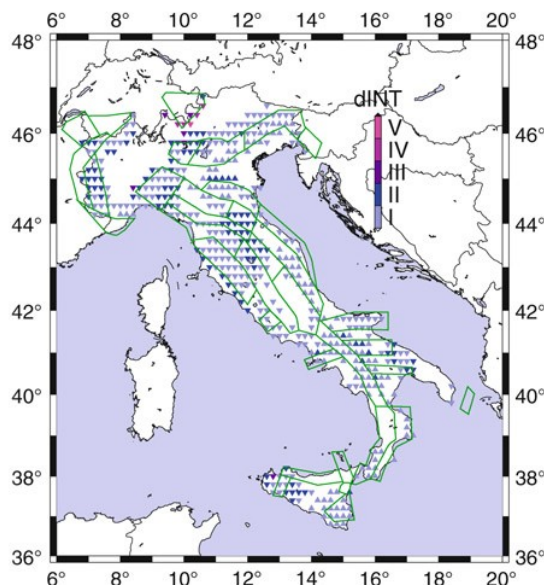


Fig. 3.7 Differenze d'intensità fra le mappe NDSHA e PSHA (in Zuccolo et al., 2011)

<sup>272</sup> Rapporto ENEA, in «Energia, Ambiente e Innovazione», 2009.

<sup>273</sup> *Ibid.*

I. Iervolino, F. De Luca, E. Chioccarelli, M. Dolce, *L'azione sismica registrata durante il main shock del 6 aprile 2009 a L'Aquila e le prestazioni del DM 14.01.2008 V.1*, Rapporto ReLUIS, 2010;

A. Masi, L. Chiauuzi, *op. cit.*

Un'altra interessante ricerca<sup>274</sup> mette a confronto le metodologie PSHA e NDSHA per l'analisi agli stati limite di equilibrio per le statue dei Prigioni di Michelangelo, situate nella Galleria dell'Accademia a Firenze, al fine di valutare la possibilità di un ribaltamento in caso di terremoto. I risultati ottenuti con le due tecniche si sono rivelati molto differenti per quel sito; in particolare, NDSHA: ha tenuto conto in modo accurato degli effetti di sito; i valori NDSHA ottenuti per l'accelerazione si sono rivelati più di tre volte superiori; al contrario, i valori NDSHA in spostamento sono stati significativamente inferiori rispetto a quelli ottenuti con PSHA. Ciò è estremamente importante per valutare interventi di protezione delle statue, in particolare se effettuati con la tecnica dell'isolamento sismico, per cui è decisiva una stima affidabile dello spostamento orizzontale di progetto.

### 3.3 LA VULNERABILITA' SISMICA

Con riferimento alla definizione del Dipartimento della Protezione Civile, la vulnerabilità sismica rappresenta la «predisposizione di una costruzione ad essere danneggiata»<sup>275</sup>. La *predisposizione* sta ad indicare, implicitamente, la necessità di conoscere la *costruzione* in esame sotto il profilo tipologico, materico, tecnologico e strutturale, per capire se possiede o no le caratteristiche adatte a fronteggiare l'evento sismico. Sembra evidente che il grado di vulnerabilità sia legato alla *qualità* dell'oggetto edilizio e soprattutto, dato che gli edifici storici sono realizzati per lo più in muratura, il loro livello di vulnerabilità aumenta se costruiti difformemente dalla *regola dell'arte*.

Antonino Giuffrè (1933 - 1997) aveva evidenziato come il peso economico necessario per la riabilitazione dei centri storici danneggiati avesse portato in primo piano il problema della previsione dei possibili danni sismici tanto da affermare:

*L'analisi di vulnerabilità è uno studio di previsione.*

*Con riferimento ad un oggetto ben individuato, che sia un particolare edificio, o un centro urbano, o un impianto industriale, si cerca una risposta alla domanda: con che probabilità una certa categoria di danno può essere prodotta da un evento sismico?*

*E' evidente che per rispondere a questa domanda è necessario sia esaminare con che probabilità un terremoto può colpire il sito, sia con che probabilità tale terremoto possa produrre il danno ipotizzato*<sup>276</sup>.

Egli supponeva che la probabilità che un terremoto potesse verificarsi in un dato sito, dovesse essere studiata attraverso i metodi della statistica, applicati ai dati conservati nei cataloghi sulla sismicità. La probabilità che il terremoto possa produrre danni, invece, può essere valutata attraverso un metodo definito *sperimentale*, perché basato sull'esame dei danneggiamenti prodotti dai terremoti precedenti. Questi, secondo l'ingegnere messinese, possono essere rilevati ricorrendo alle metodologie schedografiche, di seguito illustrate, e in particolare rimanda alle schede GNDT. La successiva applicazione dei metodi statistici ai risultati ottenuti fornirebbe l'informazione probabilistica richiesta. Infine, gli esiti di tali studi potrebbero essere ancora applicati nelle analisi costi-benefici, per capire se è economicamente più vantaggioso investire prima dell'evento sismico atteso, così da abbassare il livello di rischio del costruito, oppure se si è disposti a pagarne dopo le conseguenze. Lo stesso Giuffrè aveva evidenziato come il ragionamento potesse

---

<sup>274</sup> C. Negro, R. Vitaliani, A. Saetta, L. Berto, G. F. Panza, F. Vaccari, A. Martelli, M. Indirli, *Comparison of seismic hazard assessment procedures and equilibrium limit state analysis for the Prigioni statues of Michelangelo*, Proc. SE-50 EEE (Skopje Earthquake 50 Years of European Earthquake Engineering) Conference, Skopje, Former Republic of Macedonia, 29 - 31 maggio 2013.

<sup>275</sup> Dipartimento della Protezione Civile, *Descrizione del rischio sismico*, in <[http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/descrizione\\_sismico.wp?pagtab=2](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/descrizione_sismico.wp?pagtab=2)>.

<sup>276</sup> A. Giuffrè, *Restauro e sicurezza dei centri urbani e degli edifici storici in zona sismica: proposte per una regolamentazione degli interventi*, in A. Giuffrè, *Monumenti e terremoti. Aspetti statici del restauro*, Multigrafica Editrice, Roma, 1988, pp. 27-28.



difficilmente trovare applicazione ai beni culturali, la cui perdita sarebbe non quantificabile economicamente e, aggiungiamo, non lo sarebbe neanche in termini culturali e storici. Inoltre, lo studio probabilistico presenta diversi limiti: il primo è dovuto all'incertezza del periodo di ritorno da prendere in considerazione, come abbiamo già visto nel paragrafo precedente; il secondo problema riguarda le schede di rilevamento dei danni, accusate di non rappresentare «La variabilità dei meccanismi resistenti delle costruzioni sull'intero territorio nazionale»; il terzo aspetto riguarda il costo dei consolidamenti necessari, che è relazionato alle tecniche utilizzate e non può essere stabilito a priori. Per risolvere tali difficoltà, secondo Giuffrè, occorrerebbe migliorare il metodo statistico attraverso la sua «“personalizzazione”». Lo stesso metodo statistico viene considerato anche storico, perché basato sulla probabilità che i futuri terremoti derivino «dalla proiezione degli eventi passati registrati nelle cronache storiche». Il metodo statistico, tuttavia, «pretende di superare la dimensione storica, generalizzandone l'insegnamento, neutralizzando il caso particolare con l'operazione di media statistica nella convinzione che così si elidano le opposte accidentalità a vantaggio della legge sostanziale che governa il fenomeno».

Giuffrè aveva inoltre distinto lo studio della vulnerabilità urbanistica da quello della vulnerabilità strutturale<sup>277</sup>. Nel primo caso l'attenzione è rivolta all'organizzazione urbana, in particolare ai punti di accesso dei centri abitati e alle strade, che, oltre ad essere degli assi urbani, rappresentano anche delle vie di esodo nelle situazioni d'emergenza. Questo motiva l'importanza che riveste lo studio delle percorrenze e la dislocazione dei parcheggi all'interno del tessuto abitativo. I tracciati stradali «devono essere tenuti liberi evitando che vengano usati come parcheggio», in sostanza, la cattiva gestione degli spazi aperti e della viabilità sono annoverati fra i fattori di vulnerabilità urbana e richiedono non solo un attento studio, ma anche adeguate misure di progettazione. «Tale problema in Italia è spesso drammatico, e non può essere risolto senza interventi pesanti, e di fatto non è ancora seriamente affrontato. In via teorica esso può essere associato ai progetti di rivitalizzazione dei centri storici che in ogni caso devono prevedere la realizzazione di miglioramenti alla viabilità». È significativo l'interesse rivolto non solo ai percorsi interni al contesto urbano, ma anche a quelli esterni ad esso, legati a funzionalità di primaria importanza come la rete ospedaliera. Giuffrè, infatti, aveva compreso il ruolo essenziale degli edifici pubblici, che all'occorrenza possono diventare luoghi di ricovero e, in quanto tali, devono garantire la sicurezza proprio nei momenti più difficili. I vincoli urbanistici, infine, sono chiamati a predisporre le aree più adatte ad accogliere gli eventuali centri d'emergenza.

Per quanto riguarda, invece, l'analisi della vulnerabilità strutturale, nel ragionamento di Giuffrè, questa ha lo scopo di guidare la «lettura strutturale» del costruito per catalogare lo stato dell'edilizia e prevedere opportuni interventi.

*Se l'indagine segue un evento sismico si rileverà con cura quali tipologie strutturali hanno subito danni e in che percentuale, e quali siano rimaste indenni<sup>278</sup>.*

L'esame della vulnerabilità non sembra legato necessariamente alla fase post-sismica, anche se nella realtà tali studi sono iniziati dopo il terremoto nel Friuli del 1976, quando la necessità dominante era quella di capire in che modo intervenire. Nell'occasione, una commissione di tecnici elaborò delle schede che suggerivano, per ogni tipo di danno riportato, l'intervento consigliato. Come evidenziava Giuffrè, tali indicazioni erano state elaborate da tecnici che conoscevano le strutture in cemento armato e nascondevano

<sup>277</sup> *Ibid.*, pp. 29-35.

Il testo è stato scritto per la Giornata dedicata alla protezione sismica sui beni architettonici, dal titolo: *Problemi storici, tecnici e normativi per la conservazione dei centri urbani in zona sismica*, tenutasi a Roma il 29 settembre 1987. Il documento propone una «Carta della prevenzione sismica dei beni architettonici», divisa in 4 articoli: Art. 1 - La sismicità locale, Art. 2 - Aspetti urbanistici della vulnerabilità, Art. 3 - Vulnerabilità strutturale, Art. 4 - Interventi strutturali.

<sup>278</sup> *Ibid.*, p. 31.

«l'intento inconsapevole di trasformare l'edificio murario in una gabbia di cemento armato con tamponature di pietra, da qui il consiglio di inserire in breccia cordoli orizzontali e pilastri verticali e di rifare in cemento armato tutti i solai. In altri casi il modello strutturale era l'edificio a pannelli portanti, ed ecco il consiglio di racchiudere le pareti di muratura entro due lastre di cemento armato». In sostanza, le indicazioni fornite erano basate su soluzioni «intuitive» e non solo dimostravano una scarsa conoscenza delle costruzioni in muratura, ma denotavano anche una scarsa conoscenza tipologica e culturale che ha indotto quei tecnici verso scelte tecniche oggi opinabili. Osservava ancora Giuffrè:

*Se nelle Facoltà di Ingegneria non fosse stata esclusa la storia dell'Architettura, e con essa la storia delle tecniche costruttive, quegli ingegneri avrebbero proposto altri metodi più propri alla natura delle opere sulle quali si doveva intervenire<sup>279</sup>.*

Tali parole, pronunciate da un ingegnere che, oltre ad approfondire lo studio delle murature, ha rivolto grande attenzione anche all'analisi tipologica, sembrano dimostrare come l'integrazione dei saperi, dalle conoscenze architettoniche e urbanistiche a quelle ingegneristiche possa rappresentare la migliore strada negli studi di vulnerabilità che hanno come oggetto i centri abitati e, in particolare, quelli storici. Nelle conclusioni Giuffrè evidenziava:

*a) Per affrontare interventi strutturali sui beni architettonici è necessario utilizzare la più aggiornata cultura tecnica e scientifica, insieme alla cultura architettonica necessaria per affrontare gli aspetti storici del problema.*

*Pertanto è opportuno formare una classe di operatori progettisti che presentino una apertura culturale più vasta e più completa di quanto usualmente non sia quella degli ingegneri e degli architetti.*

*E' utile tener presente, a questo proposito, che le Équipes di specialisti non possono dare buoni risultati se ciascuno di essi non possieda competenza di base nei settori degli altri<sup>280</sup>.*

Un'altra definizione altrettanto significativa è stata proposta nel 1986 da H. Sandi<sup>281</sup>, secondo cui la «vulnerabilità sismica di un edificio è un suo carattere comportamentale descritto attraverso una legge causa-effetto in cui la causa è il terremoto e l'effetto è il danno». Proprio tale definizione ha guidato A. Corsanego<sup>282</sup> a esprimere la vulnerabilità attraverso tecniche differenti in termini di risultati ottenuti, di misura usata, di base dati e di classificazione dell'organismo edilizio.

Le tecniche distinte per risultato possono essere: dirette, indirette e convenzionali. Nel primo caso è compiuta una previsione dei danni provocati dal terremoto. Nel secondo caso la tecnica prevede due fasi: la determinazione di un indice di vulnerabilità prima e la correlazione fra terremoto e danni in funzione dell'indice dopo. La tecnica convenzionale, infine, fornisce ancora un indice, alla quale non è associata alcuna previsione di danno. Tale tecnica serve a confrontare edifici diversi che si trovano nella stessa zona sismica.

Per quanto riguarda le tecniche distinte per misura usata, sono state individuate tecniche qualitative e quantitative. Queste ultime sono impiegate spesso, perché forniscono una stima sulla probabilità di danno al contrario di quelle qualitative che, invece, si limitano alla sola descrizione attraverso espressioni come: vulnerabilità bassa, media o alta.

---

<sup>279</sup> *Ibid.*, p. 32.

<sup>280</sup> *Ibid.*, p. 35.

<sup>281</sup> H. Sandi, *Vulnerability and risk analysis for individual structures and systems*, in Proceedings of 8° European Conference on Earthquake Engineering, Lisbona, 1986.

<sup>282</sup> CNR-GNDT, *Rischio sismico di edifici pubblici. Parte I - aspetti metodologici*, Bologna, 1993, pp. 41-50.

Un'altra differenza riguarda le informazioni acquisite; sono infatti possibili: l'elaborazione statistica, eseguita sulla base dei dati rilevati; il calcolo della risposta sismica; il giudizio soggettivo di esperti; l'uso di tecniche ibride, basate sulla combinazione di più fonti.

Un'ultima distinzione prende in esame l'oggetto dell'indagine, pertanto, è possibile distinguere: tecniche tipologiche, tecniche meccanicistiche, tecniche semeiotiche. Le prime tendono a classificare gli edifici esaminati all'interno di classi tipologiche precedentemente definite e, di solito, queste sono dettate dalla conoscenza dei caratteri architettonici e edilizi tipici di una determinata località e di una precisa epoca di appartenenza. La classificazione è effettuata tenendo presente le caratteristiche funzionali, distributive, materiche e quelle costruttive dell'edificio. Inoltre, tale tecnica può essere svolta secondo differenti livelli di approfondimento, utilizzando schizzi e rilievi a vista o rappresentazioni precise, realizzate attraverso l'uso di apposita strumentazione. Le tipologie di rilievo saranno descritte nel successivo paragrafo § 3.5. Si distinguono nettamente dall'analisi tipologica le tecniche meccanicistiche che hanno finalità ingegneristiche; tendono, infatti, a valutare il grado di sicurezza strutturale ricorrendo a modelli teorici. Le ultime tecniche assimilano l'edificio a un organismo e in quanto tale ne è studiata la sintomatologia. Si indaga, pertanto, sullo stato del sistema resistente, sulla qualità dello stesso, sullo stato di degrado verificato. A ciascun indicatore è attribuito un livello, l'ordine progressivo indica l'aumento della vulnerabilità edilizia. Tale tecnica fornisce varie informazioni sull'edificato e l'attendibilità dei risultati ottenuti dipende non solo dall'accuratezza dell'indagine svolta, ma anche dall'effettiva relazione fra i livelli e i dati sismici attesi.

La scelta dell'una o dell'altra tecnica, o la combinazione fra queste, è legata alle finalità dell'analisi svolta. La tendenza prevalente è quella di ricorrere a informazioni ottenute dall'applicazione di tecniche differenti per ridurre le incertezze nella stima della vulnerabilità, che è considerata fondamentale sia nelle analisi di rischio sismico, sia nella determinazione di scenari di danno per eventi di differente intensità. Proprio in conformità a tali criteri, sono nate le metodologie schedografiche, che rilevano lo stato del costruito, valutando aspetti diversi. Le schede sono state elaborate dopo eventi sismici memorabili, che hanno mostrato la necessità di censire lo stato del costruito, per definire le misure d'intervento e le strategie più idonee.

Le condizioni di vulnerabilità degli edifici possono essere descritte attraverso funzioni di fragilità, che rappresentano la probabilità, per una struttura, di raggiungere o di eccedere prefissati livelli di danno strutturale e non strutturale. Esistono vari modelli per stimare le funzioni di fragilità, che sono stati raggruppati in quattro categorie<sup>283</sup>: empirici, basati su opinioni di esperti, analitici e ibridi.

I metodi empirici ricorrono ai dati osservati, acquisiti attraverso i rilievi post-sismici oppure estratti da fonti statistiche sui danneggiamenti prodotti dai passati terremoti. Le Matrici di Probabilità di Danno (DPM) che, data l'intensità macrosismica e definite le classi di vulnerabilità, indicano la probabilità che si verifichino differenti gradi di danno, sono annoverate proprio fra i metodi empirici. Le curve di fragilità ottenute con tali metodi, che forniscono il valore medio del danno delle costruzioni in funzione di un parametro sismologico, possono risentire dell'incompletezza e della carenza informativa: gli edifici non danneggiati potrebbero non essere rilevati e considerati nelle funzioni di fragilità, così come gli errori presenti nelle schede di rilievo potrebbero ridurre le informazioni dei database. Le curve, inoltre, sono riferite a specifiche aree e spesso risulta incerto il livello di scuotimento del suolo cui quegli edifici sono stati sottoposti.

Le curve di fragilità derivate dalle opinioni di esperti dipendono, invece, dai giudizi e dalle conoscenze sui differenti tipi di strutture e del livello di scuotimento del suolo. Rispetto alla metodologia empirica, quella basata sulle opinioni degli esperti non è condizionata dalla quantità e dalla qualità dei dati raccolti, ma è influenzata dall'esperienza dell'esperto.

<sup>283</sup> Syner-G project, Work Package 3, D3.2 - *Fragility functions for common masonry building types in Europe*, marzo 2011, pp. 5-6, in <[http://www.vce.at/SYNER-G/pdf/deliverables/D3.2\\_Syner-G\\_MASONRY\\_final.pdf](http://www.vce.at/SYNER-G/pdf/deliverables/D3.2_Syner-G_MASONRY_final.pdf)>.

Nei metodi analitici si utilizzano dei modelli strutturali che, al variare dell'intensità sismica, simulano le conseguenze dell'evento. I modelli analitici potrebbero essere soggetti a errori computazionali; per questo, sono spesso utilizzati dei modelli semplificati, quindi i risultati dell'analisi dipendono dalla modellazione degli elementi strutturali e non strutturali.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni hanno diviso i *Metodi di analisi e criteri di verifica* in: lineare o non lineare; dinamica o statica. La norma, precisamente, distingue l'«analisi lineare dinamica o statica» dall'«analisi non lineare statica o dinamica»; le metodologie sono definite come segue:

*L'analisi dinamica lineare consiste:*

- *nella determinazione dei modi di vibrare della costruzione (analisi modale),*
- *nel calcolo degli effetti dell'azione sismica, rappresentata dallo spettro di risposta di progetto, per ciascuno dei modi di vibrare individuati,*
- *nella combinazione di questi effetti.*

[...]

*L'analisi statica lineare consiste nell'applicazione di forze statiche equivalenti alle forze d'inerzia indotte dall'azione sismica e può essere effettuata per costruzioni che rispettino i requisiti specifici riportati nei paragrafi successivi, a condizione che il periodo del modo di vibrare principale nella direzione in esame (T1) non superi 2,5 TC o TD e che la costruzione sia regolare in altezza<sup>284</sup>.*

[...]

*L'analisi non lineare statica consiste nell'applicare alla struttura i carichi gravitazionali e, per la direzione considerata dell'azione sismica, un sistema di forze orizzontali distribuite, ad ogni livello della costruzione, proporzionalmente alle forze d'inerzia ed aventi risultante (taglio alla base) Fb. Tali forze sono scalate in modo da far crescere monotonamente, sia in direzione positiva che negativa e fino al raggiungimento delle condizioni di collasso locale o globale, lo spostamento orizzontale dc di un punto di controllo coincidente con il centro di massa dell'ultimo livello della costruzione (sono esclusi eventuali torrini). Il diagramma Fb - dc rappresenta la curva di capacità della struttura.*

[...]

*L'analisi non lineare dinamica consiste nel calcolo della risposta sismica della struttura mediante integrazione delle equazioni del moto, utilizzando un modello non lineare della struttura e gli accelerogrammi definiti al § 3.2.3.6. Essa ha lo scopo di valutare il comportamento dinamico della struttura in campo non lineare, consentendo il confronto tra duttilità richiesta e duttilità disponibile, nonché di verificare l'integrità degli elementi strutturali nei confronti di possibili comportamenti fragili.*

*L'analisi dinamica non lineare deve essere confrontata con una analisi modale con spettro di risposta di progetto, al fine di controllare le differenze in termini di sollecitazioni globali alla base delle strutture<sup>285</sup>.*

Infine, nei metodi ibridi le curve di fragilità sono ottenute dalla combinazione di metodi differenti. Spesso si adotta questo approccio per compensare l'insufficienza di dati,

---

<sup>284</sup> Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, par. 7.3.3.

<sup>285</sup> Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, par. 7.3.4.

oppure per superare le difficoltà connesse alla modellazione strutturale, oppure per rispondere più efficacemente alla soggettività dei giudizi degli esperti.

I modelli di valutazione della vulnerabilità sono stati anche definiti, da altri autori<sup>286</sup>, come approccio macrosismico e meccanico. Tale distinzione, in effetti, è analoga a quella fra modello empirico e analitico. L'approccio macrosismico è basato sulla vulnerabilità osservata, a seguito dei rilievi eseguiti su diverse classi di edifici. Il risultato finale è rappresentato da una curva di vulnerabilità che correla l'intensità a un istogramma di danno  $D_K$  ( $K = 0, 1, 2, 3, 4, 5$ ), espresso dal danno medio e da una distribuzione probabilistica. La curva di vulnerabilità che si ottiene è definita da due parametri: l'indice di vulnerabilità e un coefficiente di duttilità, da valutare in base ai dati disponibili sull'edificio. L'approccio meccanico, invece, si avvale della vulnerabilità osservata per validare i risultati ottenuti attraverso la modellazione delle strutture. Fra i modelli di vulnerabilità meccanica sono noti il metodo del Capacity Spectrum (CSM), il Simplified Pushover - Based Earthquake Loss Assessment (SP-BELA) method e le procedure basate sulla capacità di spostamento (D-BELA)<sup>287</sup>. Nel primo caso le prestazioni di un edificio sono identificate dal punto d'intersezione fra la curva di capacità di un sistema ad un grado di libertà equivalente, che rappresenta il comportamento non lineare di un edificio, su cui agisce un'azione sismica, e un appropriato spettro ridotto, la curva di domanda. In seguito, con il metodo SP-BELA sono state introdotte analisi pushover semplificate. Nel metodo del Displacement - Based Earthquake Loss Assessment, i periodi associati ai diversi stati limite possono essere valutati dall'intersezione delle curve di capacità, rappresentate in termini di periodo di spostamento con le curve di domanda in spostamento, scalate dai fattori di smorzamento viscoso equivalenti.

I modelli di vulnerabilità possono essere sviluppati a diversi livelli di approfondimento, in relazione alle informazioni disponibili sugli edifici esaminati. Il livello 0 è relazionato ad una conoscenza limitata dei beni in esame. Si effettua un inventario basato sulla tipologia edilizia e si procede a una valutazione approssimata della vulnerabilità, utilizzando uno o entrambi i modelli disponibili (macrosismico/meccanico). Questo livello di conoscenza è utile per avere informazioni preliminari sul rischio sismico del patrimonio monumentale, al fine di pianificare gli interventi di mitigazione. Il livello 1 utilizza un numero maggiore di informazioni sull'edificio: regolarità in pianta e in elevazione, qualità dei materiali, aspetti dimensionali, stato di manutenzione ed eventuali interventi realizzati. L'insieme dei dati può essere ottenuto attraverso rilievi speditivi. Si osserva che, diversamente dal livello precedente, l'indice di vulnerabilità non è stimato per tipologia, ma è determinato per ogni monumento esaminato, così da individuare, all'interno della stessa tipologia, le priorità di intervento. Similmente al livello precedente, le curve di capacità sono dedotte dall'indice di vulnerabilità e non da un modello meccanico. Il livello 2 si basa su un'osservazione appurata dei danni e sulla valutazione dei meccanismi di collasso. I dati rilevati negli anni mostrano che i meccanismi attivati dagli eventi sismici coinvolgono alcune parti della struttura, dette macroelementi. Ad esempio, per una chiesa la facciata oppure l'abside possono mostrare un comportamento del tutto autonomo rispetto al resto del fabbricato. Tale livello di approfondimento, quindi, si basa proprio sulla valutazione dei meccanismi locali, anche se è comunque possibile compiere una valutazione complessiva dell'edificio, considerando i contributi dei diversi macroelementi. L'approccio macrosismico implica, ancora, la determinazione dell'indice di vulnerabilità ricorrendo ad alcuni indicatori. La loro determinazione avviene attraverso la diagnosi dei meccanismi di collasso che interessano

<sup>286</sup> S. Lagomarsino, S. Podestà (CD a cura di), *Inventario e vulnerabilità del patrimonio monumentale dei parchi dell'Italia centro-meridionale e meridionale*, Vol. III - Analisi di vulnerabilità e rischio degli edifici monumentali, INGV/GNDT-Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia / Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, L'Aquila, 2005, pp. 5-20; S. Giovinazzi, S. Lagomarsino, S. Pampanin, *Vulnerability Methods and Damage Scenario for Seismic Risk Analysis as Support to Retrofit Strategies: an European Perspective*, 2006 NZSEE Conference, «Remembering Napier 1931 - Building on 75 Years of Earthquake Engineering in NZ», Napier, Nuova Zelanda, 10-12 marzo 2006, in <<http://www.nzsee.org.nz/db/2006/Paper14.pdf>>.

<sup>287</sup> M. Colombi, B. Borzi, H. Crowley, M. Onida, F. Meroni, R. Pinho, *Deriving vulnerability curves using Italian earthquake damage data*, in «Bulletin of Earthquake Engineering», n. 6, 2008, pp. 485-504.

ciascun macroelemento dell'edificio e attraverso la valutazione di eventuali presidi antisismici presenti. Nell'approccio meccanico, invece, si ricorre a modelli meccanici, rappresentativi dei più probabili meccanismi locali di collasso. In questo caso, trovano applicazione i teoremi dell'analisi limite dell'equilibrio. Comunque, negli studi di vulnerabilità di tipo territoriale non si ha la pretesa di proporre soluzioni di miglioramento sismico, che sono proprie del livello 3, ma si intende conoscere l'entità dell'impatto sismico sul patrimonio edilizio, le priorità di intervento, per la mitigazione del rischio, e le procedure più idonee alla gestione dell'emergenza. Il livello 3 evidentemente richiede un maggior grado di conoscenza dell'oggetto edilizio, di tipo storico, formale e strutturale, nonché approfondimenti specifici: si pensi alle informazioni di tipo geologico, che possono guidare la progettazione degli interventi più appropriati.

A causa delle diversità nella definizione del danno e nelle metodologie per prevederlo, fino agli anni '90 era difficile confrontare i risultati ottenuti con i diversi metodi e soprattutto era difficile fornire una stima attendibile. Importanti progressi sono dovuti all'introduzione della scala macrosismica europea (EMS98)<sup>288</sup>, proposta nel 1992, aggiornata e utilizzata dal 1998. L'idea di creare una scala di misura univocamente condivisa era nata ben dieci anni prima, quando la Commissione Sismologica Europea decise di aggiornare la scala di Medvedev-Sponheuer-Karnik (MSK).

Nella EMS98 l'intensità è riferita a un luogo specifico: «The concept of intensity revolves around the idea that, for a particular place affected by some earthquake, some level of severity of shaking is typical of what was experienced»<sup>289</sup>. L'intensità dovrebbe essere attribuita ad insediamenti abbastanza ampi da consentire una significativa analisi statistica: «the smallest place should be no smaller than a village, and the largest no larger than a moderately-sized European town. Thus it is reasonable to assign a single intensity value to, say, Piraeus, but not to the whole of modern Athens»<sup>290</sup>. Inoltre sarebbe utile assegnare l'intensità in relazione al livello di omogeneità del territorio; quindi, se una città si estende su un'area caratterizzata da differenti condizioni geologiche, è consigliabile indicare più livelli di intensità. Questi sono in tutto dodici, come nella scala MCS, e sono legati alla percezione delle persone e agli effetti prodotti dal terremoto sugli oggetti e sugli edifici. L'intensità sismica non è quindi rilevata strumentalmente, ma è misurata sulla base delle conseguenze materiali prodotte dall'evento.

La nuova scala macrosismica EMS98 valuta il costruito attraverso classi di vulnerabilità e gradi di danno. Per definire il livello di vulnerabilità, la scala divide gli edifici per tipologia strutturale: muratura, cemento armato, acciaio e legno. A ogni gruppo, in relazione a materiali e tecniche costruttive, può essere attribuita una diversa classe di vulnerabilità, decrescente dalla A alla F, di cui le prime tre rappresentano la resistenza di una tipica casa in adobe, di un edificio in laterizio e di una struttura in cemento armato. Le classi D ed E indicano una diminuzione della vulnerabilità dovuta ad una migliore «earthquake resistant design (ERD)»<sup>291</sup>. Infine, la classe F è rappresentata proprio dal gruppo degli edifici realizzati sulla base dei principi antisismici (Fig. 3.8). La classificazione del danno, invece, si basa su cinque livelli: leggero, moderato, grave, molto grave e distruttivo (Fig. 3.8). L'appartenenza all'una o all'altra classe dipende dal livello di danno riscontrato nell'analisi dell'edificio.

---

<sup>288</sup> G. Grünthal, *European Macroseismic Scale 1998*, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxembourg, 1998, pp. 10-13.

<sup>289</sup> «Il concetto di intensità ruota attorno all'idea che, per un luogo specifico colpito da qualche terremoto, un certo livello di gravità dello scuotimento è tipico di ciò che è stato provato».

*Ibid.*, p. 26.

<sup>290</sup> «il più piccolo luogo dovrebbe essere non più piccolo di un villaggio, e il più grande non più grande di una città europea di medie dimensioni. Quindi è ragionevole assegnare un singolo valore di intensità, per dire, al Pireo, ma non all'insieme della moderna Atene».

*Ibid.*, p. 26.

<sup>291</sup> «progettazione antisismica».

*Ibid.*, p. 32.

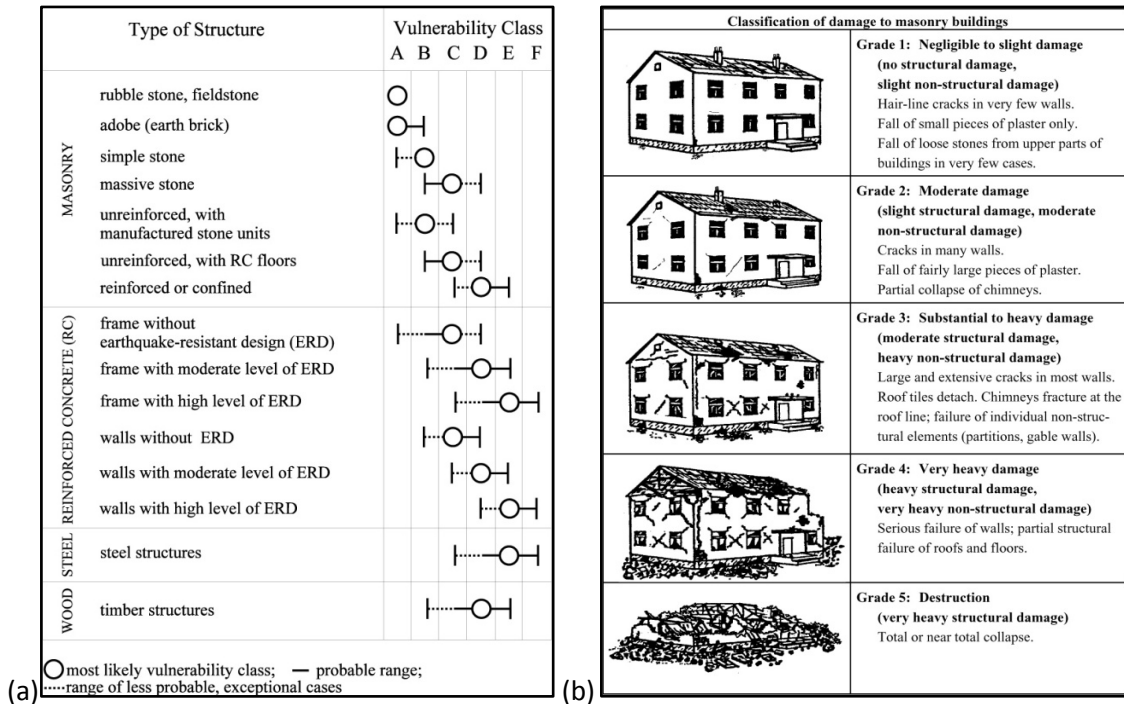


Fig. 3.8 Scala EMS98: (a) classi di vulnerabilità, (b) classificazione del danno (in Grünthal, 1998)

Si precisa che non è semplice stabilire il livello di intensità di un evento sulla base dei dati raccolti. Le difficoltà sono dovute, in alcuni casi, alla carenza di informazioni, in altri, all'incertezza delle descrizioni fornite. Questa situazione si presenta soprattutto quando si tenta di applicare le definizioni della scala EMS98 a terremoti avvenuti in passato e si assegnano dei valori vaghi, ad esempio: minore di 6 oppure compreso fra 6 e 7. Mentre per eventi recenti possono insorgere dubbi di tipo interpretazione sui dati acquisiti:

*Example: a village has 180 (masonry) houses, of which 30 are assessed as vulnerability A and the remainder as B. Of the A class houses, 15 of them suffer damage of grade 1, 10 suffer damage of grade 2, and 5 are undamaged. Of the B class houses, 10 suffer damage of grade 1, 5 suffer damage of grade 2, and the rest are undamaged. If damage alone is considered, there is more than enough to justify intensity 6, but clearly not enough to justify intensity 7 (only few B2, no A3). The intensity is best described as 6<sup>292</sup>.*

### 3.3.1 Le Metodologie Schedografiche

Tali strumenti, ampiamente conosciuti e utilizzati, presentano diversi vantaggi: il primo è rappresentato dalla possibilità di fornire ai tecnici un check list dei dati da rilevare, così da ottenere un'analisi omogenea del patrimonio edilizio; il secondo riguarda la possibilità di informatizzare i dati per fini statistici o documentari; altri vantaggi riguardano la possibilità di impiegare i risultati ottenuti nella formulazione delle proposte d'intervento. Sono diverse le tipologie di schede messe a punto negli anni, frutto dell'esperienza maturata dopo gli eventi sismici che hanno danneggiato interi centri abitati. Di seguito abbiamo raccolto le

<sup>292</sup> "Esempio: un villaggio ha 180 case (in muratura), delle quali 30 sono valutate di vulnerabilità A e le rimanenti B. Delle case in classe A, 15 di queste hanno subito danni di grado 1, 10 hanno subito danni di grado 2, e 5 non sono state danneggiate. Delle case in classe B, 10 hanno subito danni di grado 1, 5 hanno subito danni di grado 2, e la restante parte non è stata danneggiata. Se si considera solo il danno, è più che sufficiente giustificare una intensità 6, ma chiaramente non è abbastanza per giustificare una intensità 7 (solo pochi B2, nessun A3). L'intensità è meglio descritta come 6". *Ibid.*, p. 57.

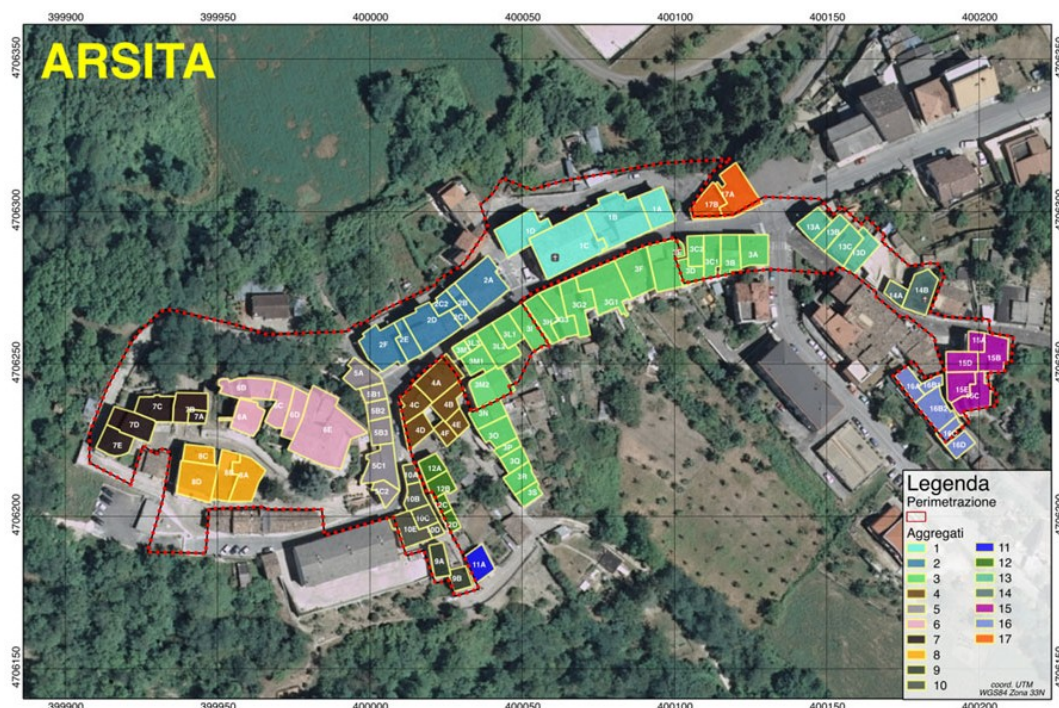


principali forms impiegate in Italia, richiamando l'attenzione anche su proposte provenienti dal mondo accademico, per migliorare la comprensione degli organismi edilizi.

### 3.3.1.1 La Scheda Urbanistico - Architettonica

Nella fase conoscitiva, successiva all'evento sismico, è molto importante condurre un preliminare studio degli aspetti insediativi e tipologici. Nel primo caso sarà analizzata l'organizzazione del tessuto abitativo e degli spazi urbani, mentre, nello studio degli aggregati edilizi, saranno presi in esame i caratteri costruttivi e distributivi degli edifici e i danneggiamenti riscontrati durante le ispezioni. Questa forma di rilievo, che può essere definita *urbanistico - architettonica*, nel caso del Comune di Arsita (TE), un esempio concreto di applicazione del metodo, è stata condotta attraverso una scheda dedicata agli spazi aperti e una rivolta alle singole unità strutturali. In alcuni casi, si pensi agli edifici prospettanti su una piazza, è utile integrare tutte le informazioni acquisite nel rilievo delle singole unità per ricostruire l'evoluzione del tessuto urbano.

Escludendo gli edifici specialistici, come capannoni industriali, strutture sportive o chiese isolate, quelli ordinari sono preliminarmente divisi in unità strutturali e nella maggior parte dei centri storici l'edilizia è costituita da aggregati, ossia insiemi di unità realizzate nel tempo, talvolta in epoche diverse. Anche ad Arsita (TE), dopo la perimetrazione dell'area omogenea di intervento, rappresentata dal centro storico interessato dal Piano di Ricostruzione (P.d.R.), l'analisi del costruito è stata condotta proprio con la preliminare individuazione delle unità strutturali che costituiscono gli aggregati edilizi<sup>293</sup> (Fig.3.9).



**Fig. 3.9 Identificazione finale aggregati e unità strutturali del centro storico di Arsita (Elaborato: ENEA - C. R. Bologna)**

<sup>293</sup> Nel corso dell'elaborazione del P.d.R. è stata fatta un'ulteriore suddivisione:

- aggregato 1' (US 1A, 1B);
- aggregato 1'' (US 1C, chiesa);
- aggregato 1''' (US 1D);
- aggregato 3' (US da 3A a 3D);
- aggregato 3'' (US da 3E a 3H);
- aggregato 3''' (US da 3I a 3M3);
- aggregato 3'''' (US da 3N a 3S).

Le unità possono essere individuate sulla base di un percorso metodologico<sup>294</sup>, articolato in alcune fasi: analisi storico-tipologica, rilievo geometrico, analisi dei materiali, rilievo strutturale e analisi del comportamento strutturale. La ricostruzione evolutiva di un isolato è molto utile a capire quali sono le celle costruite per prime e quali possono essere le pareti realizzate successivamente per chiudere eventuali vuoti fra quelle. La fase del rilievo geometrico è una tappa conoscitiva fondamentale per la comprensione dei rapporti volumetrici e dimensionali e per l'identificazione dei materiali, caratteristici dei periodi che hanno segnato l'evoluzione costruttiva del centro abitato. Il rilievo strutturale si avvale, invece, dell'analisi degli orizzontamenti e dei collegamenti alle strutture di elevazione per acquisire indicazioni sul comportamento strutturale dei fabbricati, contribuendo, in maniera significativa, all'individuazione delle unità. Il fine ultimo di tali indagini è la determinazione delle porzioni di isolato che hanno un comportamento unitario. A seguito di interventi di demolizione, ricostruzione, sopraelevazione o rifusione di cellule abitative, non è sempre semplice individuare le unità strutturali, ma certamente questa fase costituisce il primo passo per la successiva valutazione dei danneggiamenti subiti. La suddivisione degli aggregati in unità edilizie rappresenta anche uno strumento di aggiornamento cartografico: le nuove mappe servono a sintetizzare i risultati dei rilievi ed, eventualmente, a descrivere l'evoluzione insediativa del costruito.

Parallelamente all'identificazione delle unità strutturali, sono state compilate le Schede Urbanistico - Architettoniche del costruito. Lo schema adottato non è un modello *standard*; esistono, infatti, varie proposte, elaborate da atenei e centri di ricerca, analoghe. La scheda tipo di Arsita si è dimostrata, nello stesso tempo, uno strumento sistematico e flessibile ad accogliere anche dati non espressamente richiesti, ma utili a rilevare i caratteri specifici del costruito. Inoltre, tale scheda non è stata concepita soltanto come uno strumento di tipo speditivo, ma come una sintesi ragionata delle informazioni raccolte in fase di rilievo: un'operazione complessa, portata avanti attraverso schizzi, elaborazioni grafiche di dettaglio, documentazione fotografica, indagini storiche e osservazioni dirette. I dati così raccolti sono stati poi informatizzati all'interno di un foglio elettronico, facile da aggiornare. In questo modo, i dati acquisiti in situ sono stati tradotti, con l'ausilio del GIS, in carte tematiche.

**SCHEDA DI ANALISI URBANISTICO- ARCHITETTONICA DEL COSTRUITO**

ID Oggetto 1B Numero comparto 1B Numero Particella catastale 83  
 Foto di riferimento IMG\_4395.JPG

1

2

Posizione dell'oggetto	interno	Numero piani totali	4	Età dell'edificio	1885
Proprietà	privata	In uso?	si	Posizione spiccato	liv.strada
Dest. Uso p.terra	deposito/abitativa	Dest Uso p.superiori	abitativa		
Qualità architettonica	min. di pregio	Livello danno	1	Destinazione ipotizzata pt	abitativa/deposito
Manutenzione	buona	Esito agibilità	inagibile	Destinazione ipotizzata ps	abitativa
Trasformazione	si	Condizione generale	buona	Possibili interventi	restauro
Coerenza	no				
Accesso tradizionale	si				
Terrazza	no				

3 4 5

Fig. 3.10 Modello di Scheda Urbanistico - Architettonica del costruito adottato ad Arsita

<sup>294</sup> *Recupero edilizio e prevenzione sismica*, DEI, Roma, 2004, pp. 308-311.

Dopo l'identificazione dell'unità strutturale, nella prima parte della scheda sono raccolti in sezione 2, un insieme di dati: non solo quelli riguardanti la posizione dell'unità all'interno dell'aggregato o al numero di piani, compresi i livelli interrati, ma anche i dati utili a ricostruire la storia dell'oggetto edilizio, come l'età ipotetica o accertata della costruzione e il tipo di proprietà, pubblica o privata, fino all'individuazione della destinazione d'uso, testimonianza delle funzionalità assunte dall'edificio e fonte di informazioni sulla presunta distribuzioni degli spazi interni.

La successiva sezione della scheda indaga sulla qualità architettonica del manufatto, considerando lo stato di manutenzione e le eventuali trasformazioni, apportate nel tempo all'organismo edilizio. Queste possono essere legate sia all'aspetto distributivo, e in tal caso comprendono le eventuali aggiunte in elevazione o a livello planimetrico, sia agli aspetti tecnologici e impiantistici, come la sostituzione degli infissi con moderni serramenti più perforanti oppure la realizzazione di nuovi sistemi di riscaldamento e/o veri e propri interventi di riqualificazione energetica. Sono annoverate fra le trasformazioni anche gli interventi di decoro che cambiano l'aspetto dell'immobile; il riferimento non è tanto al colore delle tinteggiature, quanto alla realizzazione, ad esempio, di tettoie, quindi elementi sporgenti che, in caso di sisma, soprattutto se mal costruiti, possono essere un pericolo. Data la varietà delle trasformazioni possibili, la scheda potrebbe essere migliorata, prevedendo una casistica delle più frequenti variazioni.

Nella sezione 4 si valuta il danno rilevato, sia con riferimento alla classificazione della scala EMS98, da leggero a distruttivo, sia con riferimento al giudizio di agibilità, se disponibile, espresso secondo la scheda AeDES, che sarà di seguito descritta. Infine, nella stessa sezione, dopo una complessiva ricognizione sullo stato dell'immobile, è espressa una valutazione (buona, ordinaria, cattiva, in rovina) che, sebbene basata sul giudizio soggettivo dei rilevatori, descrive la condizione del manufatto edilizio al momento del rilievo, fornendo un dato preliminare per le successive proposte d'intervento.

L'ultima sezione riguarda le proposte che possono essere avanzate sia per la riqualificazione funzionale dei fabbricati, relativa alla destinazione d'uso dei piani terra e dei piani superiori, sia per migliorare, attraverso opportuni interventi, la sicurezza strutturale delle unità edilizie. Si osserva che, oltre alle ipotesi di restauro, riqualificazione, ricostruzione parziale e sostituzione, è stata presa in considerazione anche la possibilità di demolire parzialmente o totalmente gli immobili. Sebbene nel caso di Arsita (TE) non siano mai state necessarie soluzioni drastiche, in relazione alle condizioni rilevate, tali ipotesi aprono ai progettisti la possibilità di ripensare la forma degli aggregati edilizi e addirittura dei centri urbani. Questa parte della scheda è quindi importante a capire quale sarà il futuro e la vita di tali costruzioni e ovviamente riporta l'attenzione sui temi del restauro e della ricostruzione, analizzati nel precedente capitolo.

Inoltre, con riferimento alle definizioni legislative, come quelle dell'art. 31 della Legge 5 agosto 1978 n. 457, modificata e assorbita nella successiva normativa<sup>295</sup>, in particolare il D.P.R. 380/2001, durante l'elaborazione del P.d.R. di Arsita, per ciascuna unità strutturale, è stata indicata una tipologia d'intervento. Gli esiti di tale classificazione saranno presentati nel Capitolo 5, dedicato al caso di Arsita.

Nel titolo IV della Legge 457/1978 - «Norme generali per il recupero del patrimonio edilizio ed urbanistico esistente» - gli interventi sono distinti nelle seguenti categorie:

- a) *Interventi di manutenzione ordinaria, quelli che riguardano le opere di riparazione, rinnovamento e sostituzione delle finiture degli edifici e quelle necessarie ad integrare o mantenere in efficienza gli impianti tecnologici esistenti;*

---

<sup>295</sup> La Legge 5 agosto 1978 n. 457 è stata modificata dalla Legge 17 febbraio 1992, n. 179, «Norme per l'edilizia residenziale pubblica». Le definizioni contenute nell'art. 31 sono richiamate anche nella legislazione successiva: la Legge 27 dicembre 1997, n. 449, «Misure per la stabilizzazione della finanza pubblica» e il D.P.R. 6 giugno 2001 n. 380, «Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia» (art. 3), aggiornato con le modifiche e le integrazioni apportate dalla Legge 27 dicembre 2013 n. 147.

Si affiancano alle definizioni normative sui tipi di intervento, quelle della UNI 10914 - 1:2001, *Edilizia. Qualificazione e controllo del progetto edilizio di interventi di nuova costruzione e di interventi sul costruito. Terminologia.*

- b) *Interventi di manutenzione straordinaria, le opere e le modifiche necessarie per rinnovare e sostituire parti anche strutturali degli edifici, nonché per realizzare ed integrare i servizi igienico-sanitari e tecnologici, sempre che non alterino i volumi e le superfici delle singole unità immobiliari e non comportino modifiche delle destinazioni d'uso;*
- c) *Interventi di restauro e di risanamento conservativo, quelli rivolti a conservare l'organismo edilizio e ad assicurare la funzionalità mediante un insieme sistematico di opere che, nel rispetto degli elementi tipologici, formali e strutturali dell'organismo stesso, ne consentano destinazioni d'uso con essi compatibili. Tali interventi comprendono il consolidamento, il ripristino e il rinnovo degli elementi costitutivi dell'edificio, l'inserimento degli elementi accessori e degli impianti richiesti dalle esigenze dell'uso, l'eliminazione degli elementi estranei all'organismo edilizio;*
- d) *Interventi di ristrutturazione edilizia, quelli rivolti a trasformare gli organismi edilizi mediante un insieme sistematico di opere che possono portare ad un organismo edilizio in tutto o in parte diverso dal precedente. Tali interventi comprendono il ripristino o la sostituzione di alcuni elementi costitutivi dell'edificio, la eliminazione, la modifica e l'inserimento di nuovi elementi ed impianti;*
- e) *Interventi di ristrutturazione urbanistica, quelli rivolti a sostituire l'esistente tessuto urbanistico - edilizio con altro diverso mediante un insieme sistematico di interventi edilizi anche con la modificazione del disegno dei lotti, degli isolati e della rete stradale.*

Infine, poiché è ragionevole ipotizzare che gli interventi siano soprattutto di carattere strutturale, è utile precisare la natura dei lavori previsti, secondo le disposizioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni, che, in riferimento alle costruzioni esistenti, hanno classificato gli interventi in tre gruppi:

- *interventi di adeguamento atti a conseguire i livelli di sicurezza previsti dalle presenti norme;*
- *interventi di miglioramento atti ad aumentare la sicurezza strutturale esistente, pur senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti dalle presenti norme;*
- *riparazioni o interventi locali che interessino elementi isolati, e che comunque comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti<sup>296</sup>.*

La stessa norma evidenzia che, per i beni di interesse culturale, localizzate in zone a rischio sismico, secondo il Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio<sup>297</sup>, è possibile limitare gli interventi a quelli di miglioramento.

Per ognuna delle tre categorie sono state, inoltre, precisate le attività che caratterizzano i diversi tipi di interventi. Si ricorre all'adeguamento per:

- a) *sopraelevare la costruzione;*
- b) *ampliare la costruzione mediante opere strutturalmente connesse alla costruzione;*
- c) *apportare variazioni di classe e/o di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali in fondazione superiori al 10%; resta comunque fermo l'obbligo di procedere alla verifica locale delle singole parti e/o elementi della struttura, anche se interessano porzioni limitate della costruzione;*
- d) *effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un organismo edilizio diverso dal precedente<sup>298</sup>.*

<sup>296</sup> DM 14 gennaio 2008, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, Par. 8.4, *Classificazione degli interventi*.

<sup>297</sup> D. lgs. 22 gennaio 2004, n. 42, Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio, art. 29 - comma 4:

*Per restauro si intende l'intervento diretto sul bene attraverso un complesso di operazioni finalizzate all'integrità materiale ed al recupero del bene medesimo, alla protezione e alla trasmissione dei suoi valori culturali. Nel caso di beni immobili situati nelle zone dichiarate a rischio sismico in base alla normativa vigente, il restauro comprende l'intervento di miglioramento strutturale.*

<sup>298</sup> DM 14 gennaio 2008, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, Par. 8.4.1, *Interventi di adeguamento*.



Sono, invece, inclusi nei miglioramenti tutti gli interventi che accrescono la capacità resistente dell'edificio e che non possono essere inclusi nel precedente gruppo. La norma non elenca esattamente quali sono i miglioramenti possibili e, probabilmente, ciò sottende la possibilità di ricorrere a soluzioni e tecniche scelte di volta in volta, in relazione allo stato dell'edificio, alle sue caratteristiche peculiari e in relazione alle conoscenze scientifiche del momento storico, considerando queste in continua evoluzione.

Le riparazioni o interventi locali, infine, riguardano singoli elementi della struttura, che, al pari delle altre tipologie d'intervento, dovranno essere assoggettate a valutazioni di sicurezza. Le verifiche devono dimostrare che «non siano prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme e che gli interventi comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti».

Osserviamo ancora che alcuni dei dati presenti nella scheda adottata ad Arsita (TE) possono essere rilevati anche attraverso i censimenti realizzati dall'ISTAT. Sia il modello del 2001, sia quello più recente del 2011<sup>299</sup> sono organizzati in due sezioni: nella prima si acquisiscono informazioni sul tipo e sull'uso dell'edificio; nella seconda si raccolgono i dati sulle caratteristiche dei soli edifici residenziali, come risulta dal sottostante modello. Tuttavia l'ISTAT non diffonde le informazioni relative al singolo edificio e comunque il modulo non comprende rilievi ed elementi che precisano quali interventi l'edificio abbia subito nel tempo o il livello di danno riscontrato oppure quali proposte possano essere formulate per migliorare le prestazioni strutturali e non dell'edificio.

**QUESTIONARIO DI EDIFICIO**

N. Questionario: \_\_\_\_\_ Provincia di: \_\_\_\_\_

Comune di: \_\_\_\_\_

**A** Indirizzo/i **B** Sezione di censimento \_\_\_\_\_ Rilevatore \_\_\_\_\_

Specie (DUG)	Denominazione	N° Civico/i
1		
2		
3		
4		

**15° CENSIMENTO GENERALE DELLA POPOLAZIONE DELLE ABITAZIONI**  
9 OTTOBRE 2011

LEGGE 30 LUGLIO 2010, N. 122, ART. 50

**1 TIPO ED USO**

**1.1 Tipo di costruzione**

1  Edificio      2  Complesso di edifici

**1.2 Uso**

1  Utilizzato

2  Non utilizzato perché in costruzione, ricostruzione, consolidamento, ecc. } il questionario termina qui

3  Non utilizzato perché cadente, in rovina, in demolizione, ecc.

**1.3 Tipo di edificio**

1  Residenziale → andare a dom. 2.1

2  Produttivo      5  Turistico/Ricettivo

3  Commerciale      6  Servizi

4  Direzionale/Terziario      7  Altro } il questionario termina qui

**2 CARATTERISTICHE**

SOLO SE LA RISPOSTA ALLA DOMANDA 1.3 È 'RESIDENZIALE'

**2.1 Contiguità**

1  Su nessun lato      2  Su un lato      3  Su due o più lati

**2.2 Tipo di materiale usato per la struttura portante**

1  Muratura portante      3  Calcestruzzo armato a piano terra aperto

2  Calcestruzzo armato a piano terra chiuso      4  Altro (calcestruzzo armato e muratura portante, acciaio, legno, ecc.)

**2.3 Epoca di costruzione**

1  Prima del 1919      6  Dal 1981 al 1990

2  Dal 1919 al 1945      7  Dal 1991 al 2000

3  Dal 1946 al 1960      8  Dal 2001 al 2005

4  Dal 1961 al 1970      9  Dopo il 2005

5  Dal 1971 al 1980

**2.4 Stato di conservazione**

1  Ottimo      3  Mediocre

2  Buono      4  Pessimo

**2.5 Numero di interni (abitativi e non abitativi)**

numero di interni abitativi: \_\_\_\_\_ numero di interni non abitativi: \_\_\_\_\_

**2.6 Presenza di ascensore**

1  Sì      2  No

**2.7 Presenza di piani totalmente interrati**

1  Sì      2  No

**2.8 Numero di scale** \_\_\_\_\_ numero

**2.9 Numero di piani fuori terra (totalmente o parzialmente)** \_\_\_\_\_ numero

Fig. 3.11 Modello ISTAT CP.ED 2011

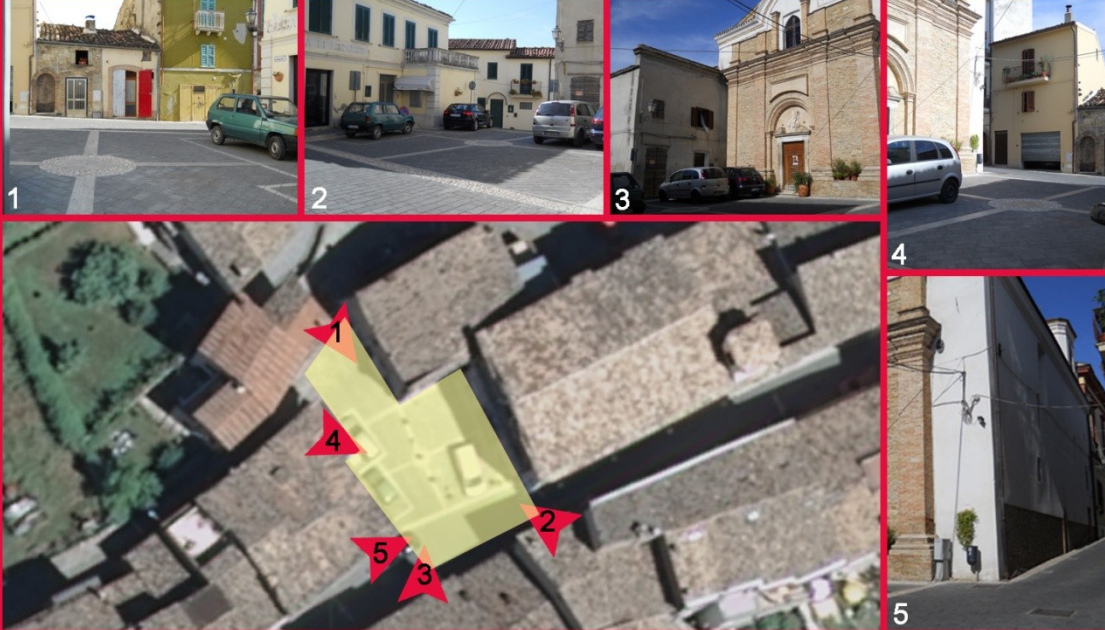
<sup>299</sup> Modello ISTAT CP.ED, in <[http://www.provincia.bz.it/astat/it/censimento-popolazione/download/CP.ED\\_IT.pdf](http://www.provincia.bz.it/astat/it/censimento-popolazione/download/CP.ED_IT.pdf)> e <[http://www.provincia.bz.it/astat/it/censimento-popolazione/download/Anleitungen\\_CP-ED-it.pdf](http://www.provincia.bz.it/astat/it/censimento-popolazione/download/Anleitungen_CP-ED-it.pdf)>.

La parte della Scheda Urbanistica - Architettonica dedicata agli spazi aperti, adottata sempre ad Arsita (TE), ha lo scopo di condurre un'analisi sul non costruito, quindi strade, piazze, belvedere, verde urbano, corti interne e punti di accesso al centro abitato. Oltre alle informazioni utili a localizzare l'area presa in esame e utili a descrivere il raggio di ispezione assunto come riferimento, nonché l'eventuale pendenza del suolo, nella scheda sono raccolte informazioni sui materiali ricorrenti e sulle caratteristiche di tali spazi, come la posizione assunta rispetto a una strada di riferimento. Nell'analisi degli spazi aperti si valuta la presenza di parcheggi, si distingue la tipologia di traffico (pedonale, carrabile), si evidenzia la presenza di elementi passanti come, nei vicoli stretti, gli archi di contrasto che collegano edifici opposti. Si valuta, inoltre, l'accessibilità a tali spazi, da buona a pessima, in relazione alla presenza di ostruzioni temporanee, alla presenza di scale e/o rampe e alla presenza di possibili vie di fuga. Si verifica la possibilità che lo spazio in esame possa diventare un punto di raccolta *sicuro* nelle situazioni di emergenze. La scheda intende raccogliere, infine, anche le peculiarità di ogni area, come la panoramicità del luogo o l'essere chiuso all'interno del nucleo urbano, come avviene in alcune piazze, oppure isolato da questo.

L'analisi degli spazi aperti potrebbe essere affiancata da proposte di intervento, suggerite dagli stessi rilevatori, per migliorare la gestione della viabilità e prevedere efficaci strategie da adottare nelle emergenze. A tal proposito, si potrebbero associare alle schede delle mappe urbane, analoghe a quelle realizzate per il costruito, che sono presentate nel Capitolo 5, applicando specifiche norme grafiche e simboliche, come la UNI 7310/74, descritta nel successivo paragrafo 3.5.

**SCHEDA DI ANALISI URBANISTICO- ARCHITETTONICA DEGLI SPAZI APERTI**

ID Oggetto: PIAZZA UMBERTO I  
Foto di riferimento: 1690- 1696



Tipologia di spazio	piazza	Materiale a terra	ciottoli e mattonelle in cemento leggera	Proprietà	pubblica
Dimensioni spazio	Larghezza >5m Lunghezza >5m	Pendenza		Modalità di salita/discesa	rampa
Tipo di traffico	misto	Parcheggio	si	Posizione rispetto al livello strada	a livello della strada
Elementi passanti	nessuno	Accessibilità al percorso	buona	Panoramicità	discreta
Possibili vie di fuga	si	Possibile area di raccolta in caso di pericolo	si		

Fig. 3.12 Modello di Scheda Urbanistico - Architettonica degli spazi aperti adottato ad Arsita

Attraverso tali strumenti schedografici e attraverso il supporto del sistema GIS, è possibile realizzare delle carte tematiche, rappresentative dei rilievi eseguiti. Tali carte costituiscono un riferimento per la scelta dei criteri d'intervento più opportuni. Oltre al caso di Arsita (TE), analoghe *Schede Urbanistico - Architettoniche* sono state impiegate nel Comune di Casentino<sup>300</sup> (AQ) dopo il sisma del 2009, lo stesso tragico evento che ha colpito Arsita (TE). La metodologia di rilievo presentata era stata applicata anche nella città portuale di Valparaíso<sup>301</sup> (Cile), segnata da numerosi disastri naturali, come terremoti, tsunami, frane e da disastri antropici, come incendi. Il quartiere storico di Cerro Cordillera, parzialmente compreso nell'area dichiarata dall'UNESCO patrimonio dell'umanità nel 2003 e tre chiese, costruite con materiali diversi, sono state oggetto di un esteso lavoro di analisi urbanistica - architettonica che ha fornito, ancora una volta con l'ausilio del GIS, importanti elementi di valutazione della vulnerabilità del costruito. Ancor prima un'indagine simile era stata condotta nel Comune di San Giuliano di Puglia<sup>302</sup> (CB), a seguito del terremoto del 2002.

### 3.3.1.2 La Scheda AeDES

Accanto agli studi conoscitivi sui caratteri insediativi e sugli aspetti tipologici dei centri abitati, in Italia sono nati altri formati schedografici *istituzionali*, di seguito descritti. Le schede sintetizzano un insieme ampio di informazioni utili a comprendere il comportamento strutturale delle unità esaminate, considerato un aspetto determinante per valutare la sicurezza degli edifici ordinari e di quelli che assumono funzioni specialistiche, come chiese o palazzi.

Nel *Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AeDES)* sono fornite le istruzioni per la compilazione delle schede applicate dalla Protezione Civile dopo il terremoto che colpì l'Umbria e le Marche nel 1997. Successive modifiche sono state apportate dopo l'applicazione delle schede al caso del Pollino nel 1998 e dopo il sisma dei M. ti Tiburtini del 2000. Le schede hanno lo scopo di rilevare le caratteristiche tipologiche, lo stato del danno e il livello di agibilità del costruito nella fase di emergenza post-sismica. Sebbene non sia stata mai data una vera definizione di *agibilità*, lo scopo delle Schede AeDES è di fornire un giudizio sulla possibilità di fruire in maniera sicura degli edifici, ma tale giudizio «non rappresenta una analisi di sicurezza, né la sostituisce», infatti, non è espresso sulla base di calcoli numerici ma su quella di un «giudizio esperto»:

*La valutazione di agibilità in emergenza post-sismica è una valutazione temporanea e speditiva – vale a dire formulata sulla base di un giudizio esperto e condotta in tempi limitati, in base alla semplice analisi visiva ed alla raccolta di informazioni facilmente accessibili – volta a stabilire se, in presenza di una crisi sismica in atto, gli edifici colpiti dal terremoto possano essere utilizzati restando ragionevolmente protetta la vita umana*<sup>303</sup>.

<sup>300</sup> C.F. Carocci, C. Borgia, M. Costa, C. Circo, D. Indelicato, M. Marino, S. Lagomarsino, S. Cattari, F. Cianci, A. Dal Bò, S. Degli Abbatì, D. Ottonelli, C. Romano, M. Rossi, N. Serafino, G. Stagno, G. Cifani, A. Martinelli, A. Castellucci, A. Lemme, M. Liris, F. Martegiani, A. Mazzariello, L. Milano, C. Morisi, D. Petracca, C. Tocci, D. Pittaluga, R. Vecchiattini, *Una metodologia per la conservazione di centri storici danneggiati dal sisma: rilievo costruttivo, indagini ed indicazioni per il recupero di Casentino (AQ)*, Atti del convegno «Sicurezza e conservazione nel recupero dei beni culturali colpiti da sisma», Venezia, 8-9 aprile 2010.

<sup>301</sup> M. Indirli, H. Razafindrakoto, F. Romanelli, C. Puglisi, L. Lanzoni, E. Milani, M. Munari, S. Apablaza, *Hazard Evaluation in Valparaíso: the MAR VASTO Project*, in G. F. Panza, K. Irikura, M. Kouteva, A. Peresan, Z. Wang, R. Saragoni, *Regional Seismic Hazard and Seismic Microzonation Case Studies*, Birkhäuser, 2011, p. 73; M. Indirli, *Organization of a Geographic Information System (GIS) Database on Natural Hazards and Structural Vulnerability for the Historic Center of San Giuliano Di Puglia (Italy) and the City of Valparaíso (Chile)*, in «International Journal of Architectural Heritage», n. 3, 2009, pp. 276-315.

<sup>302</sup> M. Indirli, *Organization of a Geographic Information System (GIS) Database on Natural Hazards and Structural Vulnerability for the Historic Center of San Giuliano Di Puglia (Italy) and the City of Valparaíso (Chile)*, cit..

<sup>303</sup> Dipartimento della Protezione Civile, *Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AeDES)*, Roma, 2009, p. 12.



Dalla definizione data sembra necessario conoscere la massima intensità che può verificarsi nel corso della crisi sismica, ossia l'evento di riferimento rispetto al quale formulare il giudizio. Tuttavia ad oggi questo non è stato ancora stabilito, né tantomeno è stato chiarito chi debba dare tali indicazioni. Per questo il giudizio è espresso sulla base dell'osservazione visiva del danno prodotto dall'evento sismico e lo stesso *Manuale*, per stabilire la gravità del danno, suggerisce di ricorrere alle indicazioni della scala EMS98.

La Scheda AeDES 06/2008, approvata col D.P.C.M. 05/05/2011, è divisa in nove sezioni:

- Identificazione edifici: provincia, comune, frazione, coordinate geografiche, posizione;
- Descrizione edificio: dati metrici, uso - esposizione;
- Tipologia: strutture in muratura, altre strutture, copertura;
- Danni ad elementi strutturali e provvedimenti di pronto intervento eseguiti;
- Danni ad elementi non strutturali e provvedimenti di pronto intervento eseguiti;
- Pericolo esterno indotto da altre costruzioni e provvedimenti di pronto intervento eseguiti;
- Terreno e fondazioni: morfologia del sito, dissesti;
- Giudizio di agibilità: valutazione del rischio, esito di agibilità, provvedimenti;
- Altre osservazioni: sul danno, sui provvedimenti di pronto intervento, l'agibilità, altro.

Si tratta di un percorso guidato, supportato dagli abachi e dalle descrizioni fornite dal *Manuale* che facilitano la corretta compilazione della scheda. Questa ha una precisa simbologia: la scala di grigio, dal chiaro allo scuro, serve ad indicare livelli di vulnerabilità crescenti, mentre le caselle divise in tonde e quadrate indicano la possibilità, per il rilevatore, di fare rispettivamente una scelta singola o multipla.

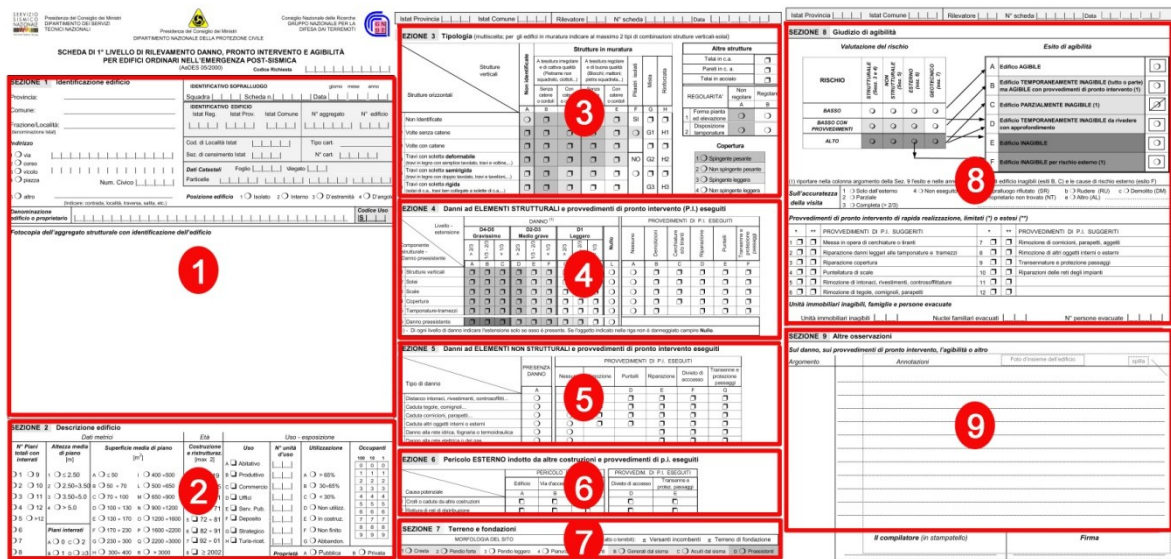


Fig. 3.13 Scheda AeDES: suddivisione delle sezioni

Dopo le fasi di identificazione e di descrizione dell'edificio, che interessano le prime due parti della scheda, si analizzano, a partire dalla Sezione 3, gli aspetti riguardanti le caratteristiche costruttive dell'unità in esame e il danneggiamento subito. In particolare, la sezione dedicata alla tipologia serve a valutare la tessitura della muratura: quella di tipo I indica una tessitura irregolare e di cattiva qualità, quella di tipo II rappresenta una tessitura regolare e di buona qualità. La scheda offre anche la possibilità di segnalare la presenza di cordoli o catene od eventuali pilastri isolati, in modo da ottenere un quadro esaustivo sullo stato dell'unità esaminata. Le Sezioni 4 e 5 indicano il livello di estensione dei danneggiamenti riportati dall'edificio a seguito dell'evento sismico, rispettivamente quelli strutturali e non strutturali. I primi sono valutati da *leggeri* a *gravissimi*. Entrambe le

sezioni forniscono, inoltre, indicazioni sui provvedimenti di pronto intervento eseguiti. La Sezione 6 prende in considerazione l'esistenza di pericoli esterni all'unità in esame, come la vicinanza con edifici pericolanti oppure vie d'accesso o vie interne ostruite dalla presenza di macerie ed accumuli di materiali. Sono proprio questi a rappresentare un pericolo per l'evacuazione della popolazione oppure per l'intervento dei soccorritori. A Villa Sant'Angelo<sup>304</sup> (AQ), all'indomani del sisma del 2009, è stato necessario redigere un progetto preliminare per la rimozione delle macerie, al fine di rendere sicure e agevoli tutte le operazioni e per consentire gli approfondimenti conoscitivi necessari alla valutazione dei danneggiamenti. La Sezione 7 è dedicata alla morfologia del sito e alla presenza di possibili dissesti: aspetti che, come evidenzia il Manuale, sono ascrivibili al rischio idrogeologico. Fra le morfologie individuate dalla scheda, la cresta è quella più vulnerabile «per possibili amplificazioni locali dell'eccitazione sismica»<sup>305</sup>. Nella sezione 8 si formula il giudizio di agibilità, in base alla valutazione del rischio, effettuata attraverso i dati raccolti nelle precedenti sezioni (dalla 3 alla 7).

L'esito di agibilità è espresso attribuendo all'edificio una lettera, dalla A alla F. La classe A indica l'assenza totale di pericolo per i residenti dell'edificio, che potrebbe comunque aver subito dei danni. La classe B rappresenta il gruppo degli edifici che, una volta effettuati opportuni provvedimenti di pronto intervento, potranno essere utilizzati, senza pericolo. Sarà il rilevatore stesso a fornire indicazioni sugli interventi ritenuti necessari. Gli edifici che invece sono classificati nel gruppo C presentano parti a rischio, che dovranno essere segnalate nella sezione successiva. Il gruppo D indica tutti quegli edifici per i quali non è stato possibile fornire un giudizio certo e pertanto richiedono ulteriori ispezioni o approfondimenti di tecnici esperti. Le ultime due classi, infine, non indicano necessariamente che l'edificio non possa essere riparato con interventi più impegnativi, ma indicano la necessità di evacuare l'edificio; in questo caso bisogna precisare quali sono le unità immobiliari e i nuclei familiari soggetti a tale restrizione.

**Tabella 3.1 - Classificazione dell'agibilità secondo la Scheda AeDES.**

<b>A</b>	Edificio AGIBILE
<b>B</b>	Edificio TEMPORANEAMENTE INAGIBILE (tutto o parte) ma agibile con provvedimenti di pronto intervento
<b>C</b>	Edificio PARZIALMENTE INAGIBILE
<b>D</b>	Edificio TEMPORANEAMENTE INAGIBILE da rivedere con approfondimento
<b>E</b>	Edificio INAGIBILE
<b>F</b>	Edificio INAGIBILE per rischio esterno

Dopo le sequenze sismiche che hanno colpito diversi centri abitati dell'Emilia Romagna nel 2012, sono state utilizzate proprio le schede AeDES per testare il danno del costruito e garantire alle cittadinanze che gli alloggi fossero idonei ed esenti da eventuali pericoli. Abbiamo rielaborato i risultati<sup>306</sup> dei sopralluoghi, condotti fino al 1° agosto 2012 nelle province di Bologna, Ferrara, Modena e Reggio Emilia e diffusi dalla Protezione Civile<sup>307</sup>, per interpretare i dati disponibili. Su un totale di 37122 edifici analizzati da 33 squadre di rilevatori, solo il 37% risultava agibile, il 22% comprendeva edifici classificati nei gruppi B, C, D e il 41% risultava inagibile (gruppi E ed F).

<sup>304</sup> C.F. Carocci, C. Circo, D. Indelicato, S. Lagomarsino, S. Cattari, G. Stagno, G. Cifani, A. Martinelli, A. Castellucci, A. Lemme, M. Liris, F. Martegiani, A. Mazzariello, L. Milano, C. Morisi, D. Petracca, C. Tocci, *Una metodologia per la conservazione di centri storici gravemente danneggiati dal sisma: la rimozione delle macerie e la messa in sicurezza di Villa Sant'angelo (AQ)*, Atti del convegno «Sicurezza e conservazione nel recupero dei beni culturali colpiti da sisma», Venezia, 8-9 aprile 2010 in <[http://www.comune.laquila.gov.it/moduli/output\\_immagine.php?id=4038](http://www.comune.laquila.gov.it/moduli/output_immagine.php?id=4038)>.

<sup>305</sup> Dipartimento della Protezione Civile, *Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AeDES)*, Roma, 2009, p. 92.

<sup>306</sup> T. Gambatesa, *The urban resilience in historic centres damaged by the earthquake: the case of Emilia Romagna Region (Italy)*, ANDROID Residential Doctoral School, Cyprus 23-24 ottobre 2013, in <[http://www.disaster-resilience.net/image/Docs/ds1\\_proceedings.pdf](http://www.disaster-resilience.net/image/Docs/ds1_proceedings.pdf)>.

<sup>307</sup> Dipartimento della Protezione Civile, *Verifiche di agibilità*, in <[http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/le\\_verifiche\\_di\\_agibilit.wp](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/le_verifiche_di_agibilit.wp)>.

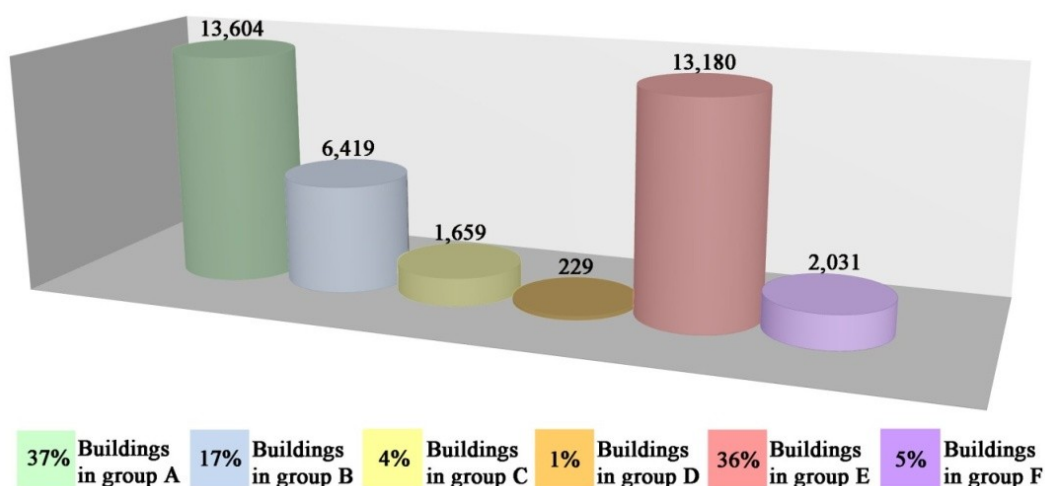


Fig. 3.12 Grafico sull'agibilità degli edifici in Emilia Romagna

Tali valori testimoniano il grado di vulnerabilità dei centri abitati e sottendono la necessità di implementare, attraverso il miglioramento e l'adeguamento sismico, le performance degli edifici, affinché questi possano godere di *buona salute* negli anni, garantendo l'incolumità delle popolazioni e la sopravvivenza delle città. I risultati ottenuti possono essere utilizzati anche per quantificare l'impegno finanziario, indispensabile per i lavori di varia natura sul patrimonio edilizio danneggiato.

### 3.3.1.3 Le Schede Chiese e Palazzi

Per gli edifici a carattere monumentale trovano applicazione la Scheda Chiese (Modello A-DC) e quella Palazzi (Modello B-DP), previste dal D.P.C.M. 23/02/2006 - *Approvazione dei modelli per il rilevamento dei danni, a seguito di eventi calamitosi, ai beni appartenenti al patrimonio culturale*. In seguito, come indica il D.P.C.M. 13/03/2013 «Ravvisata la necessità di definire un Manuale a supporto dei tecnici rilevatori delle condizioni di danno e di agibilità delle Chiese in muratura, al fine di avere un'univoca interpretazione di tutti i dati contenuti nelle diverse sezioni della Scheda Chiesa "Modello A – DC"» è stato approvato un Manuale specifico, analogo a quello delle Schede AeDES.

La Scheda per il rilievo del danno ai beni culturali - Chiese è divisa in due sezioni. La prima è a sua volta organizzata in tredici campi, dall'A<sub>1</sub> all'A<sub>13</sub>, contenenti informazioni generali sulla localizzazione del bene, sul rapporto col contesto territoriale e sulle opere artistiche conservate. La seconda sezione è invece costituita da quattordici campi, dall'A<sub>14</sub> fino all'A<sub>27</sub> e fornisce informazioni sullo stato di manutenzione del bene, sulla valutazione del danno e sulla sua agibilità. Sono altresì fornite indicazioni di pronto intervento e una stima sommaria dei costi relativi.

Nella scheda sono preliminarmente distinti i *Beni complessi* da quelli *individui*; nel caso in cui la chiesa sia costituita da più beni, la seconda sezione andrà compilata per ognuno dei beni componenti. Il Manuale precisa che la distinzione non è riferita all'aspetto strutturale, quanto a quello architettonico; pertanto è considerato come bene complesso una chiesa che è parte, ad esempio, di un monastero.

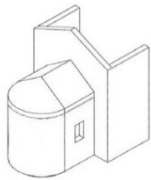
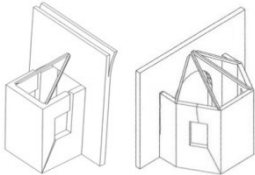
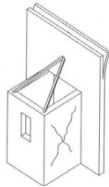
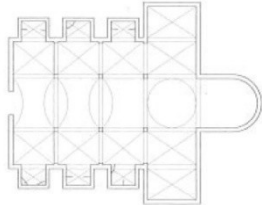
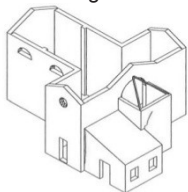
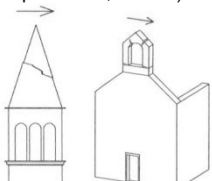
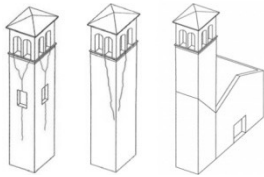

Lo scopo è ancora quello di arrivare a definire l'agibilità dell'edificio, dopo un'analisi conoscitiva condotta attraverso il sopralluogo diretto dei rilevatori. L'ispezione, sia esterna, che interna, consente l'individuazione dei meccanismi di danno attivati dal sisma. Fra i 28 meccanismi, catalogati dalla scheda e di seguito riportati, sono distinti:

- 4 meccanismi relativi alla facciata;
- 5 meccanismi relativi all'aula;
- 3 meccanismi relativi al transetto;
- 1 meccanismo relativo all'arco trionfale;
- 2 meccanismi relativi alla cupola;
- 3 meccanismi relativi all'abside;
- 3 meccanismi relativi alla copertura;
- 4 meccanismi relativi alle cappelle e corpi annessi;
- 3 meccanismi relativi agli aggetti ed al campanile.

**Tabella 3.2 - Abaco dei meccanismi di collasso delle Chiese.**

<p>1 - Ribaltamento della facciata</p>	<p>2 - Meccanismi nella sommità della facciata</p>	<p>3 - Meccanismi nel piano della facciata</p>	<p>4 - Protiro e narcece</p>
<p>5 - Risposta trasversale dell'aula</p>	<p>6 - Meccanismi di taglio pareti laterali</p>	<p>7 - Risposta longitudinale del colonnato</p>	<p>8 - Volte dell'aula o della navata centrale</p>
<p>9 - Volte delle navate laterali</p>	<p>10 - Ribaltamento pareti del transetto</p>	<p>11 - Meccanismi di taglio nel transetto</p>	<p>12 - Volte del transetto</p>
<p>13 - Archi trionfali</p>	<p>14 - Cupola e tamburo / tiburio</p>	<p>15 - Lanterna</p>	<p>16 - Ribaltamento dell'abside</p>
<p>17 - Meccanismi di taglio nell'abside</p>	<p>18 - Volte del presbiterio o dell'abside</p>	<p>19 - Elementi di copertura: aula</p>	<p>20 - Elementi di copertura: transetto</p>



<p>21 - Elementi di copertura: abside</p> 	<p>22 - Ribaltamento delle cappelle</p> 	<p>23 - Meccanismi di taglio nelle cappelle</p> 	<p>24 - Volte delle cappelle</p> 
<p>25 - Interazioni in prossimità di irregolarità</p> 	<p>26 - Aggetti (vela, guglie, pinnacoli, statue)</p> 	<p>27 - Torre campanaria</p> 	<p>28 - Cella campanaria</p> 

La gravità del danno è indicata su una scala di cinque livelli, oltre il livello "0", che indica l'assenza di danno, analogamente alla scala EMS98, si ha:

- 0 - danno nullo;
- 1 - danno lieve;
- 2 - danno moderato;
- 3 - danno grave;
- 4 - danno molto grave;
- 5 - crollo.

A conclusione del rilievo, è stimato un indice di danno che è compreso fra 0 e 1, ottenuto tramite una media normalizzata del livello di danno riportato da ciascun meccanismo attivato. Esattamente:

$$i_d = d/5n$$

con  $n$  = numero di meccanismi possibili ( $\leq 28$ );  $d = \sum d_k$ ,

dove  $d_k$  è il livello di danno associato a ciascun meccanismo possibile.

Infine, è stimata l'agibilità sulla base di una «*valutazione temporanea e speditiva*». L'esito deve tener conto dei risultati ottenuti nella compilazione dei precedenti campi e deve essere espresso in riferimento ad una delle possibilità indicate, riguardanti l'«esito intrinseco del fabbricato», cui si può aggiungere una valutazione legata a cause esterne.

Riassumendo:

- Esito A - agibile

Indica che la chiesa è utilizzabile, anche se possono essere presenti piccole lesioni, che non destano problemi di sicurezza.

- Esito I - inagibile

L'edificio non può essere utilizzato, questo risultato è l'equivalente della classe E delle Schede AeDES.

- Esito PA - parzialmente agibile

Tale giudizio è pronunciato se ci sono parti non utilizzabili. Come nel caso precedente, deve essere emesso un ordine di sgombero per la zona interdotta. Anche in questo caso c'è un'equivalenza con la classe C delle schede di agibilità per gli edifici ordinari.

- Esito AP - agibile con provvedimenti

La chiesa, in questo caso, necessita di pronti interventi, realizzabili rapidamente, sulla base delle disposizioni dei tecnici rilevatori. Le opere provvisorie urgenti, come i puntellamenti non possono essere considerati dei pronti interventi. L'inagibilità potrà essere rimossa solo dopo che siano stati effettuati tali lavori e sempre che questi siano risultati efficaci. Questo esito è equivalente alla classe B delle AeDES.

- Esito TI - temporaneamente inagibile

Tale giudizio è emesso quando non è stato possibile rilevare in maniera esauriente l'edificio religioso oppure quando si rendano necessari giudizi di esperti, come quello del geologo. Ancora una volta l'esito equivale alla classe D delle schede per edifici ordinari.

- Esito IE - inagibile per cause esterne.

Quest'ultimo giudizio è legato alla presenza di un pericolo esterno all'edificio, come la presenza di costruzioni in stato precario oppure il rischio di frane. La chiesa, quindi, non può essere utilizzata senza che vengano «risolte le condizioni al contorno».

Nella Scheda *Chiese* è richiesta anche una stima sommaria dei costi, utile ad orientare le scelte che andranno prese a livello governativo centrale. La stima è effettuata sulla base di un modello standardizzato, in cui le opere sono suddivise in:

- ripristino strutturale;
- finitura, impiantistica e miglioramento sismico;
- pronto intervento.

Per quanto riguarda il ripristino e il miglioramento sismico, devono essere definite le soluzioni progettuali più idonee a contrastare i meccanismi innescati nell'edificio dal sisma. Gli interventi sono graduati in base al livello di danno e in base all'intensità macrosismica. Lo stesso livello di danno indica una diversa vulnerabilità in relazione alla localizzazione più o meno vicina all'area epicentrale del terremoto. Come evidenzia il *Manuale*: «a parità di danno, il costo deve essere maggiore nelle zone meno colpite, in quanto la chiesa, a parità di livello di sicurezza, necessiterà di un più impegnativo intervento di miglioramento». La spesa preventiva, infine, non deve tener conto dei danni agli apparati decorativi e alle opere d'arte, che richiedono una valutazione separata.

La Scheda per il rilievo del danno ai beni culturali - Palazzi, analogamente a quella per le Chiese, è divisa in due sezioni: la prima composta da tredici campi, la seconda da diciannove. Le informazioni che la scheda intende rilevare sono le medesime della precedente scheda per le chiese e, come quella, anche per i palazzi sono stati individuati i meccanismi che possono verificarsi ipoteticamente. I 22 meccanismi individuati sono riferiti agli elementi strutturali rilevati nel campo B<sub>18</sub> - *Eidotipo e suddivisione in elementi*. Tali meccanismi riguardano le pareti perimetrali ed interne, oppure interessano globalmente l'edificio; se presenti, sono soggetti a danneggiamento anche porticati o logge; sono poi valutati i meccanismi riguardanti orizzontamenti, scale, coperture, elementi svettanti o aggettanti; inoltre sono oggetto d'indagine anche i collassi locali, o quelli presenti nei corpi annessi; in questo caso, i danni sono causati dalle interazioni. Il campo B<sub>23</sub>, che raccoglie tutte le informazioni riguardanti i meccanismi di collasso attivati, richiede, inoltre, di suggerire i provvedimenti di pronto intervento. I dati così raccolti sono, infine, impiegati per la determinazione dell'indice di danno.

Come per le chiese, anche per i palazzi, sarà necessario far riferimento al numero n dei possibili meccanismi e alla somma d dei livelli di attivazione nei meccanismi primari. Il giudizio finale sullo stato del palazzo è espresso con le stesse sigle della Scheda *Chiese*. Nel campo B<sub>28</sub> il rilevatore ha la possibilità di segnalare tutti quei danni che non sono riferiti all'edificio ma agli apparati decorativi e alle opere d'arte. Infine, l'ultimo campo richiede una stima sommaria dei costi, ancora una volta, basata sulla suddivisione delle opere necessarie.

### 3.3.1.4 La Scheda GNDT II Livello per Edifici in Muratura

Le schede *istituzionali* finora descritte (AeDES, Chiese, Palazzi) sono strumenti di tipo speditivo, perché basate su rilevazioni *su campo* dopo l'evento sismico. A loro è affidata la sicurezza della cittadinanza; il giudizio espresso, infatti, ha delle conseguenze dirette sulla possibilità di utilizzo degli edifici. Accanto a questa tipologia schedografica sono state elaborati altri format, che forniscono una valutazione quantitativa della vulnerabilità sismica prima che l'evento si verifichi. In questo modo è possibile avere una stima misurata, utile a guidare le strategie di intervento, in favore della resilienza dei centri abitati.

Le schede elaborate dal Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti sono differenziate in base alla tipologia costruttiva; per questo sono state distinte schede per edifici in muratura e schede per edifici in cemento armato. Le prime sono state elaborate nel 1983 e applicate dopo il terremoto di Parma dello stesso anno. Tali schede sono state divise in due livelli: il primo fornisce indicazioni generali sulla localizzazione, sulle caratteristiche geometriche e tipologiche, sull'uso delle costruzioni, sull'età e sugli interventi realizzati nel tempo; il secondo livello, invece, fornisce le informazioni più strettamente legate alla vulnerabilità edilizia e analizzeremo il contenuto di queste ultime.

Le Schede GNDT II<sup>308</sup> per edifici in muratura considerano in totale undici parametri, di seguito elencati, che possono essere valutati sulla base di quattro classi, dalla A alla D, e possono essere rilevati con differenti gradi di approfondimento. Infatti, la colonna che indica la *qualità dell'informazione* o grado di attendibilità dei dati serve a precisare se le informazioni fornite sono di qualità elevata (E), media (M), bassa (B) o se l'informazione è assente (A). Per ogni parametro è chiesto di indicare quali sono gli elementi di valutazione, così da fornire un insieme di dati, utili per la scelta di una data classe.

- Tipo ed organizzazione del sistema resistente:

Si valuta l'organizzazione degli elementi verticali, indipendentemente dai materiali e dalle caratteristiche delle singole murature. L'aspetto più significativo per il rilevatore è l'analisi dei collegamenti fra le pareti ortogonali, finalizzata alla valutazione del comportamento scatolare della struttura.

PARAMETRI		Classi	Qual. Inf.	ELEMENTI DI VALUTAZIONE	
1	<b>TIPO ED ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA RESISTENTE (S.R.)</b>	11 <input type="checkbox"/>	22 <input type="checkbox"/>	Norme nuove costruzioni (Clas. A) <sup>33</sup>	<input type="checkbox"/>
				Norme riparazioni (Clas. A)	<input type="checkbox"/>
				Cordoli e catene tutti i livelli (Clas. B)	<input type="checkbox"/>
				Buoni ammorsam. fra i muri (Clas. C)	<input type="checkbox"/>
				Senza cordoli cattivi ammors. (Clas. D)	<input type="checkbox"/>

- Qualità del sistema resistente:

In questo caso è presa in considerazione la tipologia muraria. Gli aspetti oggetto d'indagine sono: il tipo di materiale, la forma degli elementi e il grado di omogeneità del materiale sulla parete, osservando che, la presenza di ricorsi in mattoni non deve essere intesa come un elemento di disomogeneità, così come la presenza di pietre di una certa dimensione rispetto alle altre, in corrispondenza delle aperture o degli angoli di un edificio, non deve essere considerata un elemento di disomogeneità della pezzatura muraria. Il

<sup>308</sup> *Manuale per il rilevamento della vulnerabilità sismica degli edifici. Istruzione per la compilazione della scheda di 2° livello, giugno 2007.*



*Manuale* fornisce un elenco di possibili murature, da quelle a sacco a quelle in pietra sbazzata, alle murature in pietra arrotondata, fino a quelle in blocchi di pietra da taglio o di calcestruzzo o di laterizio. Sono prese in considerazione anche le pareti in calcestruzzo non armate, i telai in cemento armato con differenti tipi di tamponature, le ossature con profilati metallici e le strutture miste. A ciascuna di queste corrisponde un codice alfabetico che andrà precisato nell'apposita colonna 34 della scheda. Tale codice non deve essere confuso con la scelta della classe (A - D), che sarà attribuita al parametro.

PARAMETRI		Classi	Qual. Inf.	ELEMENTI DI VALUTAZIONE
2	QUALITA' DEL S.R.	12 <input type="checkbox"/>	23 <input type="checkbox"/>	(vedi manuale) <span style="float: right;">34 <input type="checkbox"/></span>

- Resistenza convenzionale:

Sono raccolti dati sul numero dei piani, sulla superficie coperta e sull'area degli elementi resistenti nelle due direzioni ortogonali, così da stabilire i valori di A e di B, ossia il valore minimo fra  $A_x$  e  $A_y$  e quello massimo, necessari per determinare il valore del rapporto C fra il taglio ultimo al livello del piano di verifica e il peso della parte di edificio al di sopra di questo; in formule:

$$C = \frac{a_0 \cdot \tau_k}{q \cdot N} \sqrt{1 + \frac{q \cdot N}{1,5 \cdot a_0 \cdot \tau_k (1 + \gamma)}}$$

$$\text{dove } a_0 = -\frac{A}{A_t} \text{ e } \gamma = \frac{B}{A}$$

Per la determinazione di C è anche necessario conoscere i valori della resistenza convenzionale di riferimento,  $\tau_k$ , e del peso medio di un livello dell'edificio, q. I valori della resistenza convenzionale di riferimento variano in base alla muratura in esame e, in assenza di informazioni sperimentali dirette, possono essere tratti dall'allegato 1 del *Manuale*, che precisa anche come stimare il peso medio per unità di area coperta q, noti il peso specifico medio della muratura  $p_m$ , il peso medio per unità di superficie del solaio  $p_s$  e l'altezza media di un interpiano h.

$$q = \frac{(A + B) \cdot h}{A_t} \cdot P_m + P_s$$

Si osserva come il parametro 3 sia fra quelli cui è dedicato, nella scheda, uno specifico schema, che agevola la determinazione del valore C.

L'attribuzione della costruzione in esame a una delle quattro classi è relazionata al valore del rapporto  $\alpha = C/0,4$  ossia il valore di C, prima ottenuto, e quello di riferimento (0,4), previsto per le zone sismiche di prima categoria, secondo il D. M. 02/07/1981. Precisamente:

Classe A: - Edifici con  $\alpha \leq 1$

Classe B: - Edifici con  $0,6 \leq \alpha < 1$

Classe C: - Edifici con  $0,4 \leq \alpha < 0,6$

Classe D: - Edifici con  $\alpha < 0,4$

PARAMETRI		Classi	Qual. Inf.	ELEMENTI DI VALUTAZIONE	
3	RESISTENZA CONVENZIONALE	13 <input type="checkbox"/>	24 <input type="checkbox"/>	Numero di piani <b>N</b>	35 <input type="checkbox"/>
				Area totale coperta <b>At</b> (mq)	37 <input type="checkbox"/>
				Area <b>A<sub>x</sub></b> (mq)	41 <input type="checkbox"/>
				Area <b>A<sub>y</sub></b> (mq)	44 <input type="checkbox"/>
				<b>τ<sub>k</sub></b> (t/mq)	47 <input type="checkbox"/>
				Alt. media interpiano <b>h</b> (m)	50 <input type="checkbox"/>
				Peso specifico pareti <b>p<sub>s</sub></b> (t/mc)	52 <input type="checkbox"/>
				Carico permanente solai <b>p<sub>m</sub></b> (t/mc)	54 <input type="checkbox"/>

- Posizione dell'edificio e delle fondazioni:

Tale parametro viene valutato prendendo in considerazione:

- la consistenza (col. 58) e la pendenza percentuale del terreno (col. 56-57)
- eventuali fondazioni a quote diverse (col. 59 ÷ 61)
- spinte non equilibrate di terrapieni (col 58).

Le informazioni sulla consistenza del terreno possono essere desunte anche attraverso certificazioni, dati accertati per fabbricati vicini oppure tramite una ricognizione sul terreno.

L'allegato n. 5 del *Manuale* propone delle utili griglie per la valutazione dei parametri di vulnerabilità e fra queste quella dedicata alla valutazione della posizione dell'edificio e delle fondazioni riassume i possibili casi per facilitare la scelta della classe più corretta.

PARAMETRI		Classi	Qual. Inf.	ELEMENTI DI VALUTAZIONE	
4	POSIZIONE EDIFICIO E FONDAZIONE	14 <input type="checkbox"/>	25 <input type="checkbox"/>	Pendenza percentuale del terreno	56 <input type="checkbox"/>
				Roccia	Fondazioni: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
				Terr. sciolto non sping	Fond. Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
				Terr. sciolto spingente	Fond. Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
				Differen. Max di quota $\Delta h$ (m)	59 <input type="checkbox"/>

- Orizzontamenti:

E' molto importante valutare la qualità degli orizzontamenti, chiamati a garantire il buon funzionamento degli elementi resistenti verticali. I requisiti essenziali, da verificare, sono:

- funzionamento a lastra ed elevata rigidezza per deformazioni nel suo piano;
- efficace collegamento agli elementi verticali resistenti.

Secondo il *Manuale*, il primo dei requisiti citati è legato a tre aspetti: la presenza di una soletta di calcestruzzo, eventualmente armata; la presenza di elementi resistenti a trazione e compressione e di elementi controventanti, la presenza di buone connessioni. Il

secondo requisito è invece verificato alla presenza di getti di cemento armato di collegamento e in presenza di connessioni chiodate, saldate, incollate e ancorate all'interno o all'esterno degli elementi resistenti.

PARAMETRI		Classi	Qual. Inf.	ELEMENTI DI VALUTAZIONE
5	ORIZZONTAMENTI	15 <input type="text"/>	26 <input type="text"/>	Piani sfalsati Si <input type="text"/> 1 No <input type="text"/> 2
				Orizzontamenti rigidi e ben collegati <sup>63</sup> <input type="text"/> 1
				Orizzontam. deformabili e ben collegati <input type="text"/> 2
				Orizzontam. rigidi e mal collegati <input type="text"/> 3
				Orizzontam. deformabili e mal collegati <input type="text"/> 4
				% Orizzontam. rigidi e ben collegati <sup>64</sup> <input type="text"/>

- Configurazione planimetrica:

Con questo parametro si considera la conformazione in pianta dell'edificio, valutando il rapporto fra il lato minore e quello maggiore per i fabbricati rettangolari e l'eventuale scostamento da tale forma. In sostanza, si calcolano due indici ( $\beta_1$  e  $\beta_2$ ), in base ai quali stabilire la classe di riferimento per l'edificio in esame. Per facilitare la compilazione della scheda, anche per questo parametro e per il successivo sono stati predisposti appositi schemi esemplificativi.

PARAMETRI		Classi	Qual. Inf.	ELEMENTI DI VALUTAZIONE
6	CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA	16 <input type="text"/>	27 <input type="text"/>	Rapporto percentuale $\beta_1=a/l$ <sup>66</sup> <input type="text"/>
				Rapporto percentuale $\beta_2=b/l$ <sup>70</sup> <input type="text"/>

- Configurazione in elevazione:

Sono oggetto di tale parametro portici, loggiati e altane, che devono essere segnalati negli appositi spazi della scheda, nonché torri di altezza e massa significativi. Le irregolarità sono tanto più evidenti tanto maggiore è l'altezza della torre rapportata a quella dell'edificio. Occorre inoltre tener presente, nella valutazione di tale parametro, le variazioni dei materiali che possono essere responsabili di cambiamenti nelle caratteristiche di rigidezza e/o resistenza delle strutture verticali.

PARAMETRI		Classi	Qual. Inf.	ELEMENTI DI VALUTAZIONE
7	CONFIGURAZIONE IN ELEVAZIONE	17 <input type="text"/>	28 <input type="text"/>	% aumento (+) o <sup>74</sup> <input type="text"/>
				diminuzione (-) di massa <sup>74</sup> <input type="text"/>
				Rapporto percentuale T/H <sup>77</sup> <input type="text"/>
				Percentuale superficie porticata <sup>79</sup> <input type="text"/>
				Piano terra porticato Si <input type="text"/> No <input type="text"/>

- Distanza massima fra le murature:

I dati rilevati devono consentire l'individuazione dei muri maestri intersecati da quelli trasversali posti a eccessiva distanza. Le classi sono divise in base al rapporto fra l'interasse dei muri trasversali (l) e lo spessore dei muri maestri (s) e, come evidenzia la griglia dell'allegato n. 5, sono stati individuati quattro intervalli quante sono le classi.

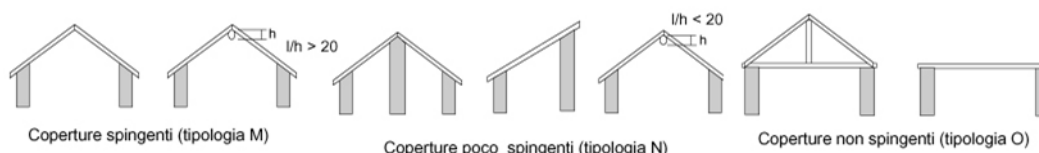
PARAMETRI		Classi	Qual. Inf.	ELEMENTI DI VALUTAZIONE
8	D <sub>MAX</sub> MURATURE	<sup>18</sup> <input type="checkbox"/>	<sup>29</sup> <input type="checkbox"/>	Rapporto massimo l/s <sup>82</sup> <input type="checkbox"/>

- Copertura:

Tale parametro è finalizzato all'analisi dalla tipologia e dal peso delle coperture. Dal primo aspetto si definisce la classe di appartenenza, mentre dal secondo si determina il peso da attribuire al parametro. Gli elementi da valutare sono:

- a. il tipo di copertura peggiore presente: spingente, poco spingente, non spingente (col. 84)
- b. la presenza o assenza di cordoli di sottotetto (col. 85)
- c. la presenza o assenza di catene (col. 86)
- d. il carico permanente della copertura (col. 87 ÷ 89)
- e. la lunghezza d'appoggio  $I_a$  della copertura: il perimetro  $I_a$  della copertura.

Per le coperture la scheda prevede un ultimo schema di richiamo, che rappresenta in maniera semplificata i possibili casi e distingue le coperture spingenti (tipologia M) da quelle poco spingenti (tipologia N) e dalle coperture non spingenti (tipologia O).



PARAMETRI		Classi	Qual. Inf.	ELEMENTI DI VALUTAZIONE
9	COPERTURA	<sup>19</sup> <input type="checkbox"/>	<sup>30</sup> <input type="checkbox"/>	Copert. non sp. <sup>84</sup> <input type="checkbox"/> poco sp. <sup>1</sup> <input type="checkbox"/> sp. <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> Cordoli in copertura Si <sup>85</sup> <input type="checkbox"/> No <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> Catene in copertura Si <sup>86</sup> <input type="checkbox"/> No <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> Carico perman. coper. $p_c$ (t/mq) <sup>87</sup> <input type="checkbox"/> Lungh. Appoggio coper. $I_s$ (m) <sup>90</sup> <input type="checkbox"/> Perimetro copertura $I$ (m) <sup>93</sup> <input type="checkbox"/>
10	ELEM. NON STRUTT.	<sup>20</sup> <input type="checkbox"/>	<sup>31</sup> <input type="checkbox"/>	(vedi manuale)
11	STATO DI FATTO	<sup>21</sup> <input type="checkbox"/>	<sup>32</sup> <input type="checkbox"/>	(vedi manuale)

- Elementi non strutturali:

Con questo parametro si considerano gli infissi, gli aggetti, le appendici che possono causare la caduta di persone e cose. Essendo comunque un elemento secondario ai fini della vulnerabilità, le classi A e B sono state unite.

- Stato di fatto:

Quest'ultimo punto consente di valutare lo stato di conservazione dell'edificio; pertanto, le classi variano in base alla presenza o meno di lesioni.

Per ottenere l'indice di vulnerabilità è indispensabile che agli undici parametri sia attribuita una classe, dalla A alla D, ossia dalla classe *migliore* a quella *peggiore*. A ognuna è assegnato un peso, che indica l'importanza assunta nella stima della vulnerabilità, con riepilogo nella successiva tabella. Moltiplicando il valore di ciascun parametro, dato dalla corrispondente classe, con il rispettivo peso si ottiene un indice parziale. La somma di questi fornisce l'indice di vulnerabilità  $I_v$ , dunque una stima numerica della vulnerabilità sismica di un edificio appartenente a un'area urbanizzata. Tale valore risulta compreso fra 0 e 382.5 ed è normalizzato nell'intervallo 0 - 100.

**Tabella 3.3 - Parametri contemplati nella Scheda GNDT II Livello per Edifici in Muratura.**

EDIFICI IN MURATURA					
PARAMETRO	CLASSE $C_v$				PESO $p_i$
	A	B	C	D	
Tipo ed organizzazione del sistema resistente	0	5	20	45	1.00
Qualità del sistema resistente	0	5	25	45	0.25
Resistenza convenzionale	0	5	25	45	1.50
Posizione dell'edificio e fondazioni	0	5	25	45	0.75
Orizzontamenti	0	5	15	45	Var.
Configurazione planimetrica	0	5	25	45	0.50
Configurazione in elevazione	0	5	25	45	Var.
Distanza massima fra le murature	0	5	25	45	0.25
Copertura	0	15	25	45	Var.
Elementi non strutturali	0	0	25	45	0.25
Stato di fatto	0	5	25	45	1.00

Indice globale di vulnerabilità:  $V = \sum_{i=1}^{11} C_{vi} p_i$        $0 \leq V \leq 382.5$ ;

Indice normalizzato:       $0 \leq V \leq 100$ .

L'indice che si ottiene è una valutazione convenzionale sulla propensione degli edifici al danneggiamento, ma «non fornisce una valutazione assoluta del danno atteso per un dato livello di severità della scossa sismica»<sup>309</sup>. Occorrerebbe, infatti, valutare il legame fra il livello di danno, la qualità dell'edificio e il parametro indicatore della severità del terremoto. Tale correlazione non è semplice, perché sono piuttosto complessi i modelli teorici utili a valutare il danno; inoltre, le metodologie schedografiche nascono per fornire valutazioni rapide estese all'intero patrimonio edilizio e sarebbero incompatibili con l'applicazione di tali modelli. Pertanto, si possono impiegare elaborazioni statistiche per relazionare un indice di danno con un parametro rappresentativo della severità del sisma, come l'accelerazione del suolo, per diversi valori dell'indice di vulnerabilità predefinito.

Le Schede GNDT II per edifici in muratura forniscono una stima quantitativa della vulnerabilità, particolarmente utile nel rappresentare la condizione edilizia delle aree urbanizzate, sia di città estese e popolose, sia di piccoli insediamenti. Per questo le Schede GNDT II sono state applicate anche al caso del Comune di Arsita (TE), che sarà presentato nella terza parte della tesi.

<sup>309</sup> CNR-GNDT, *Rischio sismico di edifici pubblici. Parte I - aspetti metodologici*, Bologna, 1993, p. 54.

### 3.3.1.5 La Metodologia Formisano

Il piccolo centro abruzzese, colpito dal sisma del 2009, è stato oggetto di un approfondito studio di vulnerabilità sismica che ha coinvolto varie metodologie schedografiche. Una metodologia integrativa rispetto alla GNDT appena trattata è quella Formisano<sup>310</sup>, che fornisce degli «indici integrativi», rispetto a quelli già considerati dalle Schede GNDT II, riportati di seguito. In questo caso l'indice di vulnerabilità  $I_v$  è compreso fra -125 e +512.5, ma solitamente normalizzato nell'intervallo 0 - 100. La Metodologia Formisano permette una più attenta valutazione degli aggregati rispetto all'edificio singolo.

**Tabella 3.4 - Parametri contemplati nella Scheda proposta da Formisano.**

FORMISANO (indici integrativi)	CLASSE $C_v$ E PESO $p_i$				
	A	B	C	D	$p_i$
Interazione altimetrica	-20	0	15	45	1.00
Interazione planimetrica	-45	-25	-15	0	1.50
Presenza di solai sfalsati	0	15	25	45	0.50
Discontinuità tipologiche e strutturali	-15	-10	0	45	1.20
Differenza percentuale fra bucatore in facciata	-20	0	25	45	1.00

Indice globale di vulnerabilità:  $V = \sum_{i=1}^n C_{vi} p_i$        $-125 \leq V \leq +512.5$ ;

Indice normalizzato:       $0 \leq V \leq 100$ .

### 3.3.1.6 La Metodologia MEDEA

Una differente metodologia, attualmente di largo impiego nello studio della vulnerabilità, è rappresentata dal modello MEDEA (Manuale di Esercitazioni sul Danno Ed Agibilità)<sup>311</sup>. Inizialmente il metodo era nato come protocollo di raccolta dati sui danni sismici, per integrare le schede di tipo *quantitativo* con una descrizione *qualitativa* dei danneggiamenti subiti dall'edificato. In seguito il metodo si è dimostrato utile, non solo dopo le emergenze post-sismiche, per analizzare le caratteristiche tipologico-costruttive e facilitare la comprensione delle carenze strutturali che possono innescare pericolosi meccanismi di collasso durante un evento sismico. Il metodo, sviluppato del Servizio Sismico Nazionale (oggi Dipartimento della Protezione Civile) e dall'Università di Napoli, come strumento multimediale per l'addestramento dei tecnici, è frutto di una ricerca iniziata nel 1999, poco dopo il terremoto umbro-marchigiano. Le schede, di tipo speditivo, sono state applicate, per la prima volta, dopo il sisma che ha colpito il Molise nel 2002, come supporto alle schede AeDES, valutando il quadro fessurativo presentato dagli edifici e associando ai danneggiamenti rilevati, i meccanismi attivati.

La metodologia MEDEA<sup>312</sup> è stata pensata come uno strumento applicabile sia nella fase post-evento, per agevolare la comprensione dei danneggiamenti subiti dall'edificato, facilitare le valutazioni di agibilità ed eventualmente effettuare una prima stima economica dei costi in emergenza, sia «*in tempo di pace*», per comprendere i fattori di vulnerabilità

<sup>310</sup> M. Indirli, 2B\_01\_f, *Metodologie per la valutazione della vulnerabilità strutturale nel centro storico di Arsita oggetto del piano di ricostruzione*, in <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.

<sup>311</sup> F. Papa, G. Zuccaro, *MEDEA - Un modello di valutazione della vulnerabilità, del danno e dell'agibilità post-sismica*, in Regione Marche, CNR - ITC, Università degli Studi dell'Aquila, *Repertorio dei meccanismi di danno, delle tecniche di intervento e dei relativi costi negli edifici in muratura*, Tipografia Grafiche Scarponi s.r.l., Osimo (AN), 2007, pp. 29-37.

<sup>312</sup> G. Zuccaro (CD a cura di), *Inventario e vulnerabilità del patrimonio edilizio residenziale del territorio nazionale, mappe di rischio e perdite socio - economiche* - Napoli, 2004, pp. 14-27, in <[ftp://ftp.ingv.it/pro/gndt/Att\\_scient/Prodotti\\_attesi\\_2004/Dolce\\_Zuccaro/Mappe/SAVE\\_task1.pdf](ftp://ftp.ingv.it/pro/gndt/Att_scient/Prodotti_attesi_2004/Dolce_Zuccaro/Mappe/SAVE_task1.pdf)>.







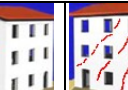






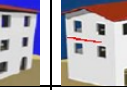
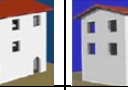






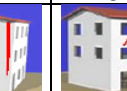
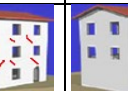
tipologico-strutturale, cui sono imputabili i meccanismi potenzialmente attivabili. Il prodotto multimediale ha quattro finalità:

- a) un manuale di base per una più omogenea categorizzazione sia dei singoli elementi strutturali, sia delle tipologie di danno per ciascuno di essi;
- b) uno strumento didattico da utilizzare in corsi di formazione indirizzati a tecnici preposti a verifiche di agibilità in fase di emergenza;
- c) uno strumento di supporto per una scheda di agibilità più avanzata rispetto alla scheda attualmente in uso;
- d) un supporto alle analisi macrosismiche sul campo<sup>313</sup>.

Tale strumento dispone di una sezione preliminare che raccoglie all'interno di un glossario i principali termini scientifici e che si avvale di un archivio di immagini per descrivere le differenti tipologie strutturali e i vari livelli di danneggiamento. Il materiale fornito è un importante riferimento per i tecnici chiamati a interpretare i danni sismici in modo oggettivo. Anche le schede speditive, per questo, sono corredate da una rassegna iconografica sui possibili danneggiamenti, che facilita la lettura strutturale. Per gli edifici ordinari in muratura la raccolta comprende:

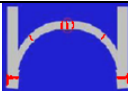
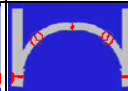
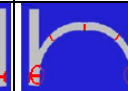
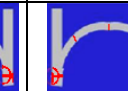



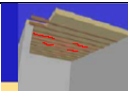


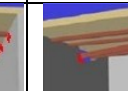

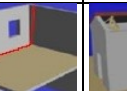
- 23 tipologie di danno alle strutture verticali (V1-V23);
- 13 tipologie di danno alle strutture orizzontali (H1-H13).

**Tabella 3.5 - Relazione tra danno e meccanismi nella Metodologia MEDEA.**

DANNO ALLE STRUTTURE VERTICALI							
V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
<i>dovuto al meccanismo:</i>							
M1 M6 M12	M2 M6	M1 M7	M2 M14	M8	M4 M7 M11 M12 M14 M15	M1	M1 M2
<i>lesioni diagonali nei maschi murari</i>							
							
<i>pannelli inferiori</i>	<i>pannelli superiori</i>	<i>nei cantonali</i>	<i>angolo di sommità</i>	<i>angolo in basso</i>	<i>parapetti e architravi</i>	<i>intera altezza</i>	<i>timpano /tetto</i>
V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16
<i>dovuto al meccanismo:</i>							
M3 M4 M6 M10	M1 M2 M3 M4	M1 M2 M3 M4 M6 M10	M13	M4 M11 M12 M14 M15	M3 M4 M7	M1 M2	M1 M12 M16
<i>lesioni verticali</i>	<i>lesioni diagonali</i>	<i>danno o deformazione</i>	<i>distacco timpano</i>	<i>lesioni verticali</i>	<i>lesioni orizzontali</i>		<i>lesioni verticali</i>
							
<i>connessioni murarie (croci di muri, spine)</i>	<i>catene, ancoraggi</i>		<i>timpano /tetto</i>	<i>fasce di piano</i>	<i>livelli di solaio</i>	<i>maschi murari</i>	<i>schiacciamento muratura</i>
V17	V18	V19	V20	V21	V22	V23	
<i>dovuto al meccanismo:</i>							
M9 M12	M9 M12	M5 M10 M13 M15	M5 M6	M3 M4 M16	M8	M8	
<i>lesioni diagonali</i>	<i>lesioni verticali</i>	<i>espulsione di materiale</i>	<i>deformazione o spianamento</i>	<i>fuori piombo o rotazione</i>	<i>lesioni diagonali</i>	<i>lesioni verticali</i>	
							
<i>discontinuità o interfaccia tra edifici</i>		<i>travi solai/tetto</i>	<i>muri verticali</i>		<i>cedimento delle fondazioni</i>		

<sup>313</sup> *Ibid.*, p. 15.



DANNO ALLE STRUTTURE ORIZZONTALI						
H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
<i>dovuto al meccanismo:</i>						
M16	M16	M16	M16			M8 M16
<i>lesioni in chiave</i>	<i>lesioni alle reni</i>	<i>lesioni al piede</i>	<i>schacciamento al piede</i>	<i>lesioni trasversali</i>	<i>distacco volte/muri</i>	<i>sfilamento, rottura</i>
						
<i>volte, archi</i>				<i>volte a botte</i>	<i>volte, archi</i>	<i>contrafforti, catene</i>
H8	H9	H10	H11	H12	H13	
<i>dovuto al meccanismo:</i>						
M1 M2 M3 M4 M5		M3 M4 M5 M6 M10 M13 M14 M15	M1 M2 M3 M4 M5 M6 M8 M11 M12 M14 M15	M3 M4 M5, M6 M7 M9 M10 M15	M7	
<i>lesioni // orditura</i>	<i>lesioni ⊥ orditura</i>	<i>sfilamento appoggi</i>	<i>cedimento appoggi</i>	<i>lesioni da distacco</i>	<i>perdita vertical. capriate</i>	
						
<i>solai e coperture</i>				<i>collegam. solai/ tetto vs muri</i>	<i>coperture</i>	

Alla classificazione dei danni si associano i possibili meccanismi di collasso catalogati. Questi sono in tutto sedici e l'abaco distingue i meccanismi globali da quelli locali. I primi interessano la struttura nel suo complesso: comprendono sia i meccanismi nel piano, sia quelli fuori del piano; i secondi riguardano porzioni localizzate dell'edificio o singoli elementi e non pregiudicano l'intero equilibrio strutturale.

I cosiddetti meccanismi *nel piano* si verificano quando le pareti della scatola muraria presentano lesioni a x dovute ad azioni complanari in entrambe i versi, un comportamento che può essere attribuito alla scarsa capacità di reazione delle murature alla trazione.

I cinematismi definiti *fuori del piano* si innescano a causa dello scarso ammorsamento delle pareti e sono eventualmente favoriti dall'azione spingente di solai e coperture. In questo caso la scatola muraria arriva a perdere la configurazione originaria.

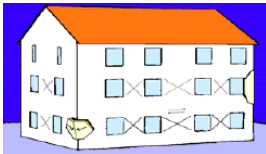
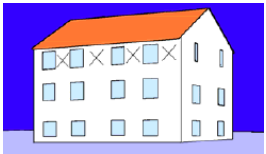
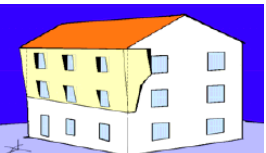
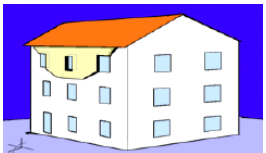
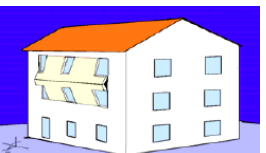
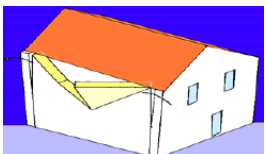
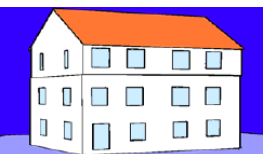
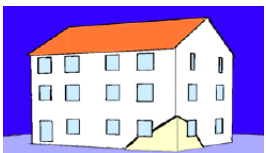
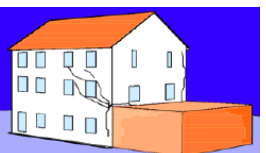

Fanno parte del gruppo dei meccanismi globali anche quelli che, pur non essendo riconducibili nelle precedenti sottocategorie, possono provocare la perdita dell'equilibrio statico e dinamico dell'edificio, come lo sfilamento delle travi del solaio o il martellamento fra strutture adiacenti.

Nel Capitolo 4 si descriveranno con maggior dettaglio i meccanismi considerati nella Metodologia MEDEA; questi sono anche definiti come meccanismi del primo e del secondo modo.

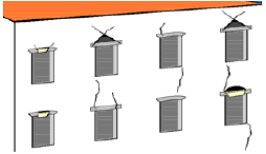
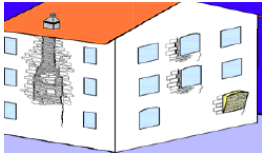
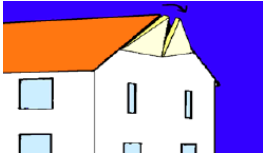
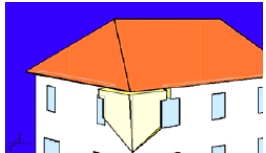

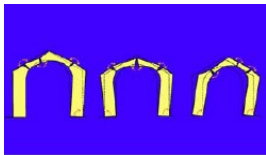
Fra i meccanismi definiti locali occorre considerare quelli causati da dislocazioni locali, che possono manifestarsi per cedimento di archi e piattabande o in parti dell'edificio caratterizzate da irregolarità strutturali: si pensi ai consolidamenti realizzati con materiali diversi da quelli dell'edificio, come il cemento armato, che determina variazioni di rigidità. La conseguenza è l'espulsione di materiale nelle zone interessate. Nel gruppo dei meccanismi locali si annoverano anche quelli dovuti a elementi spingenti, che producono spinte orizzontali sulle strutture su cui insistono, come i puntoni di un tetto e le strutture voltate non contrastate da adeguati collegamenti.

**Tabella 3.6 - Classificazione dei meccanismi secondo la Metodologia MEDEA.**

**MECCANISMI GLOBALI**

1. Da taglio della parete per azioni nel piano		2. Da taglio della parete per azioni nel piano localizzato solo nella zona alta	
3. Da ribaltamento della intera parte		4. Da ribaltamento parziale della parete	
5. Da instabilità (verticale) della parete		6. Da rottura a flessione della parete	
7. Da scorrimento di piano orizzontale		8. Da cedimento fondale	
9. Da irregolarità tra strutture adiacenti		10. Per sfilamento delle travi del solaio dalla parete di supporto	

**MECCANISMI LOCALI**

11. Per cedimento di architravi e/o piattabande		12. Da irregolarità del materiale, debolezze locali, etc.	
13. Da ribaltamento della parte del timpano		14. Da ribaltamento della parete alta del cantonale	
15. Da ribaltamento della fascia sottotetto		16. Da rotazione delle spalle di volte o archi	

Attraverso la classificazione dei meccanismi e dei danni compatibili è stato proposto un Indice di Agibilità, «in grado di dare un orientamento rispetto allo stato della costruzione nel percorso che porta la struttura dallo stato di equilibrio pre-evento all'eventuale collasso»<sup>314</sup>.

La procedura è stata calibrata sulla base dei dati raccolti nel comune di San Giuliano di Puglia (Molise) nel 2002. L'indice di Agibilità  $I_A$  rappresenta un «un ulteriore parametro di valutazione euristico»<sup>315</sup>. La metodologia<sup>316</sup> si basa sull'analisi del grado di evoluzione dei

<sup>314</sup> F. Papa, G. Zuccaro, *op. cit.*, p. 36.

<sup>315</sup> *Ibid.*, p. 37.

<sup>316</sup> G. Zuccaro, *op. cit.*, pp. 20-22.

meccanismi di collasso attivati e delle corrispondenti tipologie di danno, cui si assegna un punteggio variabile fra 1 e 3, in relazione alla severità del danno riscontrato. Si ottiene in questo modo una matrice di compatibilità meccanismi/danni, presente nella scheda speditiva. Analogamente alla procedura seguita nelle schede GNDT II, a ogni meccanismo si associa un «coefficiente di “importanza”»,  $C_i$ , proporzionale alla capacità, di ciascun meccanismo, di portare la struttura al collasso.

**Tabella 3.7 - Parametri contemplati nella Metodologia MEDEA**

Codice	Meccanismo	$C_i$
M1	Da taglio nella parete per azioni nel piano	0.5
M2	Da taglio nella parete per azioni nel piano localizzate solo nella parte alta	0.5
M3	Da ribaltamento dell'intera parete	1
M4	Da ribaltamento parziale della parete	1
M5	Da instabilità (verticale) della parete	1
M6	Da rottura a flessione della parete	1
M7	Da scorrimento di piano orizzontale	0.5
M8	Da cedimento fondale	0.5
M9	Da irregolarità tra strutture adiacenti	0.5
M10	Per sfilamento delle travi di solaio dalla parete di supporto	0.5
M11	Per cedimento di architravi o piattabande	0.25
M12	Da irregolarità del materiale, debolezze locali etc.	0.25
M13	Da ribaltamento della parete del timpano	0.25
M14	Da ribaltamento della parete alta del cantonale	0.25
M15	Da ribaltamento della fascia sottotetto	0.25
M16	Da rotazione di spalle di volte o archi	0.25

Per determinare l'Indice di Agibilità dell'edificio  $I_A$  occorre calcolare il livello medio di danno associato al meccanismo  $i$ -esimo in riferimento ai danni compatibili.

$$\overline{Ld}_i = \frac{\sum_{j=1}^n Ld_{ij}}{k_i}$$

$Ld_{ij}$  rappresenta il livello di gravità del danno  $j$  rispetto al meccanismo  $i$  con un valore variabile fra 0 e 3;

$n$  è il numero totale di danni dall'abaco MEDEA;

$k_i$  è il numero di danni osservati tra i compatibili al meccanismo  $i$ .

In seguito, si determina il valore di  $Ld_i$  dato dalla media fra  $\overline{Ld}_i$  e  $Ld_{max}$ :

$$Ld_i = \frac{\overline{Ld}_i + Ld_{max}}{2}$$

dove  $Ld_{max} = \text{Max}(Ld_i)$

Con i dati così ottenuti è possibile calcolare il valore dell'indice  $P_i$ , riferito al meccanismo  $i$ -esimo:

$$P_i = Ld_i \cdot C_i$$

Noti i valori di  $P_i$ , si sceglie quello prevalente, ossia il valore maggiore che si normalizza rispetto al valore di  $Ld_{ij}$  pari a 3, così da ottenere l'Indice di Agibilità dell'edificio, compreso fra 0 e 1:

$$I_A = \frac{P_{i \max}}{3}$$

Nel caso di San Giuliano di Puglia (CB), è stato verificato che agli edifici classificati con un basso indice  $I_A$  corrispondevano esiti di agibilità del gruppo A o B, piuttosto che edifici inagibili, classificati come E. Sono stati, quindi, confrontati gli edifici del gruppo E e il danno globale osservato con gli intervalli dell'indice  $I_A$  calcolati. Tale valutazione ha evidenziato come, per  $I_A > 0.44$ , gli edifici risultavano inagibili e a questi corrispondeva un danno globale ( $D_G$ ) D3 o D4. Il significato dell'Indice di Agibilità, dunque, è sembrato meglio correlabile col danno, che con gli esiti di agibilità delle AeDES e, senza tener conto del danno D0 (assenza di danno) e di quello D5 (collasso totale), è stata ottenuta la distribuzione di probabilità del danno globale (da D1 a D4, secondo la scala EMS98) rispetto all'Indice di Agibilità.

### 3.3.1.7 La Metodologia FaMIVE

Lo studio della vulnerabilità sismica è stato condotto anche con l'ausilio della Metodologia FaMIVE (Failure Mechanisms Identifications and Vulnerability Evaluation)<sup>317</sup> sviluppata dall'Università di Bath (UK). Essa propone un'innovativa procedura basata sulla valutazione del comportamento delle murature, su un'accurata modellazione e sulla simulazione degli effetti dei rafforzamenti. Le schede sono nate come modulo elettronico e i dati sono immagazzinati in un database disponibile online. La Metodologia FaMIVE è stata applicata, in Italia, in diversi casi: a quattro città marchigiane, Offida (AP), Treia (MC), Cagli (PU) e Serra dei Conti (AN); i Comuni, scelti per dimensione e localizzazione, sono piccoli insediamenti storici, rilevati grazie a ricerche interdisciplinari, finanziate dal gruppo GNDT e dalla Regione Marche; un'applicazione del Famive ha riguardato anche San Giuliano di Puglia (CB) dopo il terremoto del 2002<sup>318</sup>.

The image shows a complex data collection form for the FaMIVE methodology. It is divided into several sections, each with a red box and a number indicating a specific field of interest:

- 1 DATI TESSUTO URBANO:** Includes fields for urban context such as '1-1 Vie di fuga e uscite emergenza', '1-2 Forma e composizione dei blocchi', and '1-3 Numero di edifici nel blocco'.
- 2 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA FACCIATA:** Includes fields for facade geometry like '2-1 Orientamento facciata', '2-2 Numero di piani dell'edificio', '2-3 Numero di piani della facciata', and '2-4 Lunhezza facciata'.
- 3 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLE APERTURE:** Includes fields for opening characteristics such as '3-1 Numero di aperture per piano' and '3-2 Stima dimensioni aperture'.
- 4 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE PONTA:** Includes fields for corner characteristics like '4-1 Spessore muro inferiore della facciata' and '4-2 Spessore muro superiore (%)'.
- 5 CARATTERISTICHE STRUTTURALI:** Includes fields for structural details such as '5-1 N. piani con strutture a volta', '5-2 Tipologia solaio', and '5-3 Orditura solaio'.
- 6 ULTERIORI ELEMENTI DI VULNERABILITÀ:** Includes fields for additional vulnerability elements like '6-1 Presenza di soptelevazioni' and '6-2 Dimensione della soptelevazione'.
- 7 LIVELLI DI DANNO E IDENTIFICAZIONE MECCANISMI:** A table for identifying damage levels and mechanisms, with columns for 'Classe', 'Tipo', and 'Piani D'.

Fig. 3.13 Scheda di rilievo della Metodologia FaMIVE

<sup>317</sup> D. D'Ayala, E. Speranza, *An integrated procedure for the assessment of seismic vulnerability of historic buildings*, 12th European Conference on Earthquake Engineering, Londra, 9 - 13 settembre 2002, in [http://home.anadolu.edu.tr/~yguney/cemil\\_historical/Historical\\_Buildings/oct\\_2006/strengthening/ar561D'Ayala.pdf](http://home.anadolu.edu.tr/~yguney/cemil_historical/Historical_Buildings/oct_2006/strengthening/ar561D'Ayala.pdf).

<sup>318</sup> M. Indirli, P. Clemente, B. Spadoni, R. Cami, E. Speranza, M. Mucciarella, F. Pistola, *Seismic protection of historical centers using innovative techniques, with focus on San Giuliano di Puglia after the 2002 Molise earthquake*, Proc. Structural analysis of historical construction (SAHC)", IV International Seminar, Padova, Italia, 10-13 novembre 2004.

Più recentemente il metodo è stato adottato nell'elaborazione del Piano di Ricostruzione per il Comune di Arsita (TE), un nucleo urbano ancor più piccolo, di circa 1000 abitanti<sup>319</sup>.

FaMIVE si basa su una analisi statica equivalente; lo scopo della procedura è: «to predict the ultimate load factor (in % of g) of the lateral loads which will trigger the onset of a specific failure mechanism»<sup>320</sup>. Il processo di valutazione è articolato in alcuni step, dalla fase di rilievo e acquisizione dati, alla fase di informatizzazione ed elaborazione; dunque, non può essere considerato solo uno strumento di tipo speditivo, ma può essere inteso anche come una procedura analitica *on desk*.

Nella prima fase del lavoro, il rilevatore è chiamato a individuare gli schemi tipologici ricorrenti e, analogamente, le tipologie murarie, nonché a valutare la qualità della tessitura. I dati sulla tipologia edilizia rappresentano una testimonianza della tradizione costruttiva locale e servono a delineare i caratteri architettonici e gli aspetti strutturali, specifici dei centri storici. Lo studio delle tessiture ricorrenti nell'area esaminata è utile, invece, a valutare le caratteristiche meccaniche delle diverse murature individuate. Durante la fase conoscitiva si analizzano sia i vincoli esistenti fra le pareti ortogonali e fra queste e gli orizzontamenti, sia gli aspetti dimensionali delle componenti edilizie. L'indagine è eseguita per ogni facciata dell'unità strutturale ed è basata sull'osservazione e sul rilievo.

La scheda di rilevamento è composta di sette sezioni, per ognuna delle quali deve essere espresso anche il livello di attendibilità dell'informazione (alta, media o bassa):

- dati del tessuto urbano;
- caratteristiche geometriche della facciata;
- caratteristiche geometriche delle aperture;
- caratteristiche geometriche della pianta;
- caratteristiche strutturali;
- ulteriori elementi di vulnerabilità;
- livelli di danno e identificazione dei meccanismi.

La scheda FaMIVE fornisce, nell'ultima sezione, un elenco dei possibili meccanismi. Quelli associati alle lettere dalla A alla E rappresentano i diversi tipi di ribaltamento della facciata, che si differenziano in base al livello di connessione con le pareti adiacenti; i meccanismi F e G rappresentano due forme di effetto arco, verticale e orizzontale, il primo di questi può verificarsi in concomitanza con gli altri tipi di ribaltamento, in base ai piani eventualmente rinforzati con appositi dispositivi; la H indica i meccanismi dovuti ad azioni orizzontali nel piano della facciata; gli ultimi due meccanismi sono riferiti a lesioni localizzate; infine, è possibile aggiungere ai meccanismi citati eventuali danneggiamenti dovuti al collasso della copertura o dei piani oppure causati dalla scarsa qualità del paramento murario. La procedura correla i meccanismi di collasso attivabili alle specifiche caratteristiche costruttive delle pareti che formano la scatola muraria (Fig. 3.14).

E' fondamentale associare, inoltre, a ogni unità esaminata la corretta tipologia edilizia di appartenenza, fra quelle individuate, così da tener presente anche gli aspetti propri degli interni edilizi, che altrimenti risulterebbero sconosciuti. Si tratta di un dato presunto, basato su considerazioni tipologiche e distributive e in quanto tali, i dati assunti implicano un certo margine di incertezza.

<sup>319</sup> M. Indirli, S. Bruni, F. Geremei, G. Marghella, A. Marzo, L. Moretti, A. Formisano, C. Castaldo, L. Esposito, G. Florio, R. Fonti, E. Spacone, S. Biondi, E. Miccadei, I. Vanzi, A. Tralli, C. Vaccaro, T. Gambatesa, *The reconstruction plan of the town of Arsita after the 2009 Abruzzo (Italy) seismic event*, Proc. SAHC 2014 – 9<sup>th</sup> International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, Mexico City, Messico, 14–17 ottobre 2014.

<sup>320</sup> "di prevedere il fattore di carico ultimo (in % di g) dei carichi laterali che attiverà l'insorgenza di uno specifico meccanismo di collasso".

*Ibid.*, p. 2.

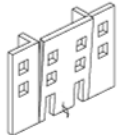




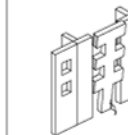
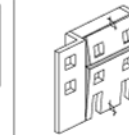





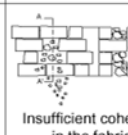
A	B1	B2	C	D	E	F
VERTICAL OVERTURNING	OVERTURNING WITH 1 SIDE WING	OVERTURNING WITH 2 SIDE WINGS	CORNER FAILURE	PARTIAL OVERTURNING	VERTICAL STRIP OVERTURNING	VERTICAL ARCH
						
		FURTHER PARTIAL FAILURES		ASSOCIATED FAILURES		
G	H	I	L			
HORIZONTAL ARCH	IN PLANE FAILURE	VERTICAL ADDITION	GABLE OVERTURNING	ROOF/FLOORS COLLAPSE	MASONRY FAILURE	
						

Fig. 3.14 I meccanismi considerati nella Metodologia FaMIVE (in D'Ayala, Speranza, 2002)

Utilizzando le informazioni raccolte, la procedura individua le condizioni di carico e di vincolo da associare alle pareti, nonché i possibili meccanismi attivabili. Per ognuno di questi viene valutato il fattore di carico massimo, rappresentato da un indice, detto ESC, ossia «equivalent shear capacity»<sup>321</sup>, espresso in termini percentuali di accelerazione di gravità. Proprio a partire da queste informazioni si sceglie, fra i fattori di carico associati ai meccanismi possibili, quello più basso, per poi stabilire la classe di vulnerabilità dell'unità esaminata.

### 3.3.1.8 La Scheda di 1° Livello per il Rilievo della Tipologia e della Qualità della Muratura

Conoscere le caratteristiche delle murature è molto importante ai fini di un'attendibile valutazione della vulnerabilità sismica. Per questo, dalla collaborazione fra la Rete dei Laboratori di Ingegneria Sismica (ReLUIS), il Dipartimento della Protezione Civile e il Politecnico di Milano è nata una specifica *Scheda di 1° livello per il Rilievo della Tipologia e della Qualità della Muratura*<sup>322</sup>. La scheda è organizzata in cinque sezioni e fornisce, attraverso una progressiva lettura del manufatto esaminato, una chiara identificazione qualitativa della tipologia muraria, con riferimento alle definizioni contenute nell'ordinanza 3274/2005, nella tabella 11.D.1, e a quelle della NTC 14/01/08, nella tabella C8B.1.

Riepiloghiamo di seguito la struttura del format.

Il primo campo, che occupa la prima parte della scheda, riguarda l'UBICAZIONE / IDENTIFICAZIONE dell'edificio. Oltre ai dati inerenti alla localizzazione e all'epoca di costruzione, nella scheda sono disponibili appositi spazi per gli elaborati grafici: dalle planimetrie in scala, d'insieme e di dettaglio, alle foto dell'edificio, al rilievo in pianta e in sezione delle murature, accompagnate, anche in questo caso, da immagini esplicative.

La seconda parte della scheda riguarda le sezioni dalla 2 alla 5. I dati raccolti sono utili a capire se le murature in esame sono state realizzate o no secondo la *regola dell'arte*, che dettava *sani principi* per la corretta costruzione di una muratura compatta e monolitica. Gli accorgimenti costruttivi della regola dell'arte possono essere adottati quali indicatori della qualità muraria. Non è tuttavia semplice formulare un giudizio, a causa, talvolta, delle complesse operazioni di rilievo oppure per la necessità, nel caso in cui i paramenti siano difficilmente osservabili, di effettuare saggi.

<sup>321</sup> "capacità di taglio equivalente".

*Ibid.*, p. 3.

<sup>322</sup> *Scheda di Primo Livello per il Rilievo della Tipologia e della Qualità della Muratura*, Progetto Reluis d.p.c. 2005-09.



Tali accorgimenti<sup>323</sup> sono stati così riassunti:

- buona qualità della malta (MA.). Il suo ruolo è di regolarizzare la superficie degli elementi lapidei in modo da garantire il buon assemblaggio degli elementi. La malta serve anche a ripartire le azioni agenti uniformemente, per questo, la buona qualità del materiale favorisce una buona resistenza della muratura. Quando il paramento risulta irregolare e la malta è degradata, piccole pietre inserite fra i giunti, le “zeppe”, possono collaborare alla trasmissione dei carichi. La qualità della malta diventa molto importante soprattutto se le altre buone regole sulla costruzione muraria sono trascurate;
- presenza di diatoni (P. D.). Sono quegli elementi passanti nello spessore della parete, responsabili dell'ingranamento trasversale. Sono utili a rendere i paramenti accostati più coesi e servono, ancora una volta, a migliorare la distribuzione dei carichi agenti;
- forma degli elementi (F. EL.). La forma squadrata è quella che favorisce le forze d'attrito, grazie alle quali la parete risponde alle azioni orizzontali e a quelle complanari. «Infatti l'attrito si mobilita principalmente sotto l'effetto della forza peso della muratura sovrastante la superficie di scorrimento e si massimizza se le superfici di scorrimento sono ortogonali alla forza peso»;
- dimensione degli elementi (D. EL.). Quelli di grosse dimensioni rendono più monolitica la parete, inoltre se ben ingranati sono più difficili da muovere;
- presenza di sfalsamento fra i giunti verticali (S.G.). Dimostrano che la tessitura muraria presenta un buon livello di ingranamento fra gli elementi. «Tale condizione, insieme alla forma squadrata delle pietre permette “l'effetto catena” che fornisce una certa resistenza a trazione della muratura»;
- presenza di filari orizzontali (OR). Anche questo accorgimento è utile per la buona ripartizione dei carichi verticali. Inoltre, durante l'azione sismica la presenza di filari orizzontali «consente l'oscillazione attorno a cerniere cilindriche orizzontali». Se la muratura è realizzata in pietrame di varia dimensione, i ricorsi in mattoni assumono proprio tale funzione;
- buona qualità degli elementi resistenti (RE. EL.). Si tratta di un consiglio utile non solo a evitare l'impiego di materiali «deboli», come i mattoni di fango, tipici di alcune culture costruttive, ma utile anche a garantire, soprattutto nelle costruzioni più recenti, che la percentuale di forature non sia eccessiva o che i materiali impiegati non siano soggetti a forme di degrado, responsabili dell'eventuale perdita di resistenza.

La sezione dedicata alla TESSITURA DEL PARAMENTO ha lo scopo di raccogliere dati sulla posa, più o meno ordinata, degli elementi lapidei. In base ai diversi tipi di apparecchiatura, si possono formulare considerazioni sulla capacità resistente della muratura. Nella scheda devono essere riportate, in scala, il disegno del paramento e la restituzione fotografica nonché le indicazioni sul ruolo strutturale, sulla tipologia della muratura, sulla presenza di ricorsi, listature e zeppe, e ancora sull'apparecchiatura dei filari e sullo sfalsamento dei giunti verticali. Il pacchetto informativo può essere elaborato attraverso un rilievo *da strada*, producendo schizzi dettagliati di una porzione significativa della muratura esterna.

<sup>323</sup> A. Borri, G. Cangì, A. De Maria, C. Donà, *Metodi qualitativi per la valutazione della qualità muraria*, in AA. VV., *Manuale delle murature storiche*, Vol. 1, direttore scientifico A. Borri, a cura di C. Donà, A. De Maria, D.E.I. tipografia del Genio Civile, Roma, 2011, pp. 238-239.



2.1 RUOLO STRUTTURALE	2.2 TIPOLOGIA	2.6 APPARECCHIATURA/ORIZZONTALITÀ DEI FILARI
<input type="checkbox"/> Muratura d'ambito <input type="checkbox"/> Muratura di spina <input type="checkbox"/> Pilastro <input type="checkbox"/> Tamponamento <input type="checkbox"/> Muratura interna	<input type="checkbox"/> Pietra <input type="checkbox"/> Altro <input type="checkbox"/> Mattoni <input type="checkbox"/> Altro <input type="checkbox"/> Blocchi di tufo <input type="checkbox"/> Blocchi di cls <input type="checkbox"/> Mista	<input type="checkbox"/> Irregolare (Orizzontamenti NR) <input type="checkbox"/> A corsi sub-orizzontali (Orizzontamenti PR) <input type="checkbox"/> A corsi orizzontali (Orizzontamenti R)
<b>2.3 RICORSI</b>	<b>2.4 ORIZZONT./LISTATURE</b>	 [restituzione grafica del paramento con segnalazione dei giunti orizzontali continui]
Assenti <input type="checkbox"/> Presenti <input type="checkbox"/> ogni m. <input type="checkbox"/>	Assenti <input type="checkbox"/> Presenti <input type="checkbox"/> ogni m. <input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> In elementi più grandi <input type="checkbox"/> In mattoni <input type="checkbox"/> In cls	<b>2.5 ZEPPE</b> Assenti <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> In pietra <input type="checkbox"/> In cotto	
<b>2.7 SFALSAMENTO DEI GIUNTI VERTICALE</b>		<b>OSSERVAZIONI</b>
<input type="checkbox"/> Non rispettato (S.G. NR) <input type="checkbox"/> Parzialmente rispettato (S.G. PR) <input type="checkbox"/> Rispettato (S.G. R)	 [restituzione grafica del paramento con segnalazione dei giunti verticali continui]	

La sezione 3 della seconda parte della scheda si intitola: CARATTERIZZAZIONE MATERIALI DEL PARAMENTO e raccoglie informazioni sugli elementi lapidei e sulla malta. Mentre le attuali costruzioni di opere in muratura si basano su un insieme di norme che regolamentano l'uso dei mattoni e delle malte, come la DIN 1053 - *Opere in muratura, computo e costruzione*<sup>324</sup>; nell'edilizia storica si ricorreva spesso a *regole* tramandate di padre in figlio e la scelta dei materiali era condizionata dalle disponibilità locali, nonché dalle tradizioni costruttive. La scheda, per questo, intende riepilogare un insieme di dati, sulla tipologia degli elementi lapidei e sulla loro provenienza, sul tipo di lavorazione e sullo stato di conservazione del paramento, sulla regolarità degli elementi e sulla loro dimensione.

Un'indagine analoga è condotta anche sulle malte, che, in relazione al ruolo assunto, possono essere di allettamento o di riempimento. Nel primo caso la muratura sarà caratterizzata da ricorsi orizzontali di pietre o laterizi; nel secondo si tratterà di una muratura a sacco. La resistenza della malta è valutata, invece, attraverso la sua consistenza che dipende dalla capacità di sbriciolarsi o di spezzarsi, esercitando manualmente una pressione su di essa. Questa è una delle proprietà principali del materiale, infatti, il documento NorMal 23/86<sup>325</sup> definiva la malta come: «una miscela di leganti inorganici, aggregati prevalentemente fini, acqua ed eventuali composti inorganici (o una miscela di solo legante ed acqua) in proporzioni tali da conferire alla miscela, allo stato fresco, un'opportuna lavorabilità e, allo stato indurito, adeguate caratteristiche fisico-meccaniche (resistenza, deformabilità, aderenza, porosità, permeabilità all'acqua in fase vapore e in fase liquida, ecc.), di aspetto, di durabilità, ecc». Anche il tipo e la forma dell'aggregato sono indicativi delle proprietà meccaniche della malta e secondo il documento NorMal 36/92<sup>326</sup> l'aggregato è proprio un materiale «che viene aggiunto ad un legante al fine di ridurre i fenomeni di ritiro dell'impasto e modificare le proprietà meccaniche».

<sup>324</sup> W. Belz, K. Gösele, K. Hoffmann, R. Jenisch, R. Pohl, H. Reichert, *Atlante della Muratura*, Utet, Torino, 1998, pp. 70-80.

<sup>325</sup> Terminologia Tecnica: Definizione e Descrizione delle Malte - CNR-ICR, Roma 1987, già sostituito dall'UNI 10924 (2001) BC, in L. Zevi (direttore scientifico), *il Manuale del Restauro Architettonico*, Mancosu Editore, Roma, 2001, C46.

<sup>326</sup> Glossario per l'edilizia storica nei trattati dal XV al XIX secolo - CNR-ICR, Roma 1994.

<b>3.1 ELEMNTI LAPIDEI</b>			
<b>3.1.1 Tipo di elemento</b> <input type="checkbox"/> Arenaria <input type="checkbox"/> Calcare <input type="checkbox"/> Travertino <input type="checkbox"/> Tufo <input type="checkbox"/> Mattoni cotti <input type="checkbox"/> Mattoni crudi <input type="checkbox"/> Altro _____	<b>3.1.2 Provenienza</b> <input type="checkbox"/> Scavo locale <input type="checkbox"/> Greto del fiume <input type="checkbox"/> Cava	<b>3.1.3 Lavorazione</b> <input type="checkbox"/> Assente <input type="checkbox"/> Appena sbozzata <input type="checkbox"/> Spigoli fini e faccia vista non lavorata	<b>3.1.4 Stato di conservazione</b> <input type="checkbox"/> Buono <input type="checkbox"/> Mediocre <input type="checkbox"/> Cattivo <input type="checkbox"/> Pessimo
<b>3.1.5 Regolarità (forma) degli elementi</b> <input type="checkbox"/> Non rispettato (R.EL. NR) <input type="checkbox"/> Parzialmente rispettato (R.EL. PR) <input type="checkbox"/> Rispettato (R.EL. R)		<b>3.1.6 Dimensioni degli elementi</b> <input type="checkbox"/> Non rispettato (D. EL.) < 15 cm <input type="checkbox"/> Parzialmente rispettato (D.EL.) 15 cm÷25 cm <input type="checkbox"/> Rispettato (D.EL.) > 25 cm	
<b>3.1 MALTA</b>		<b>3.1.7 Qualità della malta/Stato di conservazione/Aderenza</b>	
<b>3.2.1 Funzione</b> <input type="checkbox"/> Allettamento <input type="checkbox"/> Stilatura <input type="checkbox"/> Riempimento <b>3.2.2 Consistenza</b> <input type="checkbox"/> Incoerente <input type="checkbox"/> Friabile <input type="checkbox"/> Compatta <input type="checkbox"/> Tenace <b>3.2.3 Colore della malta</b> _____	<b>3.2.5 Tipo di aggregato</b> <input type="checkbox"/> Sabbia <input type="checkbox"/> Ghiaietto <input type="checkbox"/> Ghiaia <b>3.2.6 Forma dell'aggregato</b> <input type="checkbox"/> Arrotondata <input type="checkbox"/> Spigolosa <b>3.2.4 Colore aggr.</b> _____	<input type="checkbox"/> Non rispettato (MA. NR) <input type="checkbox"/> Parzialmente rispettato (MA. PR) <input type="checkbox"/> Rispettato (MA. R)	

Il successivo punto 4 riguarda la SEZIONE MURARIA. Foto e sezioni sono accompagnate dai valori percentuali e dall'istogramma di pietre, malta e vuoti. La scheda, come nel caso precedente, raccoglie tutte quelle informazioni che sono utili a mettere in evidenza il comportamento delle murature. Pertanto, accanto al ruolo strutturale e alla tipologia della muratura, si analizza, in particolare, la sezione del paramento.

<b>4.1 RUOLO STRUTTUR.</b> <input type="checkbox"/> Muratura d'ambito <input type="checkbox"/> Muratura di spina <input type="checkbox"/> Pilastro <input type="checkbox"/> Tamponamento <input type="checkbox"/> Muratura interna	<b>4.2 TIPOLOGIA</b> <input type="checkbox"/> Pietra <input type="checkbox"/> Mattoni <input type="checkbox"/> Blocchi di tufo <input type="checkbox"/> Blocchi di cls <input type="checkbox"/> Mista	<b>4.3 TIPO DI SEZIONE</b> <input type="checkbox"/> Paramento unico <input type="checkbox"/> 3 paramenti <input type="checkbox"/> 2 paramenti accostati <input type="checkbox"/> 2 paramenti parzialmente ammorsati <input type="checkbox"/> 2 paramenti ammorsati	<b>4.4 SPESSORE SEZIONE</b> <input type="checkbox"/> Sp. Sezione cm <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Sp. Paramento DX cm <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Sp. Paramento SX cm <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Sp. Interno cm <input type="text"/>
<b>4.5 PRESENZA DI ZEPPE</b> <input type="checkbox"/> Non rispettato (PZ. NR) <input type="checkbox"/> Parzialmente rispettato (PZ. PR) <input type="checkbox"/> Rispettato (PZ. R)		<b>4.6 PRESENZA DI DIATONI O LEGAMENTI</b> <input type="checkbox"/> Non rispettato (P.D. NR) <input type="checkbox"/> Parzialmente rispettato (P.D. PR) <input type="checkbox"/> Rispettato (P.D. R)	
<b>4.7 VUOTI/ORIZZONTAMENTI</b> <b>4.7.1 DISTRIBUZIONE VUOTI</b> <input type="checkbox"/> Assenti <input type="checkbox"/> Localizzati <input type="checkbox"/> Distribuiti <b>4.7.2 DIMENSIONE VUOTI</b> <input type="checkbox"/> Piccole (< 1 cm) <input type="checkbox"/> Medie (1÷5 cm) <input type="checkbox"/> Grandi (> 5 cm) <b>3.2.3 ORIZZONTAMENTI</b> <input type="checkbox"/> Assenti <input type="checkbox"/> Presenti ogni cm <input type="text"/>		<b>OSSERVAZIONI</b> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <small>[Inserire lo schema grafico della sezione con indicazione degli orizzontamenti]</small> </div>	

Lo spessore murario varia in base alla grandezza degli elementi impiegati e in base al numero di paramenti accostati. Se le pietre erano di grosso taglio, normalmente la muratura era costituita da blocchi squadrati con interposta malta di allettamento, a formare un unico paramento. Invece, soprattutto nell'edilizia *minore*, rappresentata dalle numerose unità, a uso residenziale, tipiche dei centri storici, era una pratica consolidata quella di accostare due o tre paramenti, costituiti da pietre di minor taglio e talvolta di forma irregolare, il riempimento era rappresentato da materiale di varia natura, spesso scarti di lavorazioni. Il risultato era costituito da una muratura a sacco che, solo in alcuni casi, prevedeva diafani, importanti per garantire il buon ammorsamento dei paramenti.

L'ultima sezione della seconda parte della scheda riguarda la CARATTERIZZAZIONE MATERIALI DELLA SEZIONE. Questo campo raccoglie, analogamente al terzo, informazioni che riguardano gli elementi lapidei e la malta: per i primi sarà necessario conoscere il tipo di elemento, la provenienza, lo stato di conservazione, nonché la forma e la dimensione degli elementi; per la conoscenza della malta sono richiesti i dati riguardanti la sua funzione, la consistenza, il tipo e la forma dell'aggregato. Questa volta l'indagine condotta deve essere riferita alla sezione rilevata, che nelle murature a sacco, sarà caratterizzata da una pezzatura diversa da quella del paramento esterno.

La terza parte della scheda conclude l'analisi svolta riportando due indicazioni: una *descrizione dettagliata e complessiva della tipologia muraria con osservazioni qualitative e l'attribuzione di una delle tipologie murarie*, fra quelle delle tabelle di riferimento. Il giudizio finale è il risultato di un percorso di indagine, che parte dall'individuazione delle caratteristiche murarie e giunge all'assunzione di un modello tipologico di riferimento, cui da normativa, corrispondono determinati parametri, in termini di resistenza, che sono:

- $f_m$  = resistenza media a compressione della muratura;
- $\tau_0$  = resistenza media a taglio della muratura;
- $E$  = valore medio del modulo di elasticità normale;
- $G$  = valore medio del modulo di elasticità tangenziale;
- $w$  = peso specifico medio della muratura.

Recentemente gli indicatori della regola dell'arte, che hanno guidato l'elaborazione della *Scheda di 1° livello per il rilievo della tipologia e della qualità muraria*, sono stati utilizzati in un nuovo studio<sup>327</sup> finalizzato alla determinazione dell'Indice di Qualità Muraria (IQM). La ricerca è stata presentata da A. Borri, G. Cangi, A. De Maria, C. Donà con il contributo dell'unità di ricerca ReLuis del Politecnico di Milano (L. Binda e G. Cardani) e dello IUAV di Venezia. In particolare, per valutare l'ingranamento fra gli elementi murari, è stato utilizzato un indice, basato sulla Linea di Minimo Tracciato (LMT), individuata dallo IUAV di Venezia (F. Doglioni e G. Mirabella Roberti).

Per la determinazione dell'IQM<sup>328</sup> l'ipotesi formulata dai ricercatori prevede che il pannello di muratura considerato sia un parallelepipedo di altezza  $h$ , base  $b$  e spessore  $t$ , isolato, ossia non interagente con altri pannelli e omogeneo, dunque costituito da un solo tipo di muratura. Inoltre, si assume che il pannello sia poggiate sul terreno, indeformabile, e che non abbia altri vincoli. Il modello considerato sarà soggetto a tre tipi di carichi:

- *carichi verticali. Fra di essi si hanno la forza verticale concentrata (ad esempio, quella dovuta ad una trave infilata nella muratura) e la forza verticale distribuita sulla faccia superiore del pannello (ad esempio, quella dovuta ad un solaio o ad una parete sovrastante);*

- *azioni che impegnano il pannello murario nel suo piano medio. Fra di esse si ricordano le azioni sismiche rappresentate da una forza orizzontale complanare al pannello e posta sulla sua sommità;*

<sup>327</sup> A. Borri, G. Cangi, A. De Maria, C. Donà, *op. cit.*, p. 239;  
A. Borri, A. De Maria, *IMQ Indice di Qualità Muraria, Applicazione nell'ambito delle NTC 2008*, in <[http://www.mastrodicasa.com/pubblicazioni/imp%20Borri\\_ED160.pdf](http://www.mastrodicasa.com/pubblicazioni/imp%20Borri_ED160.pdf)>.

<sup>328</sup> A. Borri, G. Cangi, A. De Maria, C. Donà, *op. cit.*, pp. 239-254.

- azioni che impegnano il pannello murario ortogonalmente al suo piano medio. Si tratta di sollecitazioni dovute al sisma e fra di esse si ricordano: una forza orizzontale (concentrata o distribuita) agente in sommità del pannello e ad esso ortogonale; un momento flettente rappresentato da un vettore verticale (responsabile del cosiddetto "effetto arco" o flessione orizzontale della parete; un momento flettente rappresentato da un vettore orizzontale (responsabile della flessione verticale della parete)<sup>329</sup>.

Il cosiddetto «"Metodo dei Punteggi"», che è stato adottato per valutare i parametri della regola dell'arte, ha lo scopo ultimo di ottenere per ognuna delle tre azioni sollecitanti un Indice di Qualità Muraria, IQM, e di classificare la muratura esaminata in una delle tre categorie A, B, C individuate dai ricercatori:

- la A indica che la muratura ha un buon comportamento;
- la B rappresenta una qualità media;
- la C indica un comportamento insufficiente.

I singoli indicatori della regola dell'arte, che sono utilizzati nel calcolo degli IQM, sono giudicati secondo tre criteri, cui corrisponde un diverso punteggio: parametro rispettato (R.), parametro parzialmente rispettato (P.R.), parametro non rispettato (N.R.). Il parametro da valutare per primo è quello sulla resistenza degli elementi (RE.EL.): se l'esito della valutazione è non rispettato, allora la muratura è giudicata di tipo C e non è necessario indagare sugli altri parametri. Tale classificazione è attribuita anche a quelle murature che sono costituite solo da diatoni, quindi elementi disposti lungo la direzione dello spessore del paramento. Di seguito si indicano i pesi attribuiti ai singoli indicatori della regola dell'arte e, nella successiva tabella, l'attribuzione delle categorie murarie, secondo il Metodo dei Punteggi<sup>330</sup>.

**Tabella 3.8 - Parametri contemplati nel Metodo dei Punteggi**

Parametro	Azioni verticali			Azioni fuori piano			Azioni nel piano		
	NR	PR	R	NR	PR	R	NR	PR	R
<b>OR.</b> Orizzontalità dei filari	0	1	2	0	1	2	0	0,5	1
<b>P.D.</b> Presenza di diatoni/Ingranamento trasversale	0	1	1	0	1,5	3	0	1	2
<b>F.EL.</b> forma degli elementi resistenti	0	1,5	3	0	1	2	0	1	2
<b>S.G.</b> Sfalsamento dei giunti verticali/Ingr. Nel piano	0	0,5	1	0	0,5	1	0	1	2
<b>D.EL.</b> Dimensione degli elementi resistenti	0	0,5	1	0	0,5	1	0	0,5	1
<b>MA.</b> Qualità della malta/Effic. Contat. Elem./Zeppe	0	0,5	2	0	0,5	1	0	1	2
<b>RE.EL.</b> Resistenza degli elementi	0,3	0,7	1	0,5	0,7	1	0,3	0,7	1

**Tabella 3.9 - Attribuzione delle categorie murarie**

Tipo di azione	Categorie muratura		
	C	B	A
Azioni verticali	$0 \leq IQ < 2,5$	$2,5 \leq IQ < 5$	$5 \leq IQ < 10$
Azioni fuori piano	$0 \leq IQ < 4$	$4 \leq IQ < 7$	$7 \leq IQ < 10$
Azioni nel piano	$0 \leq IQ < 3$	$3 \leq IQ < 5$	$5 \leq IQ < 10$

<sup>329</sup> *Ibid.*, p. 247.

<sup>330</sup> *Ibid.*, p. 248.

In sostanza, tale metodologia cerca di valutare la qualità delle murature in funzione delle tre diverse azioni, cui è soggetto il pannello murario, e i pesi attribuiti ai singoli indicatori rappresentano l'importanza da essi assunta, affinché la parete manifesti una buona risposta alle sollecitazioni agenti. Per quanto riguarda gli effetti causati dalle azioni verticali, si può far riferimento a due situazioni di crisi: l'instabilità e la rottura per compressione. Il secondo caso si presenta quando gli elementi resistenti sono «intrinsecamente deboli», come avviene a causa di una percentuale abbastanza alta di forature o in presenza di forme di degrado dovute all'umidità oppure all'azione di agenti atmosferici. La questione dell'instabilità, invece, è legata alla presenza di tensioni verticali all'interno della muratura oppure al fatto che il pannello sia costituito da due paramenti, ognuno dei quali molto snello.

Per contrastare l'errata diffusione delle tensioni è molto importante che la muratura sia costruita con blocchi squadri che garantiscano l'orizzontalità dei filari, anche la qualità della malta risulta determinante; mentre nelle murature costituite da due paramenti, è fondamentale verificare la presenza di diatoni, responsabili dell'ingranamento trasversale. Inoltre, i diatoni donano monoliticità alla parete e sono di grande aiuto anche nel contrastare le azioni orizzontali agenti fuori dal piano. Invece, la resistenza di una muratura alle azioni complanari è dovuta a tre aspetti: la coesione del paramento, legata alla qualità della malta; l'attrito presente fra le superfici a contatto degli elementi resistenti, che dovranno essere di forma sufficientemente regolare e dovrebbero essere adeguatamente sfalsati; l'ingranamento degli elementi, garantito dal buon incastro fra i blocchi squadri e sfalsati.

In relazione alle sollecitazioni possibili, sono stati previsti tre Indici di Qualità Muraria, IQM, variabile fra 1 e 10, che possono essere determinati con la seguente formula<sup>331</sup>:

$$IQM = RE.EL. \times (OR. + P.D. + F.EL. + S.G. + D.EL. + MA.)$$

Tali indici possono essere impiegati nella stima dei parametri meccanici  $f_m$ ,  $\tau_0$  ed  $E$  della muratura in esame, che sono a loro volta impiegati per effettuare tutte le verifiche di sicurezza. Ai parametri, di cui sopra, si fa riferimento anche nella Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2 febbraio 2009, n. 617, *Istruzione per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008*. La circolare, nella Tabella C8A.2.1 indica, per ogni tipologia muraria, l'intervallo di valori di riferimento (min-max) dei parametri meccanici, assumendo «malta di caratteristiche scarse, assenza di ricorsi (listature), paramenti semplicemente accostati o mal collegati, muratura non consolidata, tessitura (nel caso di elementi regolari) a regola d'arte». Come precisa la normativa richiamata «Nel caso in cui la muratura presenti caratteristiche migliori rispetto ai suddetti elementi di valutazione, le caratteristiche meccaniche saranno ottenute, a partire dai valori di Tabella C8A.2.1, applicando coefficienti migliorativi fino ai valori indicati nella Tabella C8A.2.2».

I ricercatori, che hanno proposto l'IQM, spiegano che a partire dalle murature esistenti non consolidate, che sono rappresentate dalle prime sei categorie della Tabella C8A.2.1, si possono ottenere, dalla combinazione con i coefficienti della Tabella C8A.2.1, i valori dei parametri meccanici ( $f_m$ ,  $\tau_0$  ed  $E$ ) di trentasei tipologie murarie, che gli stessi ricercatori hanno denominato «murature virtuali». I valori dei parametri sono ancora espressi nell'intervallo min-max. Per le trentasei tipologie murarie sono state determinati i valori degli IQM, così da valutare la loro correlazione con i parametri forniti dalla normativa<sup>332</sup>:

- IQM verticale -  $f_m$  (resistenza a compressione media);
- IQM nel piano -  $\tau_0$  (resistenza a taglio media);
- IQM verticale -  $E$  (modulo elastico medio).

<sup>331</sup> *Ibid.*, p. 250.

<sup>332</sup> *Ibid.*, p. 252.

Tabella 3.10 - Tabella C8A.2.1 della Circolare 2 febbraio 2009, n. 617

Tipologia di muratura	$f_m$	$\tau_o$	$E$	$G$	$w$
	(N/cm <sup>2</sup> )	(N/cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei quadrati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semini pieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500 800	24 32	3500 5600	875 1400	15
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400 600	30,0 40,0	3600 5400	1080 1620	12
Muratura in blocchi laterizio semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300 400	10,0 13,0	2700 3600	810 1080	11
Muratura in blocchi di calcestruzzo o di argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150 200	9,5 12,5	1200 1600	300 400	12
Muratura in blocchi di calcestruzzo semini pieni (foratura < 45%)	300 440	18,0 24,0	2400 3520	600 880	14

Tabella 3.11 - Tabella C8A.2.2 della Circolare 2 febbraio 2009, n. 617

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (< 10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato*
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei quadrati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

\* Valori da ridurre convenzionalmente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

Ogni correlazione è stata svolta valutando i valori minimi, medi e massimi di ciascun parametro. I risultati sono stati rappresentati attraverso sei grafici: tre che descrivono la correlazione degli IQM (verticale, nel piano) con i valori medi dei tre parametri e tre che descrivono la correlazione degli IQM (verticale, nel piano) con i valori minimi e massimi dei tre parametri. I ricercatori hanno scelto di rappresentare nello stesso grafico i valori minimi e massimi per evidenziare l'intervallo delle possibili variazioni del parametro meccanico, per ogni valore di IQM. Nel grafico, l'IQM è espresso in ascissa e il parametro meccanico d'interesse è in ordinata; per ognuna delle trentasei murature virtuali è rappresentato un punto e il diagramma di correlazione è una curva esponenziale «per la quale risulta minima la distanza rispetto ai punti rappresentativi delle murature virtuali».

Al fine di valutare l'attendibilità dei risultati conseguiti, i ricercatori hanno anche introdotto degli indicatori, fra questi vogliamo sottolineare l'importanza del cosiddetto  $R^2$ , che rappresenta la misura di quanto una curva di correlazione, approssimi i valori osservati. Se  $R^2 = 1$ , c'è una perfetta coincidenza.

L'indice  $R^2$  è stato così definito<sup>333</sup>:

$$R^2 = 1 = SSE / SST$$

dove:  $SSE = \sum(Y_j - Y_{pj})^2$  e  $SST = (\sum Y_j^2) - [(\sum Y_j)^2 / n]$

Si indicano con:

- $Y_j$ : il valore del parametro meccanico esaminato per la muratura virtuale i-esima;
- $Y_{pj}$ : il valore dello stesso parametro meccanico previsto dalla curva di correlazione;
- $n$ : il numero dei valori disponibili ( $n=36$ ).

La correlazione fra IQM nel piano e  $\tau_0$  fornisce un buon risultato, infatti,  $R^2 > 0,92$  e, analogamente, può essere considerato soddisfacente anche il rapporto fra IQM verticale e  $f_m$ , infatti,  $R^2 > 0,82$ . Il risultato meno preciso si ha nella relazione fra IQM verticale ed  $E$ , per la quale  $R^2 < 0,79$ . Probabilmente quest'ultimo risultato è attribuibile al fatto che, secondo la citata Circolare, il valore del modulo  $E$  (e similmente per il modulo  $G$ ) è sempre lo stesso, indipendentemente dalla presenza di filari orizzontali e di buona connessione fra i paramenti murari.

In conclusione, determinare il valore degli IQM per l'analisi di una muratura si dimostra utile a capire se questa è in grado di rispondere alle sollecitazioni, come quelle sismiche, in maniera soddisfacente. Tanto più alto è il valore degli IQM, tanto migliore sarà la risposta della muratura e il suo collasso sarà dovuto a cinematismi rigidi; al contrario, valori piuttosto bassi indicheranno una cattiva capacità della muratura di rispondere alle sollecitazioni sismiche e l'eventuale collasso sarà dovuto alla disgregazione muraria. L'attendibilità del metodo è stata validata anche attraverso risultati sperimentali<sup>334</sup>. Sono state, infatti, eseguite prove di compressione diagonale, citate nella Circolare n. 617 del 02/02/2009, su murature reali, per lo più umbre, per verificare la correlazione fra IQM nel piano e  $\tau_0$ , valutando la vicinanza dei punti rappresentativi delle murature reali rispetto ai valori previsti con la correlazione. I risultati hanno confermato la correlazione fra IQM nel piano e  $\tau_0$ , motivando la fiducia verso gli studi rivolti alla valutazione della qualità muraria. L'indice IQM, pertanto, può essere considerato un attendibile valore di riferimento e può essere determinato per ogni tipo di paramento, ampliando, in questo modo, la casistica delle murature possibili.

La vulnerabilità di una muratura è stata classificata in cinque livelli, in base all'efficienza e alla qualità costruttiva. Il primo dei requisiti si riferisce al mantenimento o alla perdita delle caratteristiche iniziali della muratura, a seguito di alterazioni dovute al degrado. Il secondo aspetto riguarda i caratteri costruttivi della muratura, relazionati all'ingranamento dei paramenti. I livelli individuati sono:

- 5 - muratura superiore: efficiente e di elevata qualità costruttiva (bassa vulnerabilità);
- 4 - muratura medio-superiore: efficiente e ben costruita (limitata vulnerabilità);
- 3 - muratura media: di media efficienza e qualità costruttiva (vulnerabilità media);
- 2 - muratura medio-inferiore: scarsamente efficiente e/o di mediocre qualità costruttiva (vulnerabilità accentuata);
- 1 - muratura inferiore: non efficiente e/o di cattiva qualità costruttiva (vulnerabilità elevata)<sup>335</sup>.

---

<sup>333</sup> *Ibid.*, p. 253.

<sup>334</sup> *Ibid.*, pp. 254-258.

<sup>335</sup> Il metodo di valutazione della vulnerabilità delle murature storiche è stato proposto da F. Doglioni e G. Mirabella Roberti a partire dall'analisi del degrado e dei dissesti presentati.  
*Ibid.*, p. 259.



Il livello di vulnerabilità di una muratura è legato sia ad osservazioni dirette sui fattori che influenzano la qualità della muratura, sia ai risultati delle prove in situ o di laboratorio, sia alla combinazione di tali possibilità. Fra le osservazioni<sup>336</sup> visive si valutano:

- l'ingranamento degli elementi che compongono il paramento murario. La misura dell'ingranamento è rappresentata «dal numero e dalla lunghezza dei tracciati non contigui od intersecati riconducibili tra il bordo superiore ed il bordo inferiore di un campione di paramento murario di 1x1 m. Maggiore è la lunghezza del percorso e minore il numero dei tracciati, maggiore è l'ingranamento». I tracciati sono quelli che determinano la cosiddetta Linea Minima di Tracciato (LMT) e in base alla loro lunghezza è possibile stabilire l'appartenenza ad un certo livello di vulnerabilità. Le linee sono individuate osservando il degrado dei giunti di malte, considerati vie di rottura della muratura;
- l'ingranamento trasversale fra i paramenti opposti può essere osservato in sezione, valutando in un tratto di 1 m, la lunghezza della linea centrale minore che attraversa in verticale la muratura esaminata. «Maggiore è la lunghezza del tracciato, maggiore è l'ingranamento». Ancora una volta la lunghezza serve a misurare il livello di vulnerabilità;
- la malta di allettamento che potrà essere aderente al supporto e tenace, oppure potrà essere distaccata e friabile;
- le lesioni: occorrerà porre attenzione al numero e alla localizzazione. Quelle a grande distanza saranno considerate meno pericolose delle fessure ravvicinate e ramificate;
- i fattori di riduzione dell'efficienza: presenza/assenza di discontinuità ed eterogeneità del paramento, stato della malta, presenza/assenza di un quadro fessurativo pregresso.

Fra le osservazioni derivanti da analisi in situ o di laboratorio si considerano:

- le prove penetrometriche dinamiche, basate sul metodo Liberatore, dal nome del docente che ha proposto l'impiego di punte sottilissime per perforare spessori di malta di almeno 1mm. La prova consiste nel misurare il numero di colpi necessari a raggiungere la profondità di 40 mm;
- le prove soniche per trasparenza, con la misura della velocità media di propagazione su trentasei punti in un campione di 1m<sup>2</sup>;
- le analisi finalizzate a valutare la distribuzione granulometrica, la porosità e la loro distribuzione percentuale.

Valutazioni esperte hanno evidenziato come l'analisi delle malte rivesta un ruolo molto importante e, in alcuni casi, anche più significativo dell'analisi dell'ingranamento. Questo motiva la necessità di effettuare verifiche che vadano oltre l'apparenza e che consentano di indagare la resistenza interna delle malte. Nel caso di Arsita (TE), ad esempio, sono state condotte analisi di laboratorio di tipo micro-morfologico con l'utilizzo del Microscopio Elettronico a Scansione (SEM), utile per la caratterizzazione dei materiali, proprio come i campioni di malta prelevati durante le campagne di rilievo.

### 3.3.2 Cenni sui Metodi Empirici e sui Metodi Analitici

Fra i modelli di valutazione della vulnerabilità sismica, i metodi empirici sono nati quant'anni fa, quando R. V. Whitman et al., nel 1973, hanno presentato una ricerca sulle Matrici di Probabilità di Danno (DPM)<sup>337</sup>, al fine di sviluppare scenari di danno per eventi sismici di prefissata entità. La metodologia intende fornire la probabilità di danno a partire da un certo input sismico, espresso in termini di intensità macrosismica e descritto per

<sup>336</sup> *Ibid.*, pp. 260-264.

<sup>337</sup> M. Colombi, B. Borzi, H. Crowley, M. Onida, F. Meroni, R. Pinho, *Deriving vulnerability curves using Italian earthquake damage data*, in «Bulletin of Earthquake Engineering», n. 6, 2008, pp. 485-504.

diverse classi di costruito a comportamento omogeneo. Le DPM sono state sviluppate sulla base dei danni osservati su differenti tipologie strutturali, dopo il terremoto di San Fernando nel 1971. In Italia, le prime applicazioni del metodo<sup>338</sup> risalgono agli anni '80, dopo il terremoto dell'Irpinia, sulla base degli studi di F. Braga et al.; nuove Matrici di Probabilità di Danno sono state elaborate dal Servizio Sismico Nazionale nel 1997; nel 2001 è stato condotto uno studio in occasione del progetto GNDT 2001 e due anni dopo le DPM ricavate sono state modificate sulla base delle osservazioni di Alberto Bernardini.

Fra i diversi studi, presenti in letteratura, una delle ultime proposte suggerisce di ricavare Matrici di Probabilità di Danno per deduzione, dalle definizioni della scala macrosismica EMS98<sup>339</sup>. Tale scala ha il vantaggio di considerare, attraverso l'osservazione dei danneggiamenti rilevati, l'intero patrimonio edilizio, per questo, la definizione delle DPM è basata sulle frequenze associate alle classi ritenute rappresentative di tutte le tipologie edilizie. Il metodo può essere applicato anche a partire da «dati poveri» come quelli forniti dall'ISTAT, eventualmente controllati a campione.

Nella scala macrosismica EMS98 i livelli di intensità, derivanti dai danneggiamenti subiti da persone (a), oggetti (b) ed edifici (c), sono quantificati attraverso tre aggettivi: few, many, most<sup>340</sup>, come si evidenzia di seguito. Dalle definizioni dei livelli di intensità si osserva che solo a partire dal quinto livello il danno interessa il patrimonio edilizio. Gli aggettivi ricorrenti danno alla scala uno strumento statistico per *misurare* l'entità dell'evento sismico, ma tali definizioni sono, in alcuni casi, vaghe e la loro interpretazione varia in funzione della sensibilità di ciascuno e del modo di percepire gli eventi in termini di paura, tremore o perdita dell'equilibrio. Per questo le espressioni linguistiche, da sole, non consentono di associare alla scala di intensità delle precise DPM.

**Tabella 3.12 - Definizioni dei livelli di intensità**

1 Non avvertito	a) Not felt, even under the most favourable circumstances. b) No effect. c) No damage.	a) Non avvertito, anche nelle circostanze più favorevoli. b) Nessun effetto. c) Nessun danno.
2 Scarsamente avvertito	a) The tremor is felt only at isolated instances (<1%) of individuals at rest and in a specially receptive position indoors. b) No effect. c) No damage.	a) Il tremore è sentito solo in casi isolati (<1%) da individui a riposo in una posizione particolarmente recettiva al chiuso. b) Nessun effetto. c) Nessun danno.
3 Debole	a) The earthquake is felt indoors by a few. People at rest feel a swaying or light trembling. b) Hanging objects swing slightly. c) No damage.	a) Il terremoto è avvertito al chiuso da alcuni. Le persone a riposo si sentono ondeggiare o la luce tremare. b) Gli oggetti sospesi oscillano leggermente. c) Nessun danno.
4 Largamente osservato	a) The earthquake is felt indoors by many and felt outdoors only by very few. A few people are awakened. The level of vibration is not frightening. The vibration is moderate. Observers feel a slight trembling or swaying of the building, room or bed, chair etc. b) China, glasses, windows and doors rattle. Hanging objects swing. Light furniture shakes visibly in a few cases. Woodwork creaks in a few cases. c) No damage.	a) Il terremoto è avvertito al chiuso da molti e avvertito all'esterno solo da pochissimi. Alcune persone si svegliano. Il livello di vibrazione non è spaventoso. La vibrazione è moderata. Gli osservatori avvertono un lieve tremore oppure l'ondeggiare dell'edificio, della stanza o del letto, della sedia, ecc. b) Stoviglie, bicchiere, finestre e porte vibrano. Gli oggetti sospesi oscillano. I mobili leggeri traballano visibilmente in alcuni casi. Gli oggetti di legno si rompono in alcuni casi. c) Nessun danno.

<sup>338</sup> G. Zuccaro (CD a cura di), *Inventario e vulnerabilità del patrimonio edilizio residenziale del territorio nazionale, mappe di rischio e perdite socio - economiche* – Napoli, 2004, pp. 37-42, in <ftp://ftp.ingv.it/pro/gndt/Att\_scient/Prodotti\_attesi\_2004/Dolce\_Zuccaro/Mappe/SAVE\_task1.pdf>.

<sup>339</sup> A. Bernardini, S. Giovinnazzi, S. Lagomarsino, S. Parodi, *Vulnerabilità e previsione di danno a scala territoriale secondo una metodologia macrosismica coerente con la scala EMS-98*, Atti del XII Convegno ANIDIS 2007 «L'Ingegneria Sismica in Italia», Pisa, 10 -14 giugno 2007.

<sup>340</sup> «alcuni, molti, la maggior parte».

G. Grünthal, *European Macroseismic Scale 1998*, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxembourg, 1998, pp. 17-20.

5 Forte	<p>a) The earthquake is felt indoors by most, outdoors by few. A few people are frightened and run outdoors. Many sleeping people awake. Observers feel a strong shaking or rocking of the whole building, room or furniture.</p> <p>b) Hanging objects swing considerably. China and glasses clatter together. Small, top-heavy and/or precariously supported objects may be shifted or fall down. Doors and windows swing open or shut. In a few cases window panes break. Liquids oscillate and may spill from well-filled containers. Animals indoors may become uneasy.</p> <p>c) Damage of grade 1 to a few buildings of vulnerability class A and B.</p>	<p>a) Il terremoto è avvertito al chiuso dalla maggior parte, all'esterno da pochi. Alcune persone sono spaventate e corrono all'aperto. Molte persone addormentate si svegliano. Gli osservatori sentono un forte scuotimento o l'oscillazione dell'intero edificio, della stanza o del mobilio.</p> <p>b) Gli oggetti sospesi oscillano considerevolmente. Stoviglie e bicchieri risuonano insieme. Oggetti sostenuti precariamente e/o piccoli e sbilanciati potrebbero essere spostati o cadere. Porte e finestre oscillano aperte e chiuse. In alcuni casi si rompono le persiane. I liquidi oscillano e potrebbero rovesciarsi dai contenitori pieni. Gli animali al chiuso potrebbero diventare agitati.</p> <p>c) Danni di grado 1 ad alcuni edifici di vulnerabilità di classe A e B.</p>
6 Leggermente dannoso	<p>a) Felt by most indoors and by many outdoors. A few persons lose their balance. Many people are frightened and run outdoors.</p> <p>b) Small objects of ordinary stability may fall and furniture may be shifted. In few instances dishes and glassware may break. Farm animals (even outdoors) may be frightened.</p> <p>c) Damage of grade 1 is sustained by many buildings of vulnerability class A and B; a few of class A and B suffer damage of grade 2; a few of class C suffer damage of grade 1.</p>	<p>a) Avvertito dalla maggior parte all'interno e all'esterno. Alcune persone perdono l'equilibrio. Molte persone sono spaventate e corrono all'aperto.</p> <p>b) Oggetti piccolo solitamente in equilibrio potrebbero cadere e il mobilio potrebbe essere spostato. In pochi casi piatti e vetriere potrebbero rompersi. Gli animali da cortile (anche all'aperto) potrebbero essere spaventati.</p> <p>c) Il danno di grado 1 è sopportato da molti edifici di vulnerabilità di classe A e B; alcuni di classe A e B subiscono danno di grado 2; alcuni di classe C subiscono danno di grado 1.</p>
7 Dannoso	<p>a) Most people are frightened and try to run outdoors. Many find it difficult to stand, especially on upper floors.</p> <p>b) Furniture is shifted and top-heavy furniture may be overturned. Objects fall from shelves in large numbers. Water splashes from containers, tanks and pools.</p> <p>c) Many buildings of vulnerability class A suffer damage of grade 3; a few of grade 4. Many buildings of vulnerability class B suffer damage of grade 2; a few of grade 3. A few buildings of vulnerability class C sustain damage of grade 2. A few buildings of vulnerability class D sustain damage of grade 1.</p>	<p>a) Molte persone sono spaventate e provano a correre all'esterno. Molti hanno difficoltà a stare in piedi, specialmente ai piani alti.</p> <p>b) Il mobilio è spostato e il mobilio sbilanciato potrebbe essere rovesciato. Gli oggetti cadono dagli scaffali in gran numero. L'acqua trabocca dai contenitori, dalle cisterne e dalle piscine.</p> <p>c) Molti edifici di vulnerabilità di classe A subiscono danno di grado 3; alcuni di grado 4. Molti edifici di vulnerabilità di classe B subiscono danno di grado 2; alcuni di grado 3. Alcuni edifici di vulnerabilità di classe C subiscono danno di grado 2. Alcuni edifici di vulnerabilità di classe D subiscono danno di grado 1.</p>
8 Pesantemente dannoso	<p>a) Many people find it difficult to stand, even outdoors.</p> <p>b) Furniture may be overturned. Objects like TV sets, typewriters etc. fall to the ground. Tombstones may occasionally be displaced, twisted or overturned. Waves may be seen on very soft ground.</p> <p>c) Many buildings of vulnerability class A suffer damage of grade 4; a few of grade 5. Many buildings of vulnerability class B suffer damage of grade 3; a few of grade 4. Many buildings of vulnerability class C suffer damage of grade 2; a few of grade 3. A few buildings of vulnerability class D sustain damage of grade 2.</p>	<p>a) Molte persone hanno difficoltà a stare in piedi, anche all'esterno.</p> <p>b) I mobili potrebbero essere rovesciati. Oggetti come televisori, macchine da scrivere, ecc. cadono a terra. Le lapidi potrebbero essere occasionalmente spostate, distorte o rovesciate. Onde potrebbero essere viste su terreni molto soffici.</p> <p>c) Molti edifici di vulnerabilità di classe A subiscono danno di grado 4; alcuni di grado 5. Molti edifici di vulnerabilità di classe B subiscono danno di grado 3; alcuni di grado 4. Molti edifici di vulnerabilità di classe C subiscono danno di grado 2; alcuni di grado 3. Alcuni edifici di vulnerabilità di classe D sopportano danni di grado 2.</p>
9 Distruittivo	<p>a) General panic. People may be forcibly thrown to the ground.</p> <p>b) Many monuments and columns fall or are twisted. Waves are seen on soft ground.</p> <p>c) Many buildings of vulnerability class A sustain damage of grade 5. Many buildings of vulnerability class B suffer damage of grade 4; a few of grade 5. Many buildings of vulnerability class C suffer damage of grade 3; a few of grade 4. Many buildings of vulnerability class D suffer damage of grade 2; a few of grade 3. A few buildings of vulnerability class E sustain damage of grade 2.</p>	<p>a) Panico generale. La gente potrebbe essere gettata violentemente a terra.</p> <p>b) Molti monumenti e colonne crollano o sono sottoposti a torsione. Onde sono viste su terreno soffice.</p> <p>c) Molti edifici di vulnerabilità di classe A subiscono danno di grado 5. Molti edifici di vulnerabilità di classe B subiscono danno di grado 4; alcuni di grado 5. Molti edifici di vulnerabilità di classe C subiscono danno di grado 3, alcuni di grado 4. Molti edifici di vulnerabilità di classe D subiscono danno di grado 2; alcuni di grado 3. Alcuni edifici di vulnerabilità di classe E subiscono danno di grado 2.</p>

10 Molto distruttivo	<p>c) Most buildings of vulnerability class A sustain damage of grade 5. Many buildings of vulnerability class B sustain damage of grade 5. Many buildings of vulnerability class C suffer damage of grade 4; a few of grade 5. Many buildings of vulnerability class D suffer damage of grade 3; a few of grade 4. Many buildings of vulnerability class E suffer damage of grade 2; a few of grade 3. A few buildings of vulnerability class F sustain damage of grade 2.</p>	<p>c) La maggior parte degli edifici di vulnerabilità di classe A subisce danno di grado 5. Molti edifici di vulnerabilità di classe B subiscono danno di grado 5. Molti edifici di vulnerabilità di classe C subiscono danno di grado 4; alcuni di grado 5. Molti edifici di vulnerabilità di classe D subiscono danno di grado 3; alcuni di grado 4. Molti edifici di vulnerabilità di classe E subiscono danno di grado 2; alcuni di grado 3. Alcuni edifici di vulnerabilità di classe F subiscono danno di grado 2.</p>
11 Devastante	<p>c) Most buildings of vulnerability class B sustain damage of grade 5. Most buildings of vulnerability class C suffer damage of grade 4; many of grade 5.</p> <p>Many buildings of vulnerability class D suffer damage of grade 4; a few of grade 5. Many buildings of vulnerability class E suffer damage of grade 3; a few of grade 4. Many buildings of vulnerability class F suffer damage of grade 2; a few of grade 3.</p>	<p>c) La maggior parte degli edifici di vulnerabilità di classe B subisce danno di grado 5. La maggior parte degli edifici di vulnerabilità di classe C subisce danno di grado 4; molti di grado 5.</p> <p>Molti edifici di vulnerabilità di classe D subiscono danno di grado 4; alcuni di grado 5. Molti edifici di vulnerabilità di classe E subiscono danno di grado 3; alcuni di grado 4. Molti edifici di vulnerabilità di classe F subiscono danno di grado 2; alcuni di grado 3.</p>
12 Completamente devastante	<p>c) All buildings of vulnerability class A, B and practically all of vulnerability class C are destroyed. Most buildings of vulnerability class D, E and F are destroyed. The earthquake effects have reached the maximum conceivable effects.</p>	<p>c) Tutti gli edifici di vulnerabilità di classe A, B e praticamente tutti quelli di vulnerabilità di classe C sono distrutti. La maggior parte degli edifici di vulnerabilità di classe D, E ed F sono distrutti. Gli effetti del terremoto sono i massimi effetti concepibili.</p>

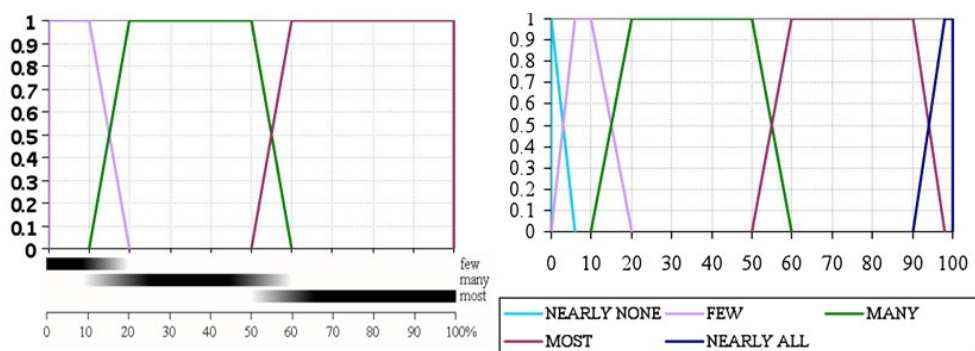
Invece, dall'idea di associare valori numerici ai tre aggettivi utilizzati è stato proposto un modello di possibile interpretazione numerica, attraverso una «Fuzzy pseudo-partition»<sup>341</sup> dell'intervallo [0, 100] delle percentuali e poiché non sembrava corretto associare membership pari ad 1 ai valori estremi 0 e 100, l'interpretazione numerica è stata proposta su cinque Fuzzy sets (insiemi sfuocati) associati alle espressioni linguistiche: nearly none, few, many, most, nearly all (quasi nessuno, alcuni, molti, la maggior parte, quasi tutti).

**Tabella 3.13 - Tabella delle frequenze linguistiche di danno per classi di vulnerabilità ed intensità macrosismica secondo la scala EMS98 (in Bernardini et al., 2007)**

Dk/I	0	1	2	3	4	5
V		Few A or B				
VI		Many A or B, Few C	Few A or B			
VII			Many B, Few C	Many A, Few B	Few A	
VIII			Many C, Few D	Many B, Few C	Many A, Few B	Few A
XI			Many D, Few E	Many C, Few D	Many B, Few C	Many A, Few B
X			Many E, Few F	Many D, Few E	Many C, Few D	Most A, Many B, Few C
XI			Many F	Many E, Few F	Most C, Many D, Few E	Most B, Many C, Few D
XII						All A or B, Nearly All C, Most D or E or F

<sup>341</sup> "pseudo - partizione sfuocata".

A. Bernardini, S. Giovinazzi, S. Lagomarsino, S. Parodi, *Matrici di probabilità di danno implicite nella scala EMS-98*, Atti del XII Convegno ANIDIS 2007 «L'Ingegneria Sismica in Italia», Pisa, 10 -14 giugno 2007.



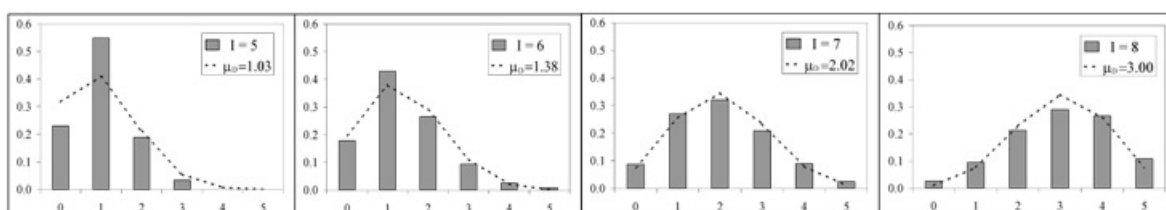
**Fig. 3.15** Percentuali associate dalla scala EMS98 (Grünthal, 1998) alle definizioni linguistiche ed interpretazione come «Fuzzy pseudo-partition» dell'intervallo [0, 100] (in Bernardini et al., 2007)

Con questi presupposti e sulla base di determinate regole, è stato compiuto il «completamento linguistico» della scala EMS98. Per ogni classe di vulnerabilità e intensità macrosismica sono state rappresentate le frequenze linguistiche dei diversi gradi di danno. In seguito, il risultato linguistico è stato interpretato secondo la teoria dei «random sets» (insiemi casuali), così da ottenere, per ogni  $\alpha$ -cut dei fuzzy sets associati con le definizioni linguistiche, le «interval probabilities» che misurano le frequenze associate ai gradi di danno, rappresentate da un insieme convesso di possibili distribuzioni di probabilità di danno. E' possibile ottenere le interval probabilities per ogni classe di vulnerabilità e livello di intensità. Non intendiamo approfondire tali teorie, quanto evidenziare che: «E' possibile quindi estrarre limiti inferiori e superiori del valore atteso di ogni specifica funzione del danno di interesse (ad esempio il valore medio del danno, la sua varianza o anche il numero degli edifici inagibili di una popolazione classificata di edifici, una volta prescelta un'esplicita relazione al grado di danno)»<sup>342</sup>.

Le DPM possono essere rappresentate come curve di vulnerabilità, che al variare dell'intensità macrosismica, indicano il valore assunto dalle medie delle distribuzioni di danno (diagramma  $I_{EMS98} - \mu_D$ ). Le curve di vulnerabilità sono state anche rappresentate esprimendo i valori dell'intensità macrosismica nei valori corrispondenti di PGA. La nuova rappresentazione, possibile grazie alle leggi di correlazione, permette la simulazione di scenari di danno. Questi possono risultare di grande utilità nella valutazione delle conseguenze prodotte da un eventuale evento sismico, soprattutto nelle aree maggiormente esposte.

Un'ampia indagine<sup>343</sup> condotta su più di 2000 chiese rilevate in Umbria e Marche, dopo l'evento sismico del 1997, ha permesso l'elaborazione di DPM per quattro valori dell'intensità macrosismica. Per ogni intensità, il danno medio,  $\mu_D$ , è stato definito in relazione alla probabilità  $P_k$  di ognuno dei cinque livelli di danno  $D_k$  della scala EMS98:

$$\mu_D = \sum_{k=1}^5 kP_k$$



**Fig. 3.16** Curve della probabilità di danno per le chiese in Umbria e Marche (in Lagomarsino et al., 2005)

<sup>342</sup> *Ibid.*

<sup>343</sup> S. Lagomarsino, S. Podestà (CD a cura di), *Inventario e vulnerabilità del patrimonio monumentale dei parchi dell'Italia centro-meridionale e meridionale*, Vol. III - Analisi di vulnerabilità e rischio degli edifici monumentali, ING/GNDT-Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia / Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, L'Aquila, 2005, pp. 8-11.

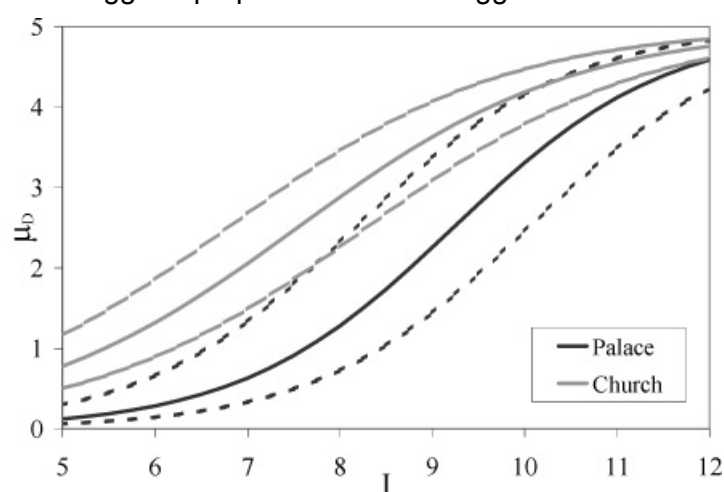
Gli istogrammi di danno mostrano proprio l'incremento del danno al crescere dell'intensità macrosismica.

La DPM sono state parametrizzate rispetto al solo parametro  $V \in [0, 1]$ , ossia l'indice di vulnerabilità, variabile in relazione alle caratteristiche costruttive, tra 0, per i fabbricati che presentavano accorgimenti utili ad abbassare il livello di vulnerabilità, e 1, per i manufatti di scadente qualità. La relazione fra il danno medio,  $\mu_D$ , e l'intensità,  $I$ , è stata espressa con la seguente relazione:

$$\mu_D = 2.5 \left[ 1 + \tanh \left( \frac{I + 6.25V - 13.1}{Q} \right) \right]$$

Dove  $Q$  è un indice di duttilità, che indica l'incremento del danno in relazione all'intensità, e  $V$  è l'indice di vulnerabilità.

In questo modo è stato possibile, ad esempio, confrontare le curve di vulnerabilità ottenute nello studio delle chiese con quelle ottenute nello studio dei palazzi. Da queste è emerso come le chiese, in relazione al più alto valore medio dell'indice di vulnerabilità, hanno dimostrato una maggiore propensione al danneggiamento.



**Fig. 3.17** Curve di vulnerabilità dei palazzi e delle chiese - valore medio e range plausibile - (in Lagomarsino et al., 2005)

Un altro interessante studio è stato condotto per la città di Sulmona (AQ)<sup>344</sup>, allo scopo di valutare il danno atteso a seguito di un terremoto di prefissata entità. La città abruzzese negli anni è stata colpita da numerosi eventi sismici, il più significativo è quello del 1706. Dopo quel tragico terremoto, la città ha assunto l'attuale conformazione. La ricerca prendeva in considerazione un gruppo di diciassette sezioni censuarie, selezionate proprio nel centro storico di Sulmona, ricorrendo ai dati ISTAT 2001, riguardanti la popolazione e le caratteristiche abitative. Il catalogo ISTAT 2001 ha fornito numerose informazioni: dalla tipologia strutturale, all'età degli edifici, al numero di piani, allo stato di manutenzione e alla posizione dell'edificio all'interno dell'aggregato. Utilizzando una rappresentazione parametrica delle DPM e sfruttando i dati disponibili, per specificare meglio le caratteristiche di ciascuna tipologia, così da ottenere delle tipologie modificate, è stato possibile definire l'intervallo di variazione del valore atteso della funzione di danno scelta. Ad esempio, è stata considerata la funzione di danno che definisce la percentuale di edifici inutilizzabili, ipotizzando un'intensità macrosismica pari a  $I_{EMS98} = VIII$ .

Fra i metodi analitici, invece, si annovera il cosiddetto Capacity Spectrum Method (CSM) utilizzato per le valutazioni di vulnerabilità di edifici esistenti in due note metodologie: HAZUS99 e RISK- UE European Project.

<sup>344</sup> S. Parodi, L. Milano, A. Martinelli, A. Mannella, S. Lagomarsino, A. Bernardini, *Vulnerability and damage assessment of current buildings in Italy: an application to Sulmona town*, The 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, Cina, 12-17 ottobre 2008.

Nell'ambito del primo metodo è stato sviluppato Hazus-MH, un software basato sul GIS, prodotto per la Federal Emergency Management Agency<sup>345</sup> (FEMA) già nel 1997, al fine di stimare le conseguenze dei disastri naturali, come terremoti, frane, inondazioni, uragani, tornado, tsunami, incendi. Il programma è ampiamente utilizzato per elaborare piani di mitigazione, determinanti per un'efficace gestione delle emergenze. Le analisi condotte con HAZUS prevedono tre livelli di approfondimento in base ai dati disponibili e in relazione agli obiettivi fissati. Come evidenzia la guida FEMA, il processo di valutazione del rischio può essere sintetizzato in cinque step: identify hazards; profile hazard; inventory assets; estimate losses; consider mitigation option<sup>346</sup>. La valutazione delle perdite, che è parte del processo di elaborazione dati, precedentemente realizzato, si basa su scenari probabilistici e deterministici.

Il progetto Risk-UE<sup>347</sup>, lanciato nel 1999 a conclusione dell'International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR), è terminato nel 2004. Lo scopo era di valutare l'impatto globale di uno o di più eventi sismici nel contesto delle città europee per definire piani di azione finalizzati alla riduzione del rischio, come nell'analogo progetto americano HAZUS o come nel programma internazionale RADIUS<sup>348</sup> o come in quello francese GEMITIS. Anche in questo caso è stata proposta una «*Modular Methodology*» ossia una procedura basata su sette work packages (WP). Il primo analizzava le caratteristiche distintive delle tipologie edilizie europee, catalogate con l'ausilio del GIS; il WP2 elaborava valutazioni sulla pericolosità sismica, il successivo passaggio era l'analisi dei sistemi urbani; i work packages 4, 5 e 6 erano rivolti alla valutazione della vulnerabilità rispettivamente dell'edilizia contemporanea, dei centri storici, degli edifici *specialistici* e delle infrastrutture; l'ultimo passaggio era la costruzione di scenari di rischio sismico. Le città coinvolte nello studio sono state: Barcellona, Bitola, Bucarest, Catania, Nizza, Sofia, Salonicco.

La tecnica dello spettro di capacità<sup>349</sup> è stata introdotta negli anni '70 da Freeman et al. e nel decennio successivo la procedura è stata applicata per comprendere la correlazione fra lo scuotimento del suolo prodotto dal terremoto e le performance dei fabbricati soggetti all'azione sismica, nonché per verificare, in fase di progettazione, il comportamento degli edifici. Per valutare la performance sismica di una struttura, rappresentata da un modello a un grado di libertà equivalente, la procedura si basa sulla comparazione della curva di capacità con quella della domanda, all'interno di un diagramma (accelerazione spettrale,  $S_a$ , spostamento spettrale  $S_d$ ). La curva di capacità<sup>350</sup> è ottenuta attraverso un'analisi pushover o analisi statica non lineare, come definita dalle NTC 2008, che prevede l'assegnazione di una prefissata distribuzione di forze, incrementate in maniera statica e monotona, tale distribuzione è mantenuta inalterata anche dopo il raggiungimento del punto di rottura. Il carico rappresenta la distribuzione delle forze inerziali, provocate dal terremoto, che sono proporzionali alle masse in movimento e alle accelerazioni delle stesse.

Nelle analisi di vulnerabilità di tipo territoriale<sup>351</sup>, la curva di capacità bilineare può essere definita in relazione alla tipologia edilizia esaminata e alle caratteristiche qualitative

<sup>345</sup> Hazus, in <<http://www.fema.gov/hazus>>.

<sup>346</sup> "identificare i pericoli, profilo del rischio, attività di inventario, stimare le perdite, considerare le opzioni di mitigazione" FEMA 433, *Using HAZUS-MH for Risk Assessment. How-to Guide*, agosto 2004, 4-1, in <<http://www.fema.gov/pdf>>.

<sup>347</sup> P. Mouroux, E. Bertrand, M. Bour, B. Le Brun, S. Depinois, P. Masure, And The Risk-Ue Team, *The European Risk-Ue Project: an Advanced Approach to Earthquake Risk Scenarios*, 13<sup>th</sup> World Conference On Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, 1-6 agosto, 2004, in <[http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13\\_3329.pdf](http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_3329.pdf)>.

<sup>348</sup> *Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban Areas Against Seismic Disasters*, in <<http://geohaz.org/projects/radius.html>>.

<sup>349</sup> S. A. Freeman, *Review of the development of the capacity spectrum method*, in ISET «Journal of Earthquake Technology», Paper No. 438, Vol. 41, No. 1, marzo 2004, pp. 1-13.

<sup>350</sup> S. Cattari, E. Curti, A. Galasco, S. Resemini, *Analisi sismica lineare e non lineare degli edifici in muratura*, Sistemi editoriali, Napoli, 2005, pp. 27-31.

<sup>351</sup> S. Lagomarsino, S. Podestà (CD a cura di), *Inventario e vulnerabilità del patrimonio monumentale dei parchi dell'Italia centro-meridionale e meridionale*, Vol. III - Analisi di vulnerabilità e rischio degli edifici monumentali, INGV/GNDT-Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia / Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, L'Aquila, 2005, pp. 11-16;



rilevate. Tale curva descrive l'evoluzione del comportamento strutturale, dallo stato iniziale, in assenza di danno (comportamento elastico), al progressivo danneggiamento dell'edificio, con formazione di lesioni, fino al collasso. Lo spettro di risposta è ridotto, proprio per tener conto del comportamento anelastico non lineare del sistema strutturale e la riduzione può essere ottenuta, ricorrendo al concetto di duttilità, tramite il fattore di riduzione  $R_\mu$ . Per disegnare la curva di capacità, dunque, sono necessari tre parametri: il periodo fondamentale della struttura,  $T$ , l'accelerazione spettrale corrispondente al limite elastico,  $a_y$  e la duttilità,  $\mu$ . Lo spostamento corrispondente al performance point,  $S_{d^*}$ , rappresentato come l'intersezione delle due curve, può essere calcolato con le seguenti relazioni:

$$S_{d^*} = \begin{cases} \left[ \frac{1 + (q-1)T_C}{T} \right] d_y & \text{se } T < T_C \text{ e } q > 1 \\ qd_y & \text{se } T_C \leq T < T_D \text{ e } q \leq 1 \\ \frac{S_{ae}(T_D)T_D^2}{4\pi^2} & \text{se } T \geq T_D \end{cases}$$

Dove:

-  $T_C$  è il periodo caratteristico che separa i periodi per cui l'accelerazione spettrale è pressoché costante, ( $T < T_C$ ), da quelli per cui è pressoché costante la velocità spettrale, ( $T > T_C$ ), mentre  $T_D$  è il periodo che definisce le costanti spettrali dello spostamento;

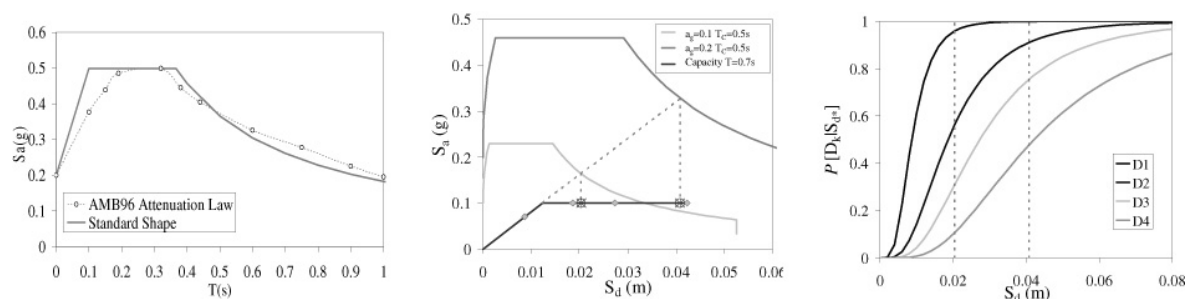
-  $d_y = \frac{a_y T^2}{(4\pi^2)}$  è lo spostamento al limite elastico della struttura;

-  $q = \frac{S_{ae}(T)}{a_y}$  rappresenta il rapporto fra la domanda di un sistema elastico (spettro di risposta elastico,  $S_{ae}(T)$ , calcolato per uno smorzamento pari al 5%) e la resistenza di una struttura non lineare.

La stima della vulnerabilità è effettuata valutando sempre la distribuzione di probabilità dello stato di danno atteso. Le curve di fragilità servono a verificare se il danno è pari o maggiore a un certo stato limite  $D_k$ , in funzione dello spostamento di riferimento,  $S_{d^*}$ . La probabilità di eccedere ciascuna soglia di spostamento  $S_{d,k}$  è valutata utilizzando una funzione cumulativa della distribuzione lognormale di probabilità,  $\Phi$ :

$$P[D_k | S_{d^*}] = \Phi \left[ \frac{1}{\beta_k} \ln \left( \frac{S_{d^*}}{S_{d,k}} \right) \right]$$

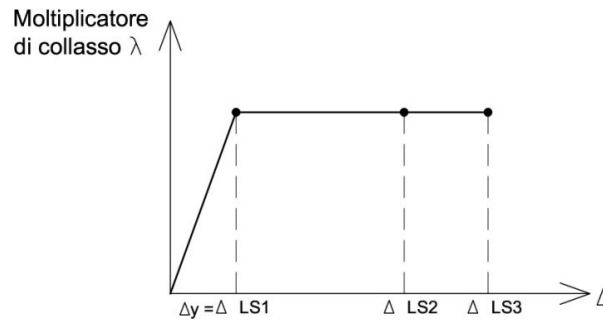
$\beta_k$  è la deviazione standard normale del logaritmo naturale della soglia di spostamento  $S_{d,k}$



**Fig. 3.18 Steps di un approccio meccanico/analitico: spettro di risposta elastico, determinazione del performance point attraverso il Capacity Spectrum Method e curve di fragilità (in Giovinazzi et al., 2006)**

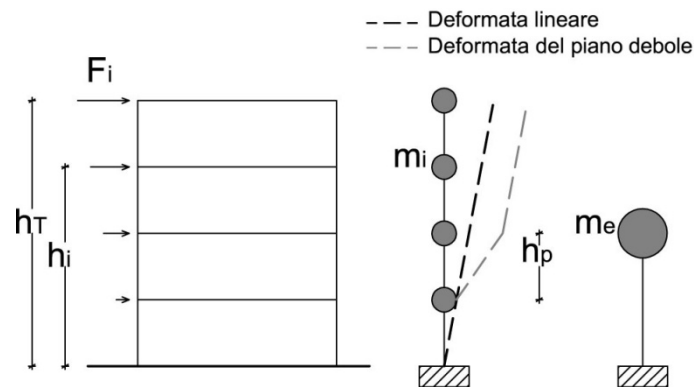
S. Giovinazzi, S. Lagomarsino, S. Pampanin, *Vulnerability Methods and Damage Scenario for Seismic Risk Analysis as Support to Retrofit Strategies: an European Perspective*, 2006 NZSEE Conference, «Remembering Napier 1931 - Building on 75 Years of Earthquake Engineering in NZ», Napier, Nuova Zelanda, 10-12 marzo 2006, in <<http://www.nzsee.org.nz/db/2006/Paper14.pdf>>.

Poco dopo l'introduzione della tecnica dello spettro di capacità, B. Borzi<sup>352</sup> et al. hanno proposto, nel 2008, il Simplified Pushover - Based Earthquake Loss Assessment method, che è stato validato sia per edifici in cemento armato che per costruzioni in muratura e faremo riferimento proprio a queste ultime, che costituiscono la tipologia edilizia prevalente dei centri storici. L'approccio è applicato per ottenere curve di vulnerabilità, che, dato un certo livello di scuotimento del suolo, descrivono la probabilità di subire perdite o danni. Il metodo si basa, come indica la stessa denominazione, su un'analisi pushover semplificata. Pertanto, con riferimento ad un sistema a un grado di libertà equivalente (SDOF), si determina la capacità di spostamento di ogni edificio del campione random considerato, per diversi stati limiti. Sono state assunte tre condizioni limite: danno lieve (LS1), danno significativo (LS2) e collasso (LS3).



**Fig. 3.19 Grafico della curva di capacità per comportamento strutturale elastico perfettamente plastico (Immagine originale in Borzi et al., 2008)**

Il campo elastico, rappresentato dal tratto lineare, è seguito, dopo il raggiungimento della resistenza massima, da un tratto di softening, con formazione di meccanismi di collasso e si assume che il danno sia concentrato all'interno di una certa altezza,  $h_p$ .



**Fig. 3.20 Rappresentazione di un sistema a più gradi di libertà (MDOF) e del corrispondente sistema a un grado di libertà (SDOF) (Immagine originale in Borzi et al., 2008)**

Una volta assunta la deformazione del sistema, la capacità di spostamento associata al limite del comportamento elastico è data dalla seguente relazione:

$$\Delta_y = k_1 h_T \bar{\delta}_y$$

dove:  $k_1$  è un coefficiente;  $h_T$  è l'altezza complessiva dell'edificio;  $\bar{\delta}_y$  è lo spostamento ultimo al limite dello stato elastico. Quando l'edificio supera la fase elastica ed entra in campo non lineare, la capacità di spostamento per gli stati limite corrispondenti è:

$$\Delta_{LSi} = k_1 h_T \bar{\delta}_y + k_2 (\bar{\delta}_{LSi} - \bar{\delta}_y) h_p$$

<sup>352</sup> B. Borzi, H. Crowley, R. Pinho, *Simplified pushover-based earthquake loss assessment (SP-BELA) for masonry buildings*, in «International Journal of Architectural Heritage», n. 2, 2008, pp. 353–376.

in cui  $\delta_{LSi}$  è lo spostamento ultimo corrispondente allo stato limite  $i$ .

La fase successiva è la determinazione dei moltiplicatori di collasso  $\lambda_i$  che possono essere ottenuti utilizzando la formula di Benedetti e Petrini (1984):

$$\lambda_i = \frac{1}{W_T \frac{\sum_{k=i}^n h_k W_k}{\sum_{j=1}^n h_j W_j}} A_i \tau_{ki} \left[ 1 + \frac{\sum_{k=i}^n W_k}{1.5 \tau_{ki} A_i (1 + \gamma_{AB})} \right]^{1/2}$$

dove:

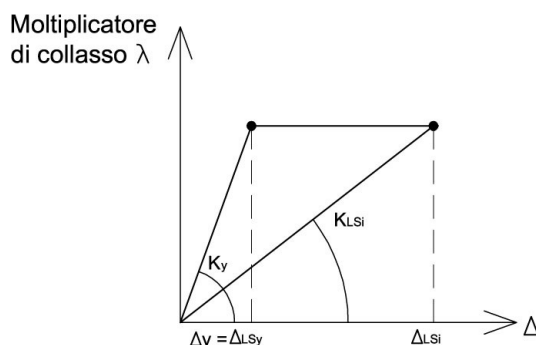
- $W_T$  è il peso totale dell'edificio;
- $W_i$  è il peso del piano  $i$ ;
- $\tau_{ki}$  è la resistenza a taglio della muratura al piano  $i$ ;
- $A_i$  è l'area totale delle pareti resistenti al livello  $i$  nella direzione di applicazione dei carichi;
- $\gamma_{AB}$  è il rapporto fra  $A_i$  e  $B_i$ , in cui  $B_i$  è l'area massima fra l'area della parete nella direzione dei carichi e quella ortogonale;
- $n$  è il numero dei piani.

Sarà quindi scelto il moltiplicatore più piccolo fra tutti i  $\lambda_i$  determinati, inoltre, per tener conto degli effetti 3D trascurati, come quelli torsionali, Restrepo-Vélez e Magenes (2004) hanno proposto l'introduzione di un coefficiente correttivo:

$$\lambda = \phi_c^{-1} \min\{\lambda_i\}$$

Il coefficiente correttivo  $\phi_c^{-1}$  è stato stimato attraverso la comparazione con i risultati delle analisi agli elementi finiti di edifici tridimensionali.

Con i dati ottenuti è possibile determinare i periodi di vibrazione ai diversi stati limite<sup>353</sup>, infatti, nota la rigidezza, il periodo fondamentale di vibrazione, corrispondente al primo stato limite,  $T_y$  è pari a:



**Fig. 3.21** Periodi di vibrazione ai diversi stati limite determinati una volta note le rigidezze  $K$  (Immagine originale in Crowley et al., 2008)

$$T_{LSy} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K_y}} = 2\pi \sqrt{\frac{\Delta_y g}{\lambda}}$$

essendo la duttilità:

$$\mu_{LSi} = \frac{\Delta_{LSi}}{\Delta_{LSy}} = \frac{K_{LSi}}{K_{LSy}}$$

il periodo corrispondente allo stato limite  $i$ ,  $T_{LSi}$ , è pari a:

<sup>353</sup> H. Crowley, B. Borzi, R. Pinho, M. Colombi, M. Onida, *Comparison of Two Mechanics-Based Methods for Simplified Structural Analysis in Vulnerability Assessment*, in «Advances in Civil Engineering», Article ID 438379, 2008, pp. 1-19.

$$T_{LSi} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K_{LSi}}} = 2\pi \sqrt{\frac{m\mu_{LSi}}{K_y}} = T_{LSy} \sqrt{\mu_{LSi}}$$

Lo spettro in spostamento si determina moltiplicando lo spettro in accelerazione per  $(T/2\pi)^2$ . Anche nel metodo SP-BELA per tener conto della dissipazione di energia si ricorre a uno spettro ridotto ossia uno spettro di risposta elastico riferito a un valore di smorzamento equivalente, detto spettro sovrasmorzato. In alternativa è possibile anche utilizzare uno spettro anelastico. La procedura prevede quindi il confronto fra la capacità dell'edificio e la domanda in spostamento, corrispondente a un periodo di vibrazione, a un certo stato limite.

Le curve di vulnerabilità sono state realizzate per tutti i tipi di muratura, ad esempio, in pietra di bassa/buona qualità oppure in laterizio con elevata/bassa percentuale di forature, considerando un numero variabile di piani. Le curve esprimono la probabilità che il danno superi determinate soglie, per differenti livelli di intensità, espressa in termini di PGA. I grafici hanno evidenziato come la vulnerabilità aumenti in relazione al numero di piani, infatti, quando l'edificio ha un'altezza maggiore, aumenta la capacità di spostamento. Le conclusioni possibili sono comunque relazionate ai dati assunti.

Il metodo SP-BELA è stato utilizzato anche in Italia, in particolare, sono stati condotti studi sulla città Messina<sup>354</sup>, che nel 1908 è stata devastata da un terremoto di magnitudo stimata fra 6.7 e 7.1. All'evento sismico era poi seguito uno tsunami e i danni sono stati complessivamente ingenti, sia per il numero di vittime, pari a 86000, corrispondente a più del 40% della popolazione all'epoca residente nella città, sia per la perdita di edifici: sembra che il 98% di questi sia stato fortemente danneggiato. Le conseguenze furono immediate sul piano economico, questo ha motivato le recenti ricerche sui possibili scenari di danno, per la città di Messina, simulando eventi analoghi a quello del 1908.

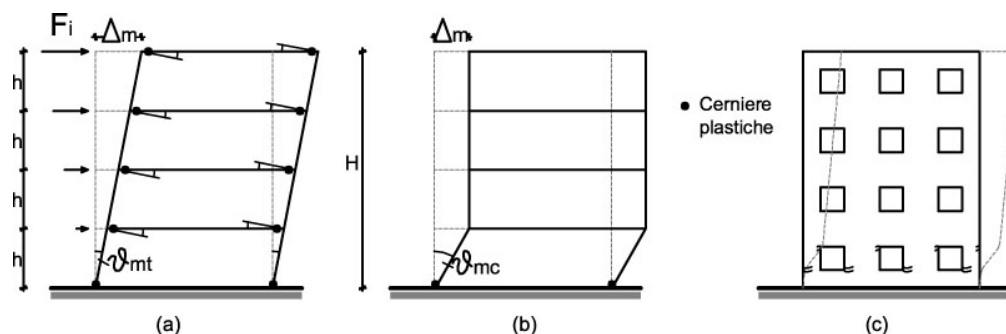
La domanda sismica è stata modellata utilizzando uno spettro di risposta in spostamento, determinato sulla base delle caratteristiche del suolo e, per tener conto delle incertezze sulla classificazione del sito e sui dati geologici, è stata considerata una variabilità aleatoria stimata attraverso il modello fisico del terremoto, che è stato utilizzato per produrre i sismogrammi. Per quanto riguarda le caratteristiche edilizie sono state considerate le disposizioni urbanistiche del Piano Regolatore approvato nel 1911, che aveva imposto strade ampie e edifici alti non più di dieci metri. Tuttavia, durante la ricostruzione, a causa della Seconda Guerra Mondiale, le bombe danneggiarono più del 90% degli edifici e poiché le disposizioni normative, introdotte dopo 1909, consentivano la costruzione di edifici fino a cinque piani, nel centro storico della città, i vecchi fabbricati di due e tre livelli sono stati abbattuti e sostituiti con nuove palazzine più alte. Inoltre, nella ricerca, è stato ipotizzato che la maggior parte degli edifici ricostruiti in cemento armato sia stato progettato secondo criteri antisismici, mentre per gli edifici in muratura si è assunto che questi siano stati realizzati con mattoni pieni o forati. Per definire, invece, l'esposizione della popolazione e degli edifici sono stati utilizzati i dati censiti dall'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT) nel 1991, che sono utili a effettuare valutazioni dalla scala comunale a quella regionale e nazionale. Sulla base delle informazioni disponibili, nello studio, sono state considerate diciotto diverse tipologie costruttive.

I risultati dell'analisi condotta hanno evidenziato che, se la città di Messina fosse colpita da un sisma analogo a quello del 1908, il 52% degli edifici potrebbe essere soggetto a un danno leggero, il 44% potrebbe subire un danno significativo e il 38% degli edifici avrebbe la possibilità di collassare. Pertanto a distanza di più di un secolo dal tragico evento, la vulnerabilità sismica della città è abbastanza elevata. Il quadro prospettato può

<sup>354</sup> M.S. Teramo, H. Crowley, M. Lopez, R. Pinho, G. Cultrera, A. Cirella, M. Cocco, M. Mai, A. Teramo, *A damage scenario for the city of Messina, Italy, using displacement-based loss assessment*, 14<sup>th</sup> World Conference On Earthquake Engineering, Beijing, China, 12-17 ottobre, 2008, in <[http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/14\\_07-0023.PDF](http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/14_07-0023.PDF)>.

essere un valido strumento per individuare i fabbricati che avrebbero bisogno di interventi strutturali, per fronteggiare l'eventuale sisma nel migliore dei modi. Inoltre, la realizzazione di mappe, sulla distribuzione dei danneggiamenti presunti, può facilitare la definizione di un piano di evacuazione, utile, nell'emergenza, a individuare la rete dei percorsi, di cui i soccorritori potrebbero avvalersi. L'importanza di tali ricerche risiede proprio nella possibilità di prevenire o almeno limitare i danni dovuti ai terremoti attraverso strategie pianificate a priori per la gestione dell'emergenza.

Una metodologia alternativa è nota come Displacement-Based Earthquake Loss Assessment method<sup>355</sup>. La procedura può essere adottata sia per edifici in cemento armato che in muratura, assumendo sempre lo schema del sistema SDOF, ossia un sistema ad un grado di libertà equivalente. Per valutare la capacità di spostamento delle strutture sono stati schematizzati tre casi possibili.



**Fig. 3.22 (a) Meccanismo da trave oscillante e (b) Meccanismo da colonna oscillante per telai in cemento armato, (c) Meccanismo da oscillazione di piano per edifici in muratura (Immagine originale in Crowley e Pinho, 2008)**

Per gli edifici in muratura, soggetti a meccanismo da oscillazione di piano (caso c) e per quelli in cemento armato, soggetti a meccanismo da oscillazione di colonna (caso b), la capacità di spostamento è data dalla formula:

$$\Delta_{LS}^{cl-sway} = \theta_{cy} k_1 H + \theta_{cp} k_2 h_s$$

nella quale:  $\theta_{cy}$  indica la capacità di rotazione al limite dello stato 1;  $k_1$  è il coefficiente di altezza effettiva, necessario per ottenere l'altezza equivalente del sistema SDOF deformato,  $H$  è l'altezza dell'edificio;  $\theta_{cp}$  rappresenta la rotazione plastica a un dato stato limite;  $k_2$  è il coefficiente di altezza effettiva dei maschi murari;  $h_s$  indica l'altezza del maschio per gli edifici in muratura. I coefficienti  $k_1$  e  $k_2$  sono stati determinati da Restrepo-Velez e Mages (2004) per edifici da uno a sei piani. La capacità di rotazione delle pareti in muratura ai diversi stati limite può essere determinata attraverso prove sperimentali. Le capacità di rotazione plastica saranno date dalla differenza fra la capacità di rotazione allo stato limite  $i$  e quella allo stato limite 1.

La determinazione del periodo di vibrazione, in relazione all'altezza degli edifici, per costruzioni in muratura è data dalla formula:

$$T_y = 1.2 \times 0.05H^{3/4} = 0.06H^{3/4}$$

L'originale relazione, contenuta nell'Eurocodice 8, è stata aumentata del 20% perché le equazioni dell'EC8 sono state calcolate per sottovalutare il periodo approssimativamente del 10 - 20% al primo stato limite dell'edificio.

<sup>355</sup> H. Crowley, R. Pinho, *Using Basic Principles of Mechanics of Materials to Assess the Seismic Risk of Entire Countries*, in «Environmental Semeiotics», Vol. 1, No. 1, 2008, pp. 1-19.

Anche nella metodologia D-BELA, se si assume che la struttura abbia un comportamento elastico-perfettamente plastico, il periodo di vibrazione, per stati limite post-snervamento, si può ottenere ricorrendo alla duttilità  $\mu_{LS}$ :

$$T_{LS} = T_y \sqrt{\mu_{LS}}$$

Raccogliendo all'interno di un database le informazioni utili a mostrare le caratteristiche strutturali di un campione di edifici, rappresentativo del contesto urbano, si possono determinare le capacità di spostamento e i periodi di vibrazione per i diversi stati limite, per poi analizzare la vulnerabilità del costruito. A tal fine è necessario, come per le altre metodologie, confrontare le capacità strutturali degli edifici con un predefinito input sismico, la domanda, rappresentata da uno spettro di risposta in spostamento sovrasmorzato, valutando quindi la probabilità di eccedere un dato stato limite.

### 3.4 L'ESPOSIZIONE

Rappresenta l'ultimo aspetto necessario per la definizione del rischio sismico di un'area e indica «sia la quantità e la qualità di beni esposti al pericolo sismico sia il numero di persone coinvolte e la loro capacità di reazione»<sup>356</sup>. Per stimare beni e persone esposti al rischio sismico sono stati introdotti degli indici che facilitano l'interpretazione dei numerosi elementi da valutare. Fra questi, sono particolarmente rilevanti l'aspetto sociale ed economico della popolazione insediata, nonché la quantità e le funzioni del patrimonio edilizio, presenti all'interno di un sistema urbano, sia quelle legate alla residenza sia quelle pubbliche, compreso le infrastrutture e le attività produttive.

Come è stato osservato, pur limitando l'analisi ai soli edifici strategici, lo studio dell'esposizione è comunque abbastanza complesso ed è possibile schematizzare il processo in quattro step: l'individuazione, per ogni funzione svolta, delle relazioni fra le funzioni e le attività del sistema socioeconomico; la valutazione delle conseguenze della mancata erogazione di un servizio per ogni funzione considerata; la correlazione fra i livelli di danneggiamento subiti dall'edificio e la possibilità di garantire i servizi svolti all'interno di tali edifici; la valutazione della possibilità di garantire il servizio in edifici alternativi con la stima dei tempi necessari per la realizzazione delle soluzioni previste.

Sembra pertanto evidente che i danni, conseguenti a un eventuale terremoto, debbano essere intesi sia come danni «diretti» al patrimonio edilizio, sia come danni «indiretti» dovuti alla perdita dei servizi, che erano svolti negli edifici danneggiati o distrutti.

Per condurre una ricerca sull'esposizione di un'area possiamo far riferimento a una procedura già adottata nel definire i criteri di priorità per utilizzare i fondi previsti dalla legge 730/1986, secondo le disposizioni dell'ordinanza 1062/FPC/ZA del 16 luglio 1987, recante misure per l'attuazione degli interventi di adeguamento antisismico degli edifici pubblici nelle zone delle province di Lucca e Massa Carrara e nei comuni delle province di Modena, Parma e Reggio Emilia. In sostanza, il danno atteso è moltiplicato per un fattore correttivo che è stato definito indice di esposizione<sup>357</sup>. Tale indice è il prodotto dell'indice di utenza e dell'indice di funzione, ossia i due fattori che misurano l'esposizione sismica di un'area.

La stima dell'utenza è legata all'affollamento degli edifici, mentre sembra più difficile quantificare l'importanza assunta da una funzione, essendo questa legata a giudizi

<sup>356</sup> CNR-GNDT, *Rischio sismico di edifici pubblici. Parte I - aspetti metodologici*, Bologna, 1993, pp. 99.

<sup>357</sup> *Ibid.*, pp. 100-106.



soggettivi. L'indice di utenza,  $I_u$ , è determinato sulla base di quattro elementi, di cui due di natura qualitativa e due di natura quantitativa. Si tratta precisamente dell'indice delle capacità comportamentali degli utenti,  $I_{co}$ ; di quello che tiene conto della facilità d'evacuazione dall'edificio, in base al numero dei piani,  $I_{ev}$ ; l'indice indicante il periodo di utilizzazione,  $P_u$ ; l'indice rappresentativo della densità di utenza,  $D_u$ . L'indice di funzione, invece, è dato da tre parametri inerenti a: l'uso dell'edificio nella prima emergenza,  $U_{e1}$ ; l'uso nella seconda emergenza  $U_{e2}$ ; il bacino di utenza,  $B_u$ .

Ogni sottoindice deve essere stimato sulla base di una scala di valori, ad esempio nella determinazione dell'indice di funzione, i tre parametri sopramenzionati sono classificati come essenziale, importante e rilevante, attribuendo valori decrescenti alle classi.

In prima emergenza, sono considerati essenziali tutti gli edifici strategici la cui destinazione d'uso riguarda l'assistenza medico-sanitaria, i municipi e le caserme. Possono essere considerati importanti gli edifici che sono destinati ad attività didattiche. Infine, fra i luoghi rilevanti sono annoverati gli uffici che hanno funzioni amministrative, quelli delle aziende sanitarie, così come gli uffici postali o giudiziari.

In seconda emergenza, l'importanza degli edifici è stimata sulla base della capacità di ospitare anche funzioni alternative, nella fase successiva all'evento. Per questo sono utilizzati solo due criteri di valutazione: essenziale o rilevante. Nel primo gruppo sono considerati gli edifici per l'istruzione, ospedali, case di cura, ambulatori, municipi e caserme; nel secondo caso sono considerati gli uffici di varia natura.

In relazione al bacino d'utenza, i coefficienti di valutazione sono assegnati in base all'estensione dell'area amministrativa. Tali coefficienti crescono dal valore minimo, assegnato ai bacini di utenza locali, a quelli massimi, per i bacini sovraregionali.

Anche i quattro parametri che determinano l'indice di utenza devono essere valutati numericamente. La densità di utenza è data dal rapporto fra il numero di utenti e il volume dell'edificio, ricorrendo, ai fini della determinazione dell'indice, allo standard di  $100 \text{ m}^3$  per utente. Il periodo di utilizzazione è dato dal rapporto fra il numero di ore annue di utilizzo dell'immobile e il numero totale di ore di un anno. La capacità di comportamento degli utenti dipende, invece, da fattori fisici e psicologici. Le reazioni degli utenti, infatti, sono condizionate dall'età delle persone e dal livello di conoscenza del fenomeno, nonché dalla dipendenza degli utenti da altre persone: si pensi ai bambini di un nido legati alla figura dell'educatore che conoscono, oppure si considerino i soggetti in carcere, la cui libertà di movimento è limitata dallo status di detenuti. Infine, il numero di piani dell'edificio è l'ultimo parametro che determina l'indice di utenza, essendo determinante per stabilire la facilità di evacuazione dall'edificio.

La stima dell'esposizione, come evidenzia il Fera<sup>358</sup>, ha mutuato dagli studi urbanistici modelli di analisi, in seguito modificati e adattati per le esigenze specifiche della ricerca sull'esposizione. Fra i metodi più rilevanti si annovera il cosiddetto «*approccio sistemico al territorio*», dalla cui evoluzione sono nati gli approcci ecosistemici, presentati nel primo capitolo. Il modello è stato definito «*sistemico*» perché basato sulle relazioni fra gli elementi degli insiemi che lo compongono. In questo modo il territorio può essere interpretato come un sistema complesso, i cui sottosistemi svolgono tutti ruoli diversi al fine di rendere pienamente funzionante l'intero sistema. In base alla funzione svolta, i singoli sottosistemi possono essere distinti in sistemi spaziali e sistemi a rete. Nel primo gruppo rientrano tutte quelle funzioni che coesistono insieme, come la parte abitativa, quella produttiva o quella deputata al consumo di beni e servizi. I sistemi a rete servono, invece, a garantire le relazioni fra i sistemi spaziali. Entrambi i sistemi sono costituiti da elementi e nel caso degli studi sull'esposizione, occorre analizzare proprio tali elementi, considerati a rischio e soggetti a danneggiamento o distruzione.

Gli elementi a rischio possono essere inclusi in più sottosistemi, oppure essere propri di uno solo di essi; possono essere di tre tipi: popolazione; manufatti, compreso ponti o linee elettriche; beni ossia le materie prime o le fonti energetiche. Maggiore è la loro

<sup>358</sup> G. Fera, *La città antisismica*, Gangemi, Roma 1991, pp. 118-128.



concentrazione nel territorio, maggiore risulta essere il livello di esposizione. Pertanto, uno studio sull'esposizione si traduce in uno studio sulla concentrazione delle tre categorie sul territorio. Il livello di concentrazione può essere espresso in termini di densità oppure come intensità di flussi se si considerano gli elementi dei sistemi a rete; densità e intensità dei flussi sono variabili nel tempo; infatti, nell'ambiente urbano è frequente assistere a periodiche variazioni: persino nell'arco della giornata si possono individuare aree che in determinati orari hanno una maggiore densità rispetto ad altre, come quelle che ospitano uffici e centri scolastici. Periodi temporali più lunghi sono legati alle attività stagionali, come quelle turistiche o ricreative. Attraverso i concetti espressi sembra evidente che la stima dell'esposizione sia legata alla quantità di elementi coinvolti, ma è bene rammentare che non è l'unico aspetto da valutare: gli elementi hanno, infatti, una funzione. Il ragionamento, quindi, conduce all'idea di stimare le perdite per quantità e per funzione.

Uno studio, condotto ormai più di vent'anni fa dal CNR/GNDT- Gruppo di Lavoro 2.4<sup>359</sup>, sulla città di Messina, ha analizzato anche l'esposizione del comune, per individuare le linee d'intervento in ambito urbano e edilizio, al fine di ridurre i livelli di rischio di un territorio che ha un'elevata densità insediativa e funzionale. In particolare, nell'analisi sono stati oggetto d'attenzione i seguenti argomenti: popolazione residente, attività economiche, servizi di rilevante interesse pubblico, attività scolastiche, strutture sanitarie, sistema dei trasporti, servizi a rete. Le analisi condotte hanno permesso l'elaborazione di specifiche carte urbane, come quella sulla concentrazione della popolazione residente e quella analoga, relativa alle attività. Anche per la mobilità è stata proposta una carta che descriveva le differenti modalità di trasporto e presentava un'ipotetica gerarchizzazione del sistema viario. Il caso di Messina dimostra proprio come le ricerche sull'esposizione possano essere condotte in modo assai ampio e possano interessare una pluralità di tematiche interagenti, all'interno dell'ambiente costruito.

### 3.5 II RUOLO DEL RILIEVO

La valutazione della sicurezza degli edifici esistenti, nelle NTC<sup>360</sup>, non è affidata a «regole specifiche», valide per tutte le situazioni realmente riscontrabili. Le norme, per questo, affidano ai progettisti il compito di definire e giustificare il modello di valutazione della sicurezza, in base al comportamento strutturale atteso delle costruzioni; le stesse norme indicano il percorso di studio necessario per la comprensione degli organismi edilizi.

Tale percorso si avvale di tre fasi: l'analisi storico-critica; il rilievo; la caratterizzazione meccanica dei materiali. L'analisi storico-critica è utile per «una corretta individuazione del sistema strutturale esistente e del suo stato di sollecitazione». Anche i maestri del restauro, richiamati nel precedente capitolo, ricorrevano a ricerche approfondite e indagini storiche per ricostruire le fasi evolutive dell'oggetto edilizio. Il rilievo «geometrico-strutturale» ha lo scopo di rappresentare sia complessivamente l'organismo edilizio sia la geometria degli elementi costruttivi, evidenziando anche le modifiche subite dall'edificio nel tempo ed emerse attraverso le precedenti analisi storico-critiche. Il rilievo è utilizzato per individuare «l'organismo resistente della costruzione», presentando anche lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi. Infine, grazie al rilievo, è possibile descrivere lo stato fessurativo ed eventualmente i meccanismi innescati da eventi sismici. L'ultimo passaggio del percorso intrapreso è rappresentato dalla caratterizzazione meccanica dei materiali, basata sulla valutazione della documentazione già disponibile, sulle

<sup>359</sup> G. Fera, F. Cavallaro, E. D'Amore, S. Nicocia, F. Novelli, *Esposizione vulnerabilità e rischio in un comune di grandi dimensioni e con forti presenze funzionali: il caso di Messina*;

G. Fera, *La città antisismica*, cit., pp. 213-218.

<sup>360</sup> DM 14 gennaio 2008, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, Par. 8.5, *Procedure per la valutazione della sicurezza e la redazione dei progetti*.

osservazioni in situ e sulle indagini sperimentali, al fine di ottenere i valori della resistenza meccanica dei materiali. Nei centri storici occorre altresì valutare l'impatto delle prove che si rendano necessarie, per garantire la conservazione del costruito.

Nel caso di Arsita (TE) le Schede Urbanistico - Architettoniche, in precedenza descritte, sono state prodotte proprio sulla base della metodologia di studio suggerita dalle NTC. L'analisi delle unità strutturali, articolata in più momenti conoscitivi, si è avvalsa del rilievo come strumento di lettura del costruito, assumendo, dunque, un ruolo centrale nel processo conoscitivo dei manufatti edilizi. In generale, tutti gli strumenti schedografici presentati si avvalgono del rilievo per trarre le informazioni necessarie per lo studio della vulnerabilità.

L'importanza del rilievo è sottolineata anche nelle *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico e del patrimonio culturale*<sup>361</sup>, che distinguono il rilievo geometrico, riferito all'organismo nel suo insieme e agli elementi costruttivi, da quello materico costruttivo. Secondo le Linee Guida<sup>362</sup>, la «descrizione stereometrica» del manufatto «comporta l'individuazione delle caratteristiche plano-altimetrica degli elementi costitutivi». In questo modo, piano per piano, possono essere esaminate: la tipologia muraria, l'orditura dei solai, le eventuali strutture voltate, le coperture, le scale, le nicchie, le canne fumarie e tutte le parti che compongono l'edificio e ne determinano forma e distribuzione spaziale.

Le metodologie di rilievo geometrico, sviluppate nel corso degli anni, possono essere considerate quindi uno strumento di lettura e di interpretazione della città. La Norma UNI 7310/74<sup>363</sup> è nata per stabilire un codice di lettura dell'ambiente costruito. La storia della Norma menzionata inizia a Torino, negli anni Sessanta del Novecento, quando all'interno dell'Istituto di Architettura Tecnica del Politecnico, un gruppo di ricerca, guidato da Augusto Cavalleri Murat, ha intrapreso uno studio sulla forma urbana della città sabauda. L'obiettivo era di individuare i «valori» rappresentativi della città storica e proporre una restituzione grafica sintetica dei rilievi e degli studi effettuati. Il metodo di rilievo, definito «degli aggregati urbani storici caratterizzati da edilizia multipiana»<sup>364</sup>, è stato applicato in varie città. Dopo Torino, anche Alba, Alessandria, Casale, Vigevano, Novara, Trieste hanno adottato la stessa metodologia per raccontare l'organizzazione della città e l'evoluzione del tessuto urbano.

Il fine della Norma è di contribuire allo «Studio propedeutico all'elaborazione di strumenti d'indirizzo per l'applicazione della normativa sismica agli insediamenti storici»<sup>365</sup>. Per condurre questo studio sono indicati due livelli di indagine, interagenti: uno che consente di definire la conformazione degli aggregati edilizi, utile a comprendere l'organizzazione degli spazi edificati e non edificati, nonché l'organizzazione viaria e quella degli spazi pubblici o la presenza di elementi naturali; una seconda analisi più dettagliata, che, a partire dal rilievo di ogni singola cellula edificata, permette di risalire alla conformazione degli isolati, per delineare la struttura urbana e la morfologia del costruito. In relazione alle finalità dei due livelli di analisi, è necessario ricorrere a scale di rappresentazione diverse: 1:1000 o 1:500 nel primo caso, per fornire un quadro generale; 1:500 o 1:200 nel secondo caso, per rappresentazioni più dettagliate. Le due indagini si avvalgono di convenzioni grafiche per indicare strutture architettoniche, aspetti urbanistici ed elementi cartografici, senza la pretesa di rappresentare in maniera rigorosa l'ambiente costruito. L'obiettivo è di produrre carte qualitativamente significative e sufficientemente complete.

Il successo del metodo, dal quale è nata la Norma, risiede nella sua impostazione. Le mappe che sono state prodotte, infatti, non sono «assemblaggi di rilievi architettonici del

---

<sup>361</sup> Ministero per i Beni e le Attività Culturali, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico e del patrimonio culturale*, Gangemi Editore, Roma, 2006.

<sup>362</sup> *Ibid.*, pp. 12-13.

<sup>363</sup> C. Boido, *Sviluppi e approfondimenti di un metodo di rilievo: la Norma UNI7310/74 per lo studio di tessuti urbani storici a rischio sismico*, in R. Ientile, M. Naretto, *Patrimonio architettonico e rischio sismico: un percorso tra conoscenza e obiettivi di conservazione*, Celid, Torino, 2013, pp. 43-80.

<sup>364</sup> *Ibid.*, p. 43.

<sup>365</sup> *Ibid.*, p. 45.

piano terreno degli edifici»<sup>366</sup>, magari ridisegnati sulla base delle cartografie tecniche di cui dispongono i Comuni, ma costituiscono una rappresentazione geometrica, elaborata appositamente. Negli studi condotti, sono stati esaltati gli aspetti strutturali e i caratteri costruttivi, determinanti per la valutazione della vulnerabilità del costruito e per impostare «un eventuale progetto di intervento legato alla prevenzione»<sup>367</sup>. Per evitare che un numero elevato di informazioni potesse rendere illeggibili gli elaborati, le carte sono state rappresentate in scale diverse, come premesso, così da distinguere il «Rilievo urbano degli aggregati» (RUA) dal «Rilievo urbano degli isolati» (RUI).

Attraverso le simbologie introdotte dalla Norma UNI 7310/74, il Rilievo urbano degli aggregati può essere rappresentato con mappe chiare, indicative dei caratteri geomorfologici dell'abitato, con la definizione dei pieni e dei vuoti. In tali carte possono essere indicate, attraverso curve di livello e piani quotati, le altimetrie del territorio, nonché altri elementi, come ad esempio, la presenza di corsi d'acqua all'interno del tessuto urbanizzato. L'edificato, analogamente, è descritto ricorrendo ancora a norme grafiche che consentono di indicare il numero dei piani, la giacitura dei tetti, la scansione delle aperture e la tipologia degli ingressi. Tutti questi dati forniscono un quadro complessivo delle volumetrie rilevate.

Anche nel Rilievo urbano degli Isolati si adottano precise regole, finalizzate alla rappresentazione della struttura urbana. Pertanto, sono rilevati tutti i piani delle cellule edilizie, analizzando la conformazione strutturale e i caratteri tecnologici. In sostanza, l'attenzione non è rivolta all'aspetto funzionale dell'edificio, ma alle strutture murarie, alla distribuzione planimetrica, ai collegamenti verticali, quindi scale e rampe interne ed esterne all'edificio, alla tipologia degli orizzontamenti, alla geometria di eventuali volte o cupole presenti, alla distribuzione delle aperture e a tutti gli elementi utili per lo studio della vulnerabilità, ad esempio, la presenza di aggetti, come i balconi, o i loggiati al piano terra degli edifici. Questo tipo di rilievo, quindi, non intende mettere in luce i caratteri architettonici degli edifici, come i decori, quanto quelli strutturali, evidenziando la funzione assunta dagli elementi edilizi. Con gli stessi presupposti che guidano il rilievo in pianta degli edifici, si rilevano anche i fronti stradali, quotando le cellule dell'isolato per fornire anche dei dati metrici. La rappresentazione si basa sempre su precise norme grafiche, come l'accostamento di colori diversi, dallo scuro al chiaro, per indicare le varie epoche di costruzione, dalle più antiche alle più recenti, o l'uso del tratteggio, per indicare gli edifici ormai scomparsi.

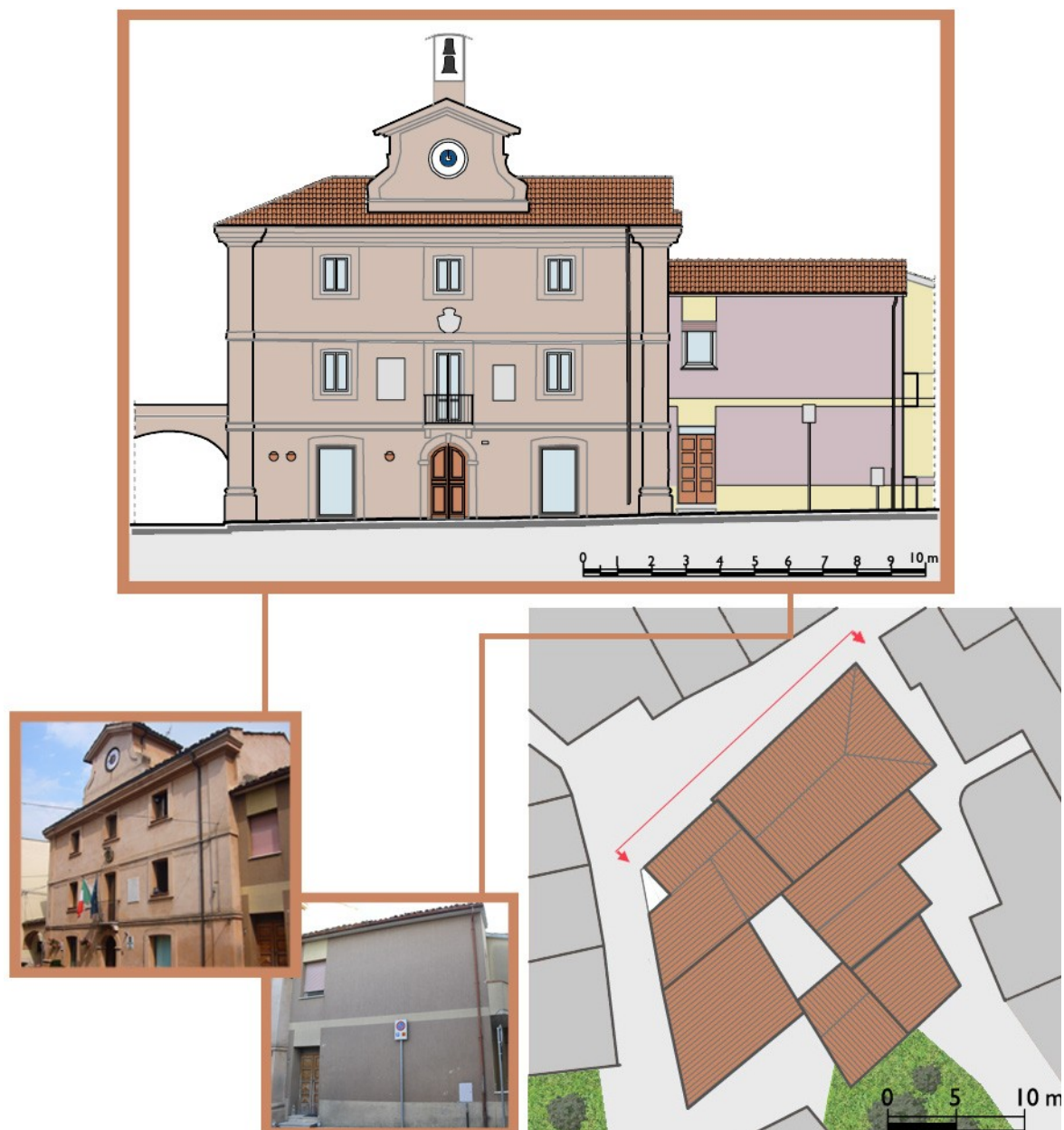
A distanza di più quarant'anni gli studi intrapresi dal gruppo torinese e la stessa Norma UNI 7310/74 rappresentano ancora un valido strumento per il rilievo critico dei centri storici.

La geomatica, attualmente, offre importanti opportunità per migliorare la fase di restituzione grafica. Abbiamo più volte evidenziato come il Geographic Information System (GIS) possa contribuire alla realizzazione di carte topografiche tematiche. Il GIS, se opportunamente integrato con simbologie e regole grafiche, come quelle della Norma richiamata, può essere efficacemente applicato per la realizzazione di mappe urbanistico-architettoniche.

Per il rilievo architettonico delle cellule edilizie, come quelle dei centri storici, si dimostrano particolarmente utili anche i sistemi di scansione laser. Questi possono essere considerati un prezioso strumento per effettuare una rappresentazione precisa del costruito, indispensabile soprattutto se il rilievo è anche la premessa di un successivo progetto di restauro dei manufatti storici.

<sup>366</sup> *Ibid.*, p. 48.

<sup>367</sup> *Ibid.*, p. 49.



**Fig. 3.23 Stralcio planimetrico, sezione stradale e immagini delle facciate del Comune di Arsita (TE)  
(Fotografie e Rilievo laser scanner: ENEA - C. R. Bologna)**

Ancora una volta faremo riferimento al caso di Arsita (TE) (Fig. 3.23), dove sono stati eseguiti numerosi rilievi proprio con l'ausilio della strumentazione laser<sup>368</sup>, grazie alla quale, è stata ottenuta una nuvola di circa ventinove milioni di punti. I dati acquisiti sono stati poi elaborati con uno specifico software, Cyclone, che ha consentito l'allineamento delle venti stazioni di rilevamento all'interno dello stesso sistema di riferimento. Nel successivo step, la nuvola di punti è stata filtrata per rimuovere tutti gli elementi che non erano utili ai fini della restituzione grafica. Per ottenere una rappresentazione bidimensionale del rilievo eseguito, attraverso il CAD, è stato, quindi, indispensabile impostare per ogni prospetto uno specifico User Coordinate System (UCS), ossia un sistema di riferimento locale, necessario per lavorare su piani di disegno di volta in volta diversi. Anche per la realizzazione del modello 3D è stato utile far riferimento alle viste

<sup>368</sup> E. Candigliota, F. Immordino, L. Moretti, M. Indirli, D. Abate, G. Furini, S. Pierattini, A. Screpanti, M. Angelini, T. Gambatesa; C. Massaia, A. Formisano, G. Florio, R. Fonti, A. Marzo, *Remote Sensing, Laser Scanner survey and GIS integrated method for assessment and preservation of historic centers: the example of Arsita*, Proceedings 15WCEE (15 World Conference on Earthquake Engineering), 24-28 settembre 2012, Lisbon, Portugal, Paper 2233, <[http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012\\_2233.pdf](http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_2233.pdf)>.

fornite dalla nuvola di punti. Il risultato conclusivo è stato una rappresentazione fedele delle fattezze del centro abitato ed eventualmente dei danneggiamenti subiti.

La scala della rappresentazione e le tecniche grafiche, utilizzate per la restituzione finale degli elaborati, sono relazionate allo scopo dell'analisi svolta. Per questo, lo stesso elaborato può essere rappresentato in modi diversi a seconda che si voglia, ad esempio, descrivere il quadro fessurativo degli aggregati, piuttosto che analizzare i materiali e i cromatismi caratteristici dell'edificato o studiare gli allineamenti delle aperture.

Negli ultimi anni, ai fini della tutela dei beni culturali, si ricorre sempre più frequentemente anche all'uso dei cosiddetti Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)<sup>369</sup> o droni. Questi fotografano dall'alto il territorio, acquisendo immagini aeree sia delle coperture vegetali sia delle superfici urbanizzate. Gli strumenti di rilevamento da terra hanno limitati raggi d'azione, mentre i droni possono catturare viste di aree altrimenti non rilevabili.

Anche il rilievo degli spazi interni, talvolta, è un'operazione complessa, a causa della difficoltà nell'accedere a tutti gli ambienti dell'oggetto edilizio, compreso sottotetti o controsoffitti. Questo motiva l'impiego di specifiche analisi, come l'endoscopia, la termografia e il georadar. Nel rilievo materico costruttivo, cui fanno riferimento le NTC, per acquisire informazioni nascoste dietro intonaci o spazi inaccessibili, si ricorre proprio a tali prove strumentali, che saranno brevemente richiamate nel successivo capitolo. E' molto importante stabilire numero, tipologia e localizzazione delle prove, che possono essere più o meno invasive e, per questo, in situazioni estreme, possono rappresentare una minaccia per la conservazione dei centri storici.

### 3.6 DALLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO A QUELLA DELLA RESILIENZA

Finora uno dei principali obiettivi della ricerca è stato la valutazione del rischio sismico delle città in cui viviamo e, in generale, delle regioni territoriali storicamente colpite da terremoti o altre calamità distruttive. Il rischio sismico, come evidenziato, può essere stimato una volta note la pericolosità, la vulnerabilità e l'esposizione di un sito, determinate con i criteri precedentemente esposti. Tuttavia, è sempre più sentita l'esigenza di relazionare il rischio alla capacità di resilienza dei sistemi urbani. La quantificazione della resilienza costituisce un tema di indagine aperto: sono, infatti, pochi gli studi proposti in materia, come quelli condotti da Gian Paolo Cimellaro e dal suo gruppo di ricerca, basati sui significati del termine. Dopo la definizione di Holling, ricordata nel primo capitolo, sul concetto di resilienza, sono seguite diverse altre definizioni, provenienti da vari ambiti disciplinari. Le interpretazioni fornite da Cimellaro, Reinhorn e Bruneau<sup>370</sup>, citate brevemente di seguito, hanno portato a una stima numerica della resilienza, raggiungendo un importante traguardo, che potrebbe essere applicato anche per comprendere quanto possa essere realmente resiliente un intero sistema insediativo.

La prima interpretazione del termine è riferita alla capacità di un sistema di mantenere un certo livello di funzionalità in un dato periodo, definito come tempo di controllo. Quest'ultimo possiamo pensare che rappresenti la vita del sistema analizzato, ad esempio di un edificio, oppure di una rete tecnologica o infrastrutturale.

La seconda definizione data riguarda il tempo di recupero, che rappresenta il periodo necessario a ripristinare le funzionalità del sistema a un livello prefissato o ad uno analogo o migliore. Il tempo di recupero è una variabile incerta, dipendente da fattori quali l'intensità del terremoto, i materiali costruttivi, la localizzazione del manufatto, ecc..

<sup>369</sup> *Ibid.*

<sup>370</sup> G. P. Cimellaro, A. M. Reinhorn, M. Bruneau, *Framework for analytical quantification of disaster resilience*, in «Engineering Structures», 32, 2010, pp. 3639-3649.

Essendo difficile valutare il tempo di recupero, già Porter et al.<sup>371</sup> avevano pensato di distinguere il tempo passivo (il tempo di recupero) da quello della riparazione e stimare quest'ultimo. In questo modo i livelli di danno sono stati relazionati con il periodo temporale necessario ad effettuare gli interventi di riparazione.

La terza interpretazione riguarda il concetto di comunità resiliente ai disastri. Questa deve essere in grado di opporsi agli eventi estremi, sia quelli naturali sia quelli antropici, prevedendo un limitato numero di perdite. Una comunità resiliente deve, inoltre, essere in grado di attuare misure di mitigazione ed azioni tali da implementare il livello di protezione della comunità medesima. Tali argomenti sono ampiamente sostenuti dalla campagna ANDROID, già richiamata.

In relazione a questi concetti, la quantificazione della resilienza, secondo il centro MCEER (Multidisciplinary Center of Earthquake Engineering Research)<sup>372</sup>, serve a raggiungere tre obiettivi: la riduzione della probabilità di danneggiamento di un sistema, la riduzione delle conseguenze derivanti dai danneggiamenti e la riduzione dei tempi necessari al sistema per tornare in funzione. Pertanto, la resilienza diventa l'unica variabile decisionale<sup>373</sup> per valutare le prestazioni di un sistema, essendo determinata attraverso la combinazione di altre variabili come le perdite economiche, il numero delle vittime o il tempo di recupero. Si osserva come queste variabili siano anche i fattori analizzati attraverso lo studio dell'esposizione. Pertanto, con riferimento alle conoscenze già consolidate e alle ricerche condotte più recentemente, si individua un percorso metodologico che relaziona i fattori necessari per la stima del rischio sismico alla resilienza dei sistemi: si pensi a un insediamento urbano.



Fig. 3.24 Metodologia per la valutazione della resilienza

I fattori che possono implementare la resilienza di un sistema sono quattro: "robustezza, ingegnosità, ridondanza, e rapidità"<sup>374</sup>. Anche questi sono stati determinati a partire dal loro significato. Tuttavia, si evidenzia che l'ingegnosità e la ridondanza non sono facilmente calcolabili al pari della rapidità e della robustezza, determinate rispettivamente in base al tempo misurato per raggiungere un certo livello prestazionale del sistema e in

<sup>371</sup> K. A. Porter, A. S. Kiremidjian, J. S. LeGrue. *Assembly-based vulnerability of buildings and its use in performance evaluation*, in «Earthq Spectra», Vol. 17, N. 2, 2001, pp. 291-312.

<sup>372</sup> *Resilience Framework*, in <[http://mceer.buffalo.edu/research/Resilience\\_Framework/default.asp](http://mceer.buffalo.edu/research/Resilience_Framework/default.asp)>.

<sup>373</sup> G. P. Cimellaro, A. M. Reinhorn, M. Bruneau, *Seismic resilience of a hospital system*, in «Structure and Infrastructure Engineering», Vol. 6, n. 1-2, febbraio - aprile 2010, pp 127-144.

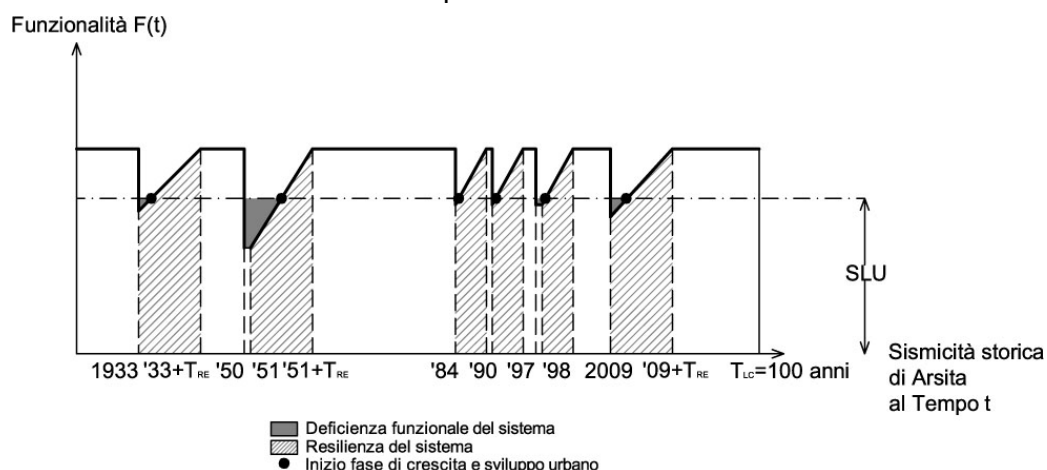
<sup>374</sup> G. P. Cimellaro, A. M. Reinhorn, M. Bruneau, *Framework for analytical quantification of disaster resilience*, cit..

base alla capacità di sopportare dati livelli di danno. La ridondanza, infatti, rappresenta la possibilità di ricorrere a elementi alternativi, in grado di garantire un livello minimo di sicurezza; l'ingegnosità, invece, è legata alle capacità personali dimostrate nella risoluzione di problemi e utilizzate per contrastare le minacce esterne al sistema. Queste proprietà sono correlate, infatti, se grazie all'*ingegno* possono essere individuate tecnologie utili ai fini della prevenzione, tali tecniche possono diventare i *punti di forza* del sistema, considerati nell'analisi SWOT (§ 1.4.2), rendendolo ridondante.

Partendo dai concetti richiamati, Cimellaro e il suo gruppo di lavoro hanno provato a calcolare, ad esempio, la resilienza di ospedali o di reti impiantistiche. Nella ricerca condotta sulla rete del gas naturale<sup>375</sup>, realizzata per la città di Sulmona (AQ), è stato analizzato il sistema di distribuzione del gas, sono stati valutati i possibili scenari di danno ed è stato calcolato, infine, l'indice di resilienza del sistema.

Possiamo ipotizzare che la logica sviluppata in questi studi sia applicabile anche nei centri storici. Infatti, la conoscenza della resilienza del patrimonio edilizio o monumentale può costituire un punto di partenza nella gestione delle emergenze: si potrebbero organizzare più efficacemente le situazioni critiche, sapendo a priori quali sono gli edifici su cui poter contare, così come si potrebbero programmare gli interventi più opportuni, una volta noti i fabbricati meno performanti, che hanno quindi una minore probabilità di sopravvivenza ai terremoti. Si potrebbero altresì definire, a livello di pianificazione urbana, gli elementi ridondanti, in grado di far funzionare il sistema città, anche quando una componente perde temporaneamente la sua funzionalità, ad esempio, individuando assi di percorrenza alternativi per rendere raggiungibile e accessibile tutto l'abitato.

Se volessimo conoscere la resilienza del citato Comune di Arsita (TE), ad esempio, dovremmo studiare la funzionalità del sistema urbano o capacità di servizio, in funzione di un prefissato intervallo temporale, in modo da poter controllare che il livello di prestazione del centro storico, in termini di sicurezza strutturale, efficienza infrastrutturale e impiantistica, non sia al di sotto di una certa soglia predeterminata. Questo concetto richiama sia quelli di stati limite (SLU, SLE), sia quello di vita nominale  $V_N$  (§ 2.1), forniti dalle NTC. Pertanto, possiamo pensare che anche per i sistemi urbani possano essere applicati gli stessi strumenti di verifica che le attuali norme hanno formulato per valutare la sicurezza delle singole costruzioni. Nel grafico seguente abbiamo ipotizzato quale potrebbe essere la rappresentazione della funzionalità dell'insediamento urbano di Arsita, per un tempo di controllo pari a 100 anni, in funzione degli eventi sismici che si sono verificati nel territorio nel corso del tempo<sup>376</sup>.



**Fig. 3.25 Rappresentazione della resilienza di Arsita in funzione della sismicità storica al tempo  $t$**

<sup>375</sup> G. P. Cimellaro, O. Villa, A. M. Reinhorn, M. Bruneau, H. U. Kim, *Resilience-Based design of Natural Gas Pipelines*, Proceedings 15WCEE (15 World Conference on Earthquake Engineering), 24-28 settembre 2012, Lisbon, Portugal, <[http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012\\_5721.pdf](http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_5721.pdf)>.

<sup>376</sup> E. Miccadei, C. Vaccaro, M. Indirli, 3A\_01\_a1, *Relazione illustrativa - Aspetti geologici, geomorfologici e idrogeologici*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», in <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.



Abbiamo rappresentato la funzionalità del sistema urbano come una funzione  $F(t)$  continua a tratti, dato che nell'arco temporale considerato si sono verificati terremoti di diversa intensità che hanno provocato differenti livelli di danneggiamento, abbassando, improvvisamente, la funzionalità del sistema. Dopo un certo periodo, il cosiddetto tempo di ritorno, la funzione raggiunge la condizione precedente all'evento. I tratti ascendenti del grafico potrebbero non essere lineari, infatti, il recupero di funzionalità del sistema dipende da numerosi aspetti, come la gravità del danno, il numero di persone coinvolte, la disponibilità di mezzi per la realizzazione degli interventi, ecc. L'insieme delle variabili può essere misurato attraverso la stima della resilienza che rappresenta l'area tratteggiata del grafico. Inoltre, dato che abbiamo ipotizzato di fissare un certo livello minimo di sicurezza per il sistema urbano, uno stato limite ultimo (SLU), secondo la terminologia normativa, possiamo individuare sullo stesso grafico i valori di deficienza funzionale del sistema, rappresentati dalle aree campite in grigio. I punti individuati sul grafico segnano il passaggio, durante la fase di recupero, dallo stato di insicurezza allo stato di sicurezza del sistema.

L'interpretazione teorica data, tuttavia, non è facilmente calcolabile, infatti, come i concetti di ridondanza e di ingegnosità, anche le variabili che concorrono nel tempo al recupero alla ripresa della funzionalità, non sono quantità ben note. La probabilità di aumentare il livello di funzionalità del sistema in un certo intervallo temporale dipende proprio da tali variabili. Sembra quindi necessario identificare preliminarmente gli indicatori che influenzano il recupero del sistema e quantificarli.

Nella campagna *Making Cities Resilient*, promossa dal network accademico ANDROID, i fattori che rendono un sistema resiliente sono i cosiddetti *Ten Essential*<sup>377</sup>, ossia i dieci ambiti, di seguito riportati.

**Tabella 3.14 - Ten Essentials for Making Cities Disaster Resilient**

1	Institutional and Administrative Framework	Quadro Istituzionale e Amministrativo
2	Financing and Resources	Finanze e Risorse
3	Multi-hazard Risk Assessment- Know your Risk	Valutazione del Rischio - Conoscere il proprio Rischio
4	Infrastructure Protection, Upgrading and Resilience	Protezione delle Infrastrutture, Riqualficazione e Resilienza
5	Protect Vital Facilities: Education and Health	Proteggere le Strutture Vitali: Istruzione e Sanità
6	Building Regulations and Land Use Planning	Regolamenti Edilizi e Pianificazione Territoriale
7	Training, Education and Public Awareness	Istruzione, Formazione e Sensibilizzazione Pubblica
8	Environmental Protection and Strengthening of Ecosystems	La Tutela Ambientale e il Potenziamento dell'Ecosistema
9	Effective Preparedness, Early Warning and Response	Preparazione Efficace, Allerta Precoce e Reattiva
10	Recovery and Rebuilding Communities	Recupero e Ricostruzione delle Comunità

Questi punti sono stati individuati per raggiungere l'idea di città resiliente, presentata nel Capitolo 1: un obiettivo che, pensiamo, possa essere costruito attraverso un processo circolare di azioni-reazioni, misurate analiticamente. Tale meccanismo per funzionare al meglio dovrebbe essere applicato a tutte le componenti *materiali* del sistema, come gli edifici, le infrastrutture, le reti tecnologiche, e a tutti gli ambiti *immateriali*, ad esempio la formazione o la diffusione della ricerca scientifica, come sostenuto anche dalle Carte del Restauro, precedentemente riepilogate.

<sup>377</sup> United Nations, UNISDR, *How To Make Cities More Resilient - A Handbook For Local Government Leaders*, Geneva, 2012, pp. 24-54.

## 4. LE COSTRUZIONI IN MURATURA

### 4.1 LE MURATURE

Le costruzioni in muratura comprendono un esteso insieme di tipologie murarie. Già Vitruvio<sup>378</sup>, nel *De Architectura*, fa riferimento all'uso di differenti materiali e tecniche costruttive, richiamando l'attenzione sia sulle murature in pietra da taglio, sia su quelle realizzate in mattoni cotti o crudi, sia sulle murature costituite da più paramenti: di solito il *caementum*, ossia un materiale compatto, all'ora ottenuto mescolando i frammenti di pietra alla malta, rivestito da *opus incertum* oppure da *opus reticulatum*. La descrizione di Vitruvio sarà un punto di riferimento anche per i costruttori del Rinascimento. Infatti, Leon Battista Alberti<sup>379</sup>, nel *De Re Aedificatoria*, cercherà di classificare le tipologie murarie antiche, dividendole in tre gruppi: quelle *ordinarie*, ossia in pietre squadrate, le murature che presentavano «la *struttura* detta *reticolata*» e quelle con «la *struttura* detta *incerta*». La suddivisione proposta e le spiegazioni di Alberti sono una semplificazione delle precedenti descrizioni vitruviane. Secondo Alberti la scelta dell'una o dell'altra tipologia muraria dipende dalla funzione che questa assume: ad esempio, consigliava per lo zoccolo dell'edificio, ossia la parte più bassa, che è posta sulle fondazioni, l'uso di pietra da taglio di grandi dimensioni e durezza. Lo stesso Alberti evidenzia, inoltre, l'importanza assunta dagli angoli degli edifici, ricordando che gli antichi costruttori ne aumentavano lo spessore. Egli spiega che la cura nella realizzazione degli angoli:

*[...] è dunque richiesta non tanto per sostenere la copertura [...] ma soprattutto per tenere a posto le pareti, evitando che esse devino dalla verticale in qualsiasi direzione. Perciò le pietre usate per gli angoli dovranno essere assai dure, e così lunghe da addentrarsi, come braccia piegate nel gomito, lungo l'estensione delle pareti congiunte; e inoltre così larghe (subordinatamente allo spessore dei muri) che non ci sia bisogno di riempimento dello spazio interno*<sup>380</sup>.

Tali indicazioni ancora oggi sono utili a garantire un buon ammorsamento fra le pareti ortogonali. Per quanto riguarda, invece, i tamponamenti, questi possono essere, secondo Alberti, di materiale meno resistente ma di qualità, ossia in grado di resistere all'azione degli agenti esterni. Fra i paramenti, esterno e interno, egli prevede, per ragioni di risparmio, l'impiego di pietre e frammenti di piccole dimensioni, disposte anche in modo casuale, mentre tale tecnica è sconsigliata per i paramenti esterni.

Anche Alberti annovera fra le tipologie murarie quelle in mattoni oppure i muri in conglomerato, che per essere realizzati richiedono l'impiego di casseforme e ricorda, infine, le strutture con gratucci di canne seccate, riempiti con fango e paglia. Quest'ultima tipologia richiama quella che Vitruvio chiamava *opus craticium*.

<sup>378</sup> AA.VV., *Manuale delle murature storiche*, Volume I, direttore scientifico A. Borri, a cura di C. Donà, A. De Maria, D.E.I. tipografia del Genio Civile, Roma, 2011, pp. 26-27.

<sup>379</sup> *Ibid.*, pp. 27-29.

<sup>380</sup> L. B. Alberti, *L'Architettura [De Re Aedificatoria]*, Edizioni Il Polifilo, Milano, 1966, Libro III, cap. VII, p. 202 cit. in AA.VV., *Manuale delle murature storiche*, direttore scientifico A. Borri, a cura di C. Donà, A. De Maria, D.E.I. tipografia del Genio Civile, Roma, 2011, p. 28.

I paramenti esterni nel corso dei decenni sono stati arricchiti da decori e dettagli distintivi. Fra gli incarichi, commissionati ad Alberti dalla famiglia Rucellai<sup>381</sup>, la cosiddetta Facciata Monumentale del Palazzo realizzato a Firenze, in Via della Vigna Nuova, intorno alla metà del XV secolo, descrive, attraverso l'organizzazione della facciata, la concezione degli elementi costruttivi, il loro ruolo e i rapporti dimensionali fra le parti dell'edificio, individuati dallo stesso Alberti. Nel Palazzo Rucellai, la fascia basamentale è ornata da un rivestimento reticolato, dall'aspetto compatto, che fa da spalliera alla panca realizzata lungo tutto il perimetro della facciata, mentre il corpo centrale dell'edificio è ripartito orizzontalmente da eleganti marcapiani ed è scandito verticalmente dalla presenza delle paraste. I tre ordini classici - dorico, ionico e corinzio - che si susseguono dal basso verso l'alto, inquadrano il rivestimento in bugnato e le aperture, costituite dalle bifore dei due livelli intermedi del fabbricato e dai portali del piano terra, che alleggeriscono la massa dell'edificio. La facciata è chiusa in alto da una cornice, più alta e rilevante di quelle utilizzate per sottolineare i vari piani.



**Fig. 4.1 (a) Vista del Palazzo Rucellai da Via della Vigna Nuova, Firenze, (b) Facciata del Palazzo, (c) Dettaglio del rivestimento**

Durante gli interventi di restauro conservativo<sup>382</sup>, iniziati nel 1994, che hanno interessato anche la Facciata Monumentale, già restaurata dall'architetto Piero Sanpaolesi fra il 1965 e il 1968, l'edificio è stato analizzato da un team interdisciplinare di esperti. E' stato condotto, prima di tutto, un approfondito rilievo fotogrammetrico dell'edificio, nonché varie prove diagnostiche per valutare lo stato di degrado e lo stato fessurativo presente. Le indagini hanno permesso di individuare il tipo di pietra utilizzata, appartenente al gruppo delle arenarie, la pietra forte, la sua provenienza e le cause del degrado, soprattutto esfoliazioni e polverizzazioni riconducibili all'inquinamento urbano. Gli interventi di

<sup>381</sup> L. Benevolo, *Storia dell'architettura del Rinascimento*, Editori Laterza, Bari, 1995, pp. 113-120.

<sup>382</sup> S. Bracciali, *Restaurare Leon Battista Alberti: il caso di Palazzo Rucellai*, Libreria Editrice Fiorentina, Firenze, 2006, pp. 34-57.

consolidamento<sup>383</sup>, invece, hanno interessato, le colonne in pietra del cortile interno. I dissesti, dovuti al cedimento delle fondazioni, sono stati risolti con la realizzazione di micropali, fronteggiando così le carenze geologiche del terreno, dovute al dilavamento e all'imbibizione, causata dal malfunzionamento della rete fognaria. Non descriveremo dettagliatamente i lavori eseguiti per Palazzo Rucellai, ma in seguito evidenzieremo quali sono le indagini diagnostiche che aiutano a comprendere lo stato di conservazione dei manufatti storici, favorendo la scelta delle migliori soluzioni d'intervento.

Un'altra facciata, memorabile per il singolare paramento con bugne a punta, è stata realizzata per il Palazzo dei Diamanti a Ferrara, progettato da Biagio Rossetti. La forma delle bugne, da cui deriva il nome al noto edificio, e il diverso orientamento delle punte, verso il basso, centrali e verso l'alto, in base alla loro posizione, si presta efficacemente al gioco di luci e di ombre, che si apprezza durante la giornata. Il palazzo presenta un ampio zoccolo a scarpa, su cui si imposta il corpo centrale del fabbricato. L'edificio è chiuso da una fascia, forata da piccole aperture, in corrispondenza delle finestre dei piani sottostanti, mentre gli angoli e il portale d'ingresso principale sono messi in rilievo dalla presenza delle paraste decorate. Nel Palazzo dei Diamanti, come nell'analogo fiorentino, la facciata è organizzata in base alla tipica concezione rinascimentale dell'edificio, ma il rivestimento è diventato un elemento distintivo e caratteristico del progetto.

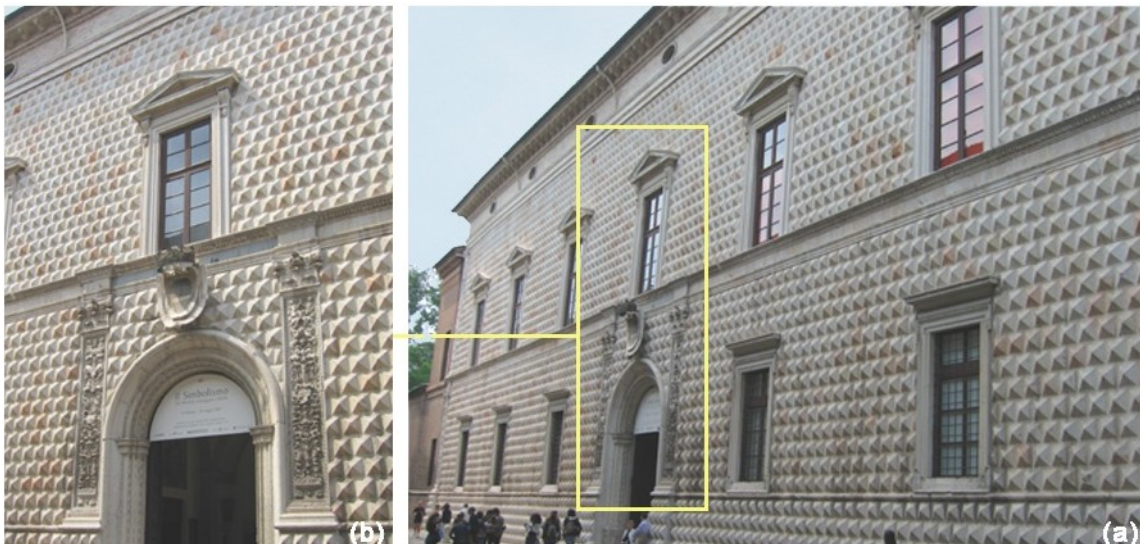


Fig. 4.2 (a) Vista del Palazzo dei Diamanti da Corso Ercole I d'Este, Ferrara, (b) Dettaglio dell'esterno

I casi richiamati dimostrano proprio come il paramento murario esterno sia stato utilizzato come strumento di identificazione dell'oggetto architettonico, alimentando, nello stesso tempo, la ricerca di nuove soluzioni tecniche che rendessero realizzabili le proposte progettuali. I monumenti urbani sono diventati in questo modo dei simboli per le città. Conservare tali edifici equivale a tramandare la cultura tecnologica della produzione edilizia.

Altri trattatisti<sup>384</sup> nel corso della storia hanno provato a classificare le tipologie murarie con modalità analoghe a quelle di Alberti, come Andrea Palladio nella seconda metà del Cinquecento, Vincenzo Scamozzi agli inizi del Seicento, Bernardo Antonio Vittone e Francesco Milizia nella seconda metà del Settecento.

Nel Secolo successivo sono stati scritti altri noti trattati, come il *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, pubblicato nel 1802 da Jean Baptiste Rondelet, tradotto in italiano negli anni Trenta dello stesso secolo. L'architetto francese affronta il tema delle

<sup>383</sup> *Ibid.*, pp. 79-92.

<sup>384</sup> AA.VV., *op. cit.*, pp. 29-66.



«strutture murali» nella seconda sezione del Tomo II, seconda parte<sup>385</sup>, e dedica tre capitoli rispettivamente ai muri in pietre rozze, ai muri in mattoni e alla «murazione mista». All'interno della prima tipologia la principale distinzione è quella fra opus incertum e opus reticulatum. Il primo «o aggregato di pietre d'ogni forma» prevedeva angoli in «murazione ordinaria», ossia a ricorsi orizzontali, spesso in laterizio; l'opus reticulatum «o pietre a facce quadrate messe assieme in forma di rete», utilizzato in particolare ai tempi della Repubblica romana, era costituito da pietre o tufi a sezione quadrata di circa tre pollici, disposte a rombi, e le estremità della parete erano rifinite in pietra da taglio oppure in laterizio. Citando Vitruvio, Rondelet rammenta anche la muratura isodoma e pseudoisodoma: nella prima, i corsi di pietra sono tutti della stessa «grossezza», nella seconda, al contrario, sono disuguali. Rondelet aveva individuato varie combinazioni formali e materiche, fra cui quelle della Figura 4.3, e ricordava alcuni esempi di architetture antiche come il sepolcro di Metella, costruito con piccole pietre della stessa grandezza lunghe otto pollici e alte tre (22X8 cm).

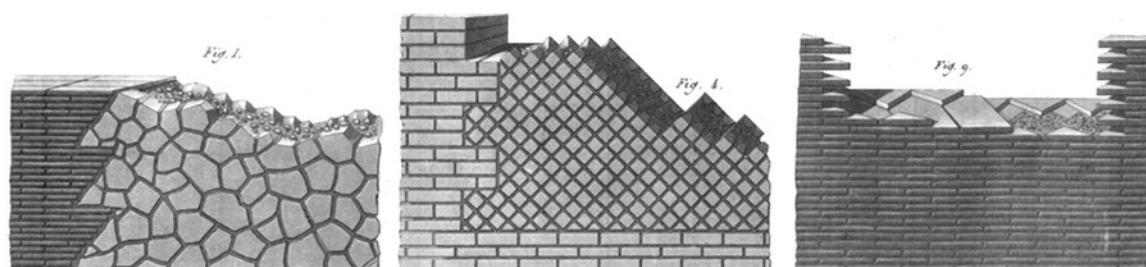


Fig. 4.3 Estratto dalla Tav. LXI: Fig. 1 - opus incertum, Fig. 4 - opus reticulatum, Fig. 9 - isodomum (in <[http://risorseelettroniche.biblio.polimi.it/rondelet/cd/tavole/T\\_II\\_03\\_LXI.pdf](http://risorseelettroniche.biblio.polimi.it/rondelet/cd/tavole/T_II_03_LXI.pdf)>, 08/07/2014)

Il gruppo delle murature in mattoni, invece, cui è dedicata la tavola LXIV, prevede tredici modalità di assemblaggio dei laterizi, anche se, lo stesso Rondelet precisa che le combinazioni possibili sono numerose. Tali murature sono adatte sia per creare pareti di un certo spessore, sia per realizzare dei divisori di dimensioni più limitate.

Le murature definite miste (emplecton), perché fatte con elementi di forma e materiali diversi, tenuti insieme dalla malta, erano utilizzate per realizzare muri di più elevato spessore. Sembra che i Romani ricorressero frequentemente a questa tipologia muraria. La realizzazione del muro avveniva con la messa in opera di due paramenti esterni, in pietre squadrate o in mattoni, l'intercapedine era riempita con pietre miste a malta. Per unire i paramenti, così da conferire maggiore solidità alla muratura, si utilizzavano grandi pietre, pari allo spessore della parete. Rondelet ha descritto anche un'altra tipologia, appartenente allo stesso gruppo, realizzata in pietrame, ma rivestita da un paramento decorativo in lastre, che dovevano essere ancorate, tramite uncini metallici, alla muratura.

Nell'Ottocento si diffondono anche gli insegnamenti di Jean Nicolas Louis Durand, autore di alcune lezioni pubblicate nel primo ventennio del secolo, che considera un solo tipo di muratura: quella in pietra squadrate oppure in mattoni. Nello stesso tempo si diffonde il *Dizionario storico di architettura* di Antoine Chrysostome Quatremere de Quincy, tradotto in italiano tra il 1842 e il 1844 che descrive, all'interno di alcune voci, le varie murature. Un altro autorevole intellettuale dello stesso periodo è Giuseppe Valadier, autore de *L'architettura pratica dettata nella scuola e cattedra dell'insigne Accademia di San Luca*, che riprende, ancora una volta, la classificazione vitruviana. Sono diversi i testi ottocenteschi che offrono descrizioni, talvolta illustrate, sulle diverse murature, fra questi c'è anche *Istruzioni di architettura statica e idraulica* di Nicola Cavalieri di San Bertolo: un volume che, nonostante i riferimenti ai trattatisti del passato e agli stessi contemporanei, propone una lettura inedita delle murature.

<sup>385</sup> J. B. Rondelet, *Trattato teorico e pratico dell'arte di edificare*, Prima traduzione italiana sulla sesta edizione originale con note e giunte importantissime per cura di Basilio Soresina, Mantova, a spese della società editrice coi tipi di L. Caranenti, MDCCCXXXI, in <<http://risorseelettroniche.biblio.polimi.it/rondelet/cd/index2.htm>>.

§. 492. *Dicesi muro o muraglia qualunque ammasso artefatto di pietre, ordinate in modo, che ne risulti un solido di figura e dimensioni determinate, atto a conservare stabilmente la propria forma di qualche materia glutinosa, cui si da il nome di malta o cemento, la quale avviluppi le pietre, e le tenga saldamente aderenti l'una all'altra; sia in grazia dell'equilibrio, in cui si trovi ciascuna pietra per la semplice sua posizione; sia finalmente perché le pietre si trovino tutte studiosamente disposte in guisa tale, che quelle forze, per cui tenderebbe ciascuna di esse a spostarsi, s'impediscano e si elidano nel vicendevole conflitto. I materiali di cui si compongono i muri sono dunque generalmente le pietre, e le malte. Le prime sono naturali o artefatte; le seconde sono semplici ovvero composte. Se il muro è formato di sole pietre senza l'interposizione di verun cemento, dicesi muro a secco; se le pietre sono conglutinate da qualche cemento, il muro dicesi in malta<sup>386</sup>.*

La descrizione prosegue con l'individuazione delle geometrie costruttive possibili, ossia i muri «comuni» e quelli «a volta». I primi possono essere dritti oppure a scarpa; i secondi si riferiscono alle superfici voltate secondo varie geometrie. Se invece si vogliono distinguere i muri per «composizione», allora Cavalieri di San Bertolo classifica tre tipologie: quelli in pietra naturale; i muri in pietra artefatta, ossia i «laterizi»; i muri misti, che prevedono sia l'uno sia l'altro materiale. Ognuna delle tre categoria può essere realizzata secondo diverse apparecchiature murarie. L'autore del testo propone, a questo punto, una singolare distinzione delle murature che si basa sulla funzione assunta, così i muri potranno essere:

1. *Muri, o masse di resistenza, alcune delle quali sono principali, altre ausiliarie; e sono destinate a resistere alla spinta o alla pressione d'altre masse adiacenti o sovrapposte.*
2. *Masse di concatenazione, le quali legano insieme le masse resistenti e le mettono in caso di prestarsi mutuo soccorso.*
3. *Masse complete, che servono semplicemente alla forma, o alla distribuzione dell'edificio<sup>387</sup>.*

A volte un muro assume più funzioni contemporaneamente: è considerato il caso dei muri divisorii che possono essere annoverati nella terza classe ma, in quanto elementi di collegamento fra i muri «maestri», utilizzati per rendere i muri principali «fermi nelle loro posizioni», potranno anche essere inclusi nella seconda categoria.

Dopo un'attenta descrizione delle pietre naturali e di quelle artefatte, delle caratteristiche, della classificazione e delle tecniche di lavorazione che erano allora utilizzate, nonché dopo una minuziosa descrizione delle malte, Cavalieri di San Bertolo passa ed esaminare le fasi di costruzione dei fabbricati, a partire dalle fondazioni. Anche in questo caso l'argomento è affrontato con estrema precisione, tanto che lo scritto può essere considerato un vero manuale di riferimento. Il capo VI descrive poi le strutture murarie:

*Se le pietre naturali sono tagliate regolarmente e ridotte alla figura parallelepipedica rettangola, ovvero cuneiforme, secondo le regole della stereotomia, corrispondentemente alle forme geometriche del muro da costruirsi, la struttura dicesi in pietra da taglio, ovvero in pietra squadrata ed anche in pietra concia. Quando le pietre sieno lasciate nelle forme irregolari, con cui escono dalla cava, corrette col taglio semplicemente quanto basta per ridurle a modo, che nella struttura ciascuna pietra possa trovarsi chiusa combaciata da ogni parte dall'altre che la circondano, il muro dicesi d'opera incerta. Che se sono poste in opera informi e grezze senza il menomo apparecchio il muro dicesi di pietrame; e si distingue con la denominazione di scogliera quando è composto di pietre informi d'ingente mole (§. 581). Muro cementizio chiamasi quello che è costruito di minute scaglie o frammenti di pietre.*

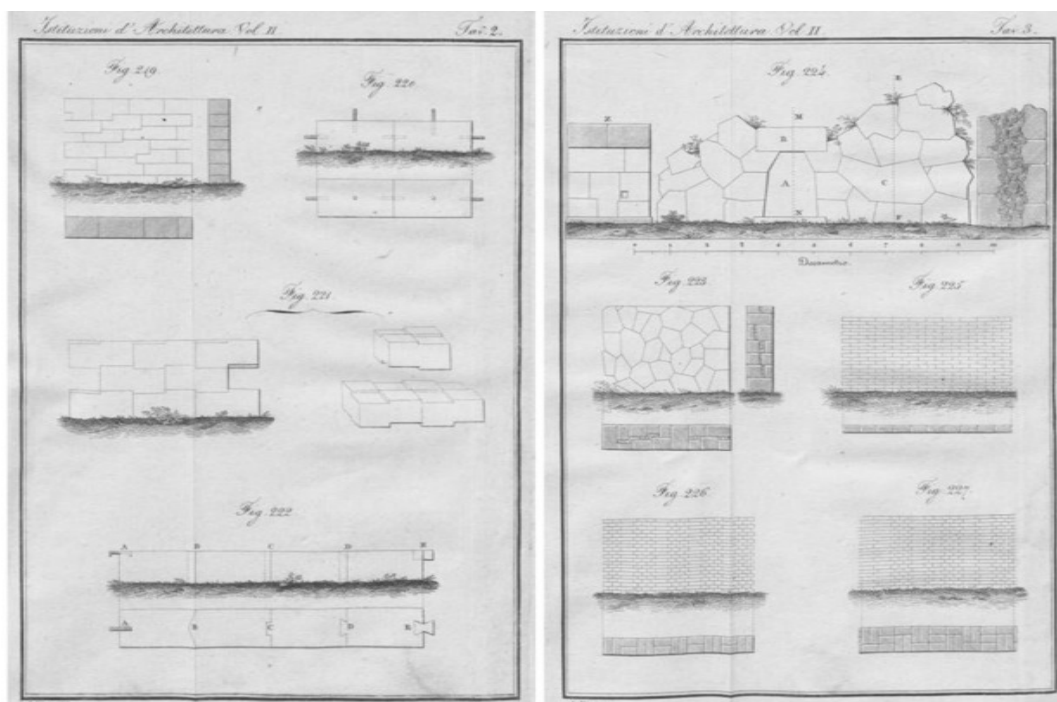
<sup>386</sup> Nicola Cavalieri di San Bertolo, *Istruzioni di architettura statica e idraulica*, dalla tipografia Cardinali e Frulli, Bologna, 1826-1827, Vol. II, Libro Terzo, Sezione Prima, Capo I, p. 3, in <<http://www.e-rara.ch/zut/content/titleinfo/4957074>>, Link permanente: <<http://dx.doi.org/10.3931/e-rara-15899>>.

<sup>387</sup> *Ibid.*, p. 4.

*I muri laterizi si distinguono in muri di mattoni, e muri di rottami più comunemente denominati muri di tevolozza. I primi sono formati di mattoni interi, i secondi di frantumi di laterizi, ricavati dalle ruine o dalle demolizioni d'antiche muraglie.*

*Diconsi muri di struttura mista quelli, nei quali trovansi combinate in un modo o in un altro le varie specie di struttura che avevamo finora enumerate*<sup>388</sup>.

In sostanza, la descrizione delle murature proposta è sempre più approfondita e si avvale di riferimenti a opere del passato, per chiarire le possibili soluzioni storicamente adottate per la posa degli elementi costruttivi, dai celebri monumenti dell'antica Roma, alle mura pompeiane. Un racconto ampio, cui segue il Capo VII - *Della stabilità de' piedritti* - che affronta il problema della determinazione «delle forme e delle dimensioni di essi, confacentemente allo scopo di renderli validi a mantenersi fermi ed illesi sotto l'azione di quelle forze, cui sono condannati a sopportare»<sup>389</sup>.



**Fig. 4.4 Nicola Cavalieri di San Bertolo, *Istruzioni di architettura statica e idraulica*, Tav. 2 e Tav. 3 (in <<http://www.e-rara.ch/zut/content/titleinfo/4957074>>, 10/07/2014)**

*Considereremo da prima il caso di quei muri comuni, o piedritti, i quali sono semplicemente destinati a sopportare la pressione verticale, che deriva dal peso delle parti superiori sulle inferiori, aumentato non di rado da quello de' solai, delle volte, e de' coperti, cui essi servono di sostegno. Soggiugneremo quindi varie interessanti osservazioni, dalle quali si potranno ricavare opportune norme, per stabilire una giusta proporzione fra la somma delle aree occupate dalle basi di tutti i piedritti di qualsivoglia civile edificio, e l'area totale sulla quale esso si deve estendere. Passeremo di poi all'esame di quei muri, contro i quali agisce qualche forza orizzontale, come sarebbe la spinta d'un terrapieno, ovvero quella dell'acqua. E finalmente verremo prescrivendo alcune regole essenziali, intorno al modo di ben situare e distribuire a lungo a lungo ne' muri quelle aperture, chiamate dai pratici comunemente vani, le quali o sono articoli indispensabili di comodo, come le porte, le finestre, le gole che diconsi anche canne e trombe de' camini ec; o appartengono semplicemente alla decorazione, come le nicchie ec; ovvero anche non di rado si formano pel solo fine d'alleggerire alcune masse, ove possa farsi, senza pregiudizio della stabilità, onde minorare l'azione del loro peso sull'altre cui sovrastano, o procurare una giudiziosa economia nella costruzione*<sup>390</sup>.

<sup>388</sup> *Ibid.*, Capo VI, p. 80.

<sup>389</sup> *Ibid.*, Capo VII, p. 102.

<sup>390</sup> *Ibid.*, Capo VII, p. 102.



Il testo può essere inteso come un trattato a carattere scientifico che, diversamente dalle descrizioni fornite fino a quel momento, affronta il tema delle murature in maniera analitica. È proposto, quindi, un metodo per stimare l'altezza massima dei muri, nell'ipotesi in cui questo sia soggetto solo al peso proprio. Le formulazioni fornite si appellano alle ricerche del Venturoli<sup>391</sup>. Si analizza, in seguito, il problema della determinazione degli spessori murari «in ragione della loro altezza, in guisa che ne venga assicurata la stabilità, senza peccar per eccesso contro le massime di una sana economia»<sup>392</sup>. Proprio per il buon dimensionamento della sezione muraria si richiamano le regole individuate da Rondelet<sup>393</sup>, considerato «il solo, che di proposito si è applicato a questa sperimentale ricerca»<sup>394</sup>. La trattazione prosegue, esaminando il caso in cui il muro debba resistere anche all'azione di spinte laterali, lo studio della stabilità dei piedritti è basato ancora sui risultati del Venturoli e sulle teorie di Navier<sup>395</sup>. Quest'ultimo aveva introdotto nel calcolo statico dell'equilibrio dei piedritti un nuovo elemento di resistenza: la tenacità, «che tiene unito il muro alla sua base, e fa essa pure non lieve contrasto alla spinta, opponendosi così al movimento progressivo come al movimento rotatorio della massa del piedritto»<sup>396</sup>, anche se Cavalieri di San Bertolo aggiungeva: «Ma questo passo, mentre tende senza dubbio al perfezionamento della teoria, poco o niun vantaggio reca alla pratica; atteso che per questo matematicamente rigorose sieno le formole della stabilità, che ne risultano, nell'applicazione delle medesime l'elemento della tenacità sarà sempre di non lieve imbarazzo; mentre per l'effettiva sua determinazione non abbiamo che troppo incerte ipotesi, e troppo vaghi risultati dall'esperienza»<sup>397</sup>.

Il volume sembra una prosecuzione dei ragionamenti rinascimentali sull'organizzazione degli elementi costruttivi degli edifici e alcune volte sono persino richiamati i metodi dei maestri del passato. Ad esempio, per il dimensionamento dei vani vengono ricordate le osservazioni di Leon Battista Alberti, che analizzando le opere degli antichi aveva concluso che «i vani delle facciate non componevano giammai più che la settima, né meno che la nona parte della superficie del muro in cui erano compresi»<sup>398</sup>.

Dopo la classificazione di Nicola Cavalieri di San Bertolo, viene pubblicato fra il 1847 e il 1853 il *Nuovo corso completo di pubbliche costruzioni* di Mattia Giuseppe Sganzin<sup>399</sup>. L'opera, pur proponendo un'articolata distinzione delle tipologie murarie, descrive soprattutto le caratteristiche delle murature storiche, delineando gli aspetti riconducibili alla tradizione greca e quelli tipicamente romani.

Fra i testi ottocenteschi merita attenzione anche il *Trattato generale di Costruzioni Civili con cenni speciali intorno alle costruzioni grandiose* di Gustav Adolf Breyman<sup>400</sup>. Si tratta di un lavoro pubblicato nella seconda metà del secolo, quando, con l'evoluzione delle tecniche costruttive, con la realizzazione di nuovi materiali edilizi, come i mattoni forati, ritenuti vantaggiosi per l'isolamento termico, e con le nuove potenzialità del mondo dell'industria, che permette la standardizzazione dei prodotti e la realizzazione in serie di questi, si rinnova la necessità di classificare le murature e fornire nuove definizioni. Breyman affronta l'argomento distinguendo le murature in base alla funzione che assumono e in relazione ai materiali di cui sono costruite. Non descriveremo tutte le possibili soluzioni individuate, che, comunque, sono analoghe a quelle proposte dagli altri trattatisti, ma evidenzieremo i soli aspetti innovativi del volume. In particolare, l'autore

<sup>391</sup> Venturoli, *Elementi di meccanica e di idraulica*, Vol. I, Libro IV, cap. I, II e III.

<sup>392</sup> Nicola Cavalieri di San Bertolo, *op. cit.*, Capo VII, p. 104.

<sup>393</sup> Rondelet, *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, Libro V, sez. III, art. VI.

<sup>394</sup> Nicola Cavalieri di San Bertolo, *op. cit.*, Capo VII, p. 104.

<sup>395</sup> Navier, *Résumé des leçons ecc. sur l'application de la mécanique a l'établissement des constructions et des machines*, Parte I, sez. II, art. III.

<sup>396</sup> Nicola Cavalieri di San Bertolo, *op. cit.*, Capo VII, p. 121.

<sup>397</sup> *Ibid.*, Capo VII, p. 121.

<sup>398</sup> *Ibid.*, Capo VII, pp. 129-130.

<sup>399</sup> AA.VV., *op. cit.*, pp. 62-65.

<sup>400</sup> *Ibid.*, pp. 67-77.

annovera accanto alle murature in laterizio di mattoni cotti o crudi anche quelle in pietre artificiali come le formelle di cemento o le arenarie artificiali. Egli, inoltre, presenta, attraverso varie tavole grafiche, le diverse modalità, proposte nei secoli, in aree geografiche diverse, per assemblare l'apparecchio murario, ossia le disposizioni in chiave, in spessore, a blocco, a croce, gotica o polacca, fiamminga o olandese e la disposizione fatta con strati diagonali alternati, comprese nella successiva Figura 4.6.

Sul finire dell'Ottocento viene pubblicato un trattato di Carlo Formenti<sup>401</sup>, intitolato: *La pratica del fabbricare*. L'opera, in più volumi, presenta sette tipologie murarie, ossia i muri in pietra conca, di forma parallelepipedica, quelli in pietrame, più economici e quindi largamente impiegate, le murature in laterizio, i muri in rovinacci, quelli listati, i muri rivestiti e i muri cavi. Dalla distinzione proposta sembra che il Formenti riprenda sostanzialmente la classificazione dei suoi predecessori, in particolare, il punto di riferimento è Nicola Cavalieri di San Bertolo. Tuttavia, scompaiono le cosiddette murature incerte e i tipi considerati non sono organizzati in sottocategorie, al contrario, ognuno acquista una propria identità, come nel caso dei muri listati, in cui si alternano materiali irregolari con corsi di materiali ben allineati, o come nel caso dei rovinacci, fatti di frantumi di laterizi e per questo ritenuti adatti per le mura di fondazione. Anche i muri rivestiti diventano una nuova categoria autonoma, ben distinta dalle precedenti perché le pietre formanti il rivestimento, come graniti e calcari, erano di spessore limitato, variabile fra 0,12 e 0,30 m, mentre per le lastre di marmo, lo spessore poteva variare persino fra 0,03 e 0,10 m. L'ultima categoria proposta dal Formenti, quella dei muri cavi, prevedeva due murature parallele, di cui una principale e una secondaria, divise da un'intercapedine d'aria di circa 0,10 m, ma collegate una all'altra. Questa tipologia era considerata adatta a ridurre il passaggio di calore e di suono fra l'interno e l'esterno dell'edificio, mostrando un crescente interesse verso le questioni del confort abitativo.

Fra i trattatisti del Novecento si distingue Daniele Donghi<sup>402</sup>, che pubblica nel 1923 il *Manuale dell'architetto*, edito in più volumi dall'Unione Tipografico Editrice Torinese. Nel manuale si propone una classificazione delle murature più ampia rispetto alle distinzioni dei predecessori, considerando oltre alle tipologie canoniche ben note, anche quelle soluzioni meno diffuse, ma comunque esistenti o legate alle invenzioni del secolo.



Fig. 4.5 Classificazione delle murature secondo Daniele Donghi

<sup>401</sup> *Ibid.*, pp. 78-80.

<sup>402</sup> *Ibid.*, pp. 82-87.

La prima classificazione proposta è quella fra le murature di pietre naturali, quelle in laterizio o in pietre artificiali, le murature miste e le murature in masse battute o di getto. Tale distinzione è legata ai materiali disponibili, ossia pietre naturali, laterizi, materiali cementanti, come calce, cemento, gesso, materiali cementati, come calcestruzzo e pietre artificiali. Ogni gruppo è stato oggetto di successive divisioni, schematizzate in Fig. 4.5.

Il gruppo che presenta una casistica più ampia è quello delle murature in pietrame greggio. Per quanto riguarda le murature a secco, il Donghi spiega che il muro così fatto non prevede l'utilizzo di leganti, pertanto le pietre o i ciottoli devono essere posati con una certa accortezza per evitare la formazione di vuoti, che devono essere riempiti con schegge di pietra e non con la terra, che favorisce la formazione di vegetali, responsabili di eventuali sconnessioni. Le murature di pietra greggia in malta, invece, sono adatte per lo più per la realizzazione di muri da fondazione e per i muri fuori terra da intonacare. Le pietre impiegate possono essere regolari, irregolari e tonde, come i ciottoli. Questa tipologia muraria prevede che le pietre siano messe di testa, quindi con il lato lungo ortogonale alla superficie della parete. Di solito ogni 0,70÷1,50 m, la muratura è interrotta da una fascia perfettamente orizzontale, talvolta laterizi. Il Donghi consiglia di utilizzare il minor quantitativo di malta possibile, riempiendo i vuoti sempre con le schegge delle pietre. Le murature di ciottoli in malta, la terza tipologia dello stesso gruppo, non sono facili da realizzare, perché i ciottoli aderiscono difficilmente con la malta, che dovrà essere, per questo, di buona qualità, meglio se a base di calce idraulica oppure si può ricorrere a una malta cementizia o pozzolanica. La tipologia mista prevede, infine, la realizzazione di cantonali in laterizio o in pietra da taglio e la contemporanea realizzazione del muro in pietrame. Per tutte le tipologie è importante che la manodopera abbia buona abilità nell'assemblare pietre grandi e piccole, avendo cura di utilizzare le prime per formare i paramenti più esterni e di impiegare le seconde nella parte interna del muro, ricorrendo, inoltre, all'uso di pietre grosse, disposte trasversalmente, per garantire un efficace ammorsamento fra i paramenti.

La categoria delle murature in pietrame grossolanamente lavorato è simile alla precedente, ma se ne distingue per l'impiego di pietre appena sbazzate: si tratta normalmente di pietre da cava con facce piane pressappoco parallele e di dimensioni costanti. Anche per questa tipologia il Donghi raccomanda di realizzare i cantonali con le pietre più grandi e regolari.

Nel gruppo delle murature di pietra conca o da taglio sono stati considerati i muri a opera incerta ossia quelli le cui facce sono costituite da conci poligonali. Questa tipologia deriverebbe, secondo il Donghi, dalle mura ciclopiche e non era, come sosteneva Vitruvio, un rivestimento di una struttura cementizia. Le murature in pietra conca si differenziano dalle precedenti perché fatte di conci squadrati che possono essere disposti in vari modi: con assetamento irregolare, isodomo, pseudoisodomo, indentato. I rivestimenti in pietra conca, infine, sono fatti con lastre di pietra di vario spessore, ancorati alla massa muraria attraverso grappe di ferro o sistemi analoghi. Fra i rivestimenti si annoverano anche le bugnature, che possono avere lavorazioni diverse, per questo si distinguono: «*bugne rette* quando tale faccia è un semplice rettangolo; *bugne a guancialetto* quando il contorno sporgente della faccia rettangolare è arrotondato; *bugne scantonate o scorniciate*, quando sulla faccia rettangolare, del pezzo sporge un'altra faccia, il cui contorno si collega colla faccia sottostante mediante una sagomatura qualsiasi; *bugne a punta di diamante*, quando la faccia vista è fatta a piramide quadrangolare; *bugne smussate*, quando la faccia è un tronco di piramide quadrangolare a facce parallele non molto discostate fra loro, ossia quando i quattro spigoli della faccia sono tagliati a smusso; *bugne rustiche*, quando la faccia è scalpellata grossolanamente»<sup>403</sup>. Nel rivestimento, evidenzia Donghi, possono esserci filari di altezze diverse, così come, possono esserci filari in cotto, alternati a quelli in pietra: le combinazioni di materiali e decori sono innumerevoli.

<sup>403</sup> D. Donghi (a cura di), *Manuale dell'architetto*, Unione tipografico Editrice Torinese, Torino, 1923, Vol. I, cap. II, par. II, p. 366, cit. in AA. VV., *Manuale delle murature storiche*, Vol. 1, direttore scientifico A. Borri, a cura di C. Donà, A. De Maria, D.E.I. tipografia del Genio Civile, Roma, 2011, p. 85.

Anche per le murature in laterizio le disposizioni dei mattoni sono davvero numerose e le varie denominazioni derivano proprio dalla loro disposizione e dal loro spessore. Ad esempio, se i laterizi sono messi «“per lungo” (oppure in “groscezza” o di “fascia”) oppure “in chiave” (ovvero “di testa” o “di punta”)»<sup>404</sup>, vuol dire che i mattoni sono disposti secondo il lato di maggior lunghezza, nel primo caso, e secondo il lato minore, nel secondo caso, mentre se i laterizi sono posti «“di costa” o “di coltello”)»<sup>405</sup> vuol dire che la superficie più ampia del mattone è disposta verticalmente. Lo spessore delle murature in laterizio può essere, invece, facilmente stabilito, contando il numero di teste e considerando lo spessore della malta interposta. Anche il Donghi, nella sua ricostruzione, ricorda le murature a blocco o inglese, a croce, alla gotica e all’olandese, sempre in Figura 4.6, che erano già state classificate in precedenza da Breymann. Si evidenzia ancora come i laterizi possano essere utilizzati per creare dei paramenti esterni, in questo caso si ha un «muro a paramento o a cortina»<sup>406</sup>, e come i mattoni possano essere di colori diversi o con finiture smaltate per ragioni estetiche. Donghi rammenta poi le ultime sperimentazioni come i «muri vuoti»<sup>407</sup>, che aumentano l’isolamento termico e ricorda i «muri di rovinacci»<sup>408</sup>, quelli che Cavalieri di San Bertolo aveva chiamato di “tevolozza”.

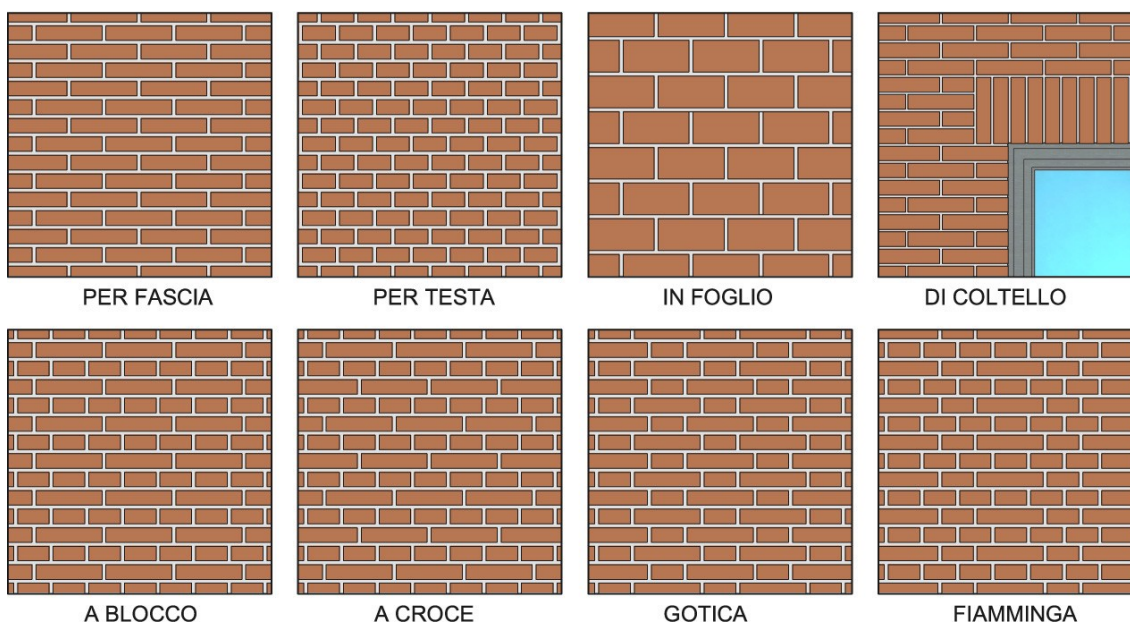


Fig. 4.6 Tessiture murarie in laterizio

Il gruppo delle murature miste comprende evidentemente le murature fatte di materiali diversi, per questo si considerano fra queste i muri listati, in cui si alternano fasce di pietra, molto spesso ciottoli o pietre di varia grandezza, con ricorsi di laterizio; i muri rivestiti, per i quali sono valide le considerazioni già espresse; i muri imbottiti o a sacco che sono fatti di più paramenti, di cui quello centrale, secondo l’antica tecnica romana, era «con smalti di calcestruzzo ben battuto, o con materiali minuti immersi in uno strato non molto grosso di smalto formato con malta e pietrisco»<sup>409</sup>.

L’ultimo insieme considerato dal Donghi è quello delle murature in masse battute o di getto che comprendono i muri di terra, realizzati spesso con l’argilla impastata alla paglia, e i muri di calcestruzzo. Questi ultimi sono stati ulteriormente distinti, in base alla malta utilizzata, in muri di malta di calce e muri di malta di cemento. Nei primi la malta era

<sup>404</sup> AA. VV., *op. cit.*, p. 85.

<sup>405</sup> *Ibid.*, p. 85.

<sup>406</sup> *Ibid.*, p. 85.

<sup>407</sup> *Ibid.*, p. 86.

<sup>408</sup> *Ibid.*, p. 86.

<sup>409</sup> D. Donghi (a cura di), *Manuale dell’architetto*, Unione tipografico Editrice Torinese, Torino, 1923, Vol. I, cap. II, par. IV, p. 379, cit. in AA. VV., *Manuale delle murature storiche*, Vol. 1, direttore scientifico A. Borri, a cura di C. Donà, A. De Maria, D.E.I. tipografia del Genio Civile, Roma, 2011, p. 86.

realizzata con calce e sabbia. Quest'ultima poteva essere mischiata con ghiaia e ciottoli, pertanto non era importante la granulometria, ma era utile che la sabbia fosse pulita e preferibilmente di fiume. La calce, invece, poteva essere sia grassa sia idraulica. La miscela, prodotta con l'aggiunta di acqua, era talvolta arricchita con laterizi frantumati o pozzolana. Donghi analizza poi le tecniche del calcestruzzo e del cemento armato.

Accanto alle regole adottate dagli antichi costruttori per realizzare murature solide e durature, sono stati proposti, dall'Ottocento in poi, studi scientifici che affrontano il tema delle costruzioni murarie in un'ottica diversa: la resistenza dei materiali impiegati, la questione del dimensionamento strutturale e del comportamento esibito dagli edifici storici durante le azioni sismiche diventeranno sempre più importanti, determinando l'attuale interesse verso la materia. Pertanto, analizzeremo come possono essere attualmente classificate le tipologie murarie e, in seguito, indagheremo sulle caratteristiche che contraddistinguono le murature rispetto ad altri sistemi costruttivi, che, nel Novecento, hanno preso il sopravvento sulle tecniche più tradizionali, come le strutture in cemento armato o quelle in acciaio.

#### 4.1.1 Tipologie Murarie

Nella Scheda AeDES, presentata nel precedente capitolo, la Sezione 3 è dedicata proprio all'individuazione della *Tipologia*. Per le strutture in muratura, data la varietà delle possibili soluzioni, si è reso necessario proporre una classificazione, cui faremo riferimento, per fornire una chiave di lettura delle strutture ricorrenti nei centri storici. Il *Manuale*<sup>410</sup> delle schede AeDES ha raccolto all'interno di un abaco i casi che caratterizzano il patrimonio edilizio in Italia e per ciascuna tipologia sono stati indicati i criteri per stabilire se le murature in esame sono a tessitura irregolare e di cattiva qualità oppure a tessitura regolare e di buona qualità.

La prima classificazione o primo livello di conoscenza delle murature è rappresentato dall'analisi del paramento esterno, in base al quale possiamo distinguere una muratura irregolare, da una appena sbazzata, dalle murature regolari. Come è facile osservare questo tipo di distinzione non è basata sul materiale impiegato, come proposto dalla maggior parte dei trattatisti, quanto sulle caratteristiche dei materiali impiegati. Per questo, nella prima categoria potranno essere considerate sia le murature in ciottoli, di varie dimensioni, sia quelle in pietrame di varia pezzatura, sia i paramenti misti, in cui gli elementi sono distribuiti in maniera piuttosto casuale. Nel secondo gruppo, quello delle murature sbazzate, invece, andranno considerate le murature fatte di elementi appena lavorati, quindi pietre di forma pressappoco squadrata, «che si presentano in forma pseudo - regolare o con orditura lastriforme di pietra detta a *soletti*»<sup>411</sup>. Nell'ultimo gruppo andranno incluse tutte le murature fatte da elementi perfettamente regolari, sia di pietra, sia di laterizio. In tutti i casi possibili, la muratura può essere o no intervallata da corsi regolari di mattoni o pietre.

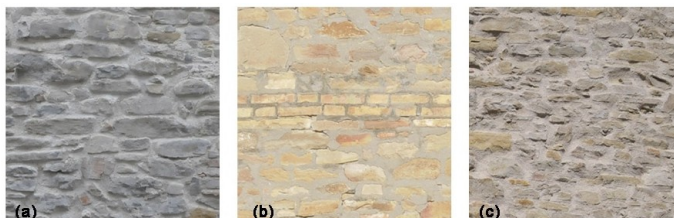
L'analisi del paramento esterno talvolta è affiancata da un secondo livello di conoscenza, che si basa sulla valutazione della qualità della malta. Se non si ha la possibilità di eseguire prove di laboratorio, è possibile ricorrere, come suggerito dal *Manuale*, alla prova di scalfitura in situ, per valutare se la malta è molto friabile. In tal caso, questa si sgretola fra le mani, in caso contrario, sarà considerata di buona qualità.

L'ultimo livello di conoscenza è rappresentato dall'osservazione, ove possibile, della sezione muraria. Lo scopo di questa analisi è di capire se i paramenti sono ben collegati

<sup>410</sup> Dipartimento della Protezione Civile, *Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AeDES)*, Roma, 2009.

<sup>411</sup> *Ibid.*, p. 31.

fra loro, ad esempio, attraverso la presenza di diatoni, in tale ipotesi la muratura potrà essere considerata di buona qualità. Si osserva che il secondo e il terzo livello di conoscenza proposti dal *Manuale* delle Schede AeDES, raccolgono sinteticamente gli stessi dati utilizzati per la compilazione della *Scheda di 1° livello per il Rilievo della Tipologia e della Qualità della Muratura*, già descritta nel Capitolo 3. Ai fini di una corretta valutazione delle tipologia muraria, quindi, possiamo far riferimento proprio agli strumenti schedografici attualmente utilizzati.

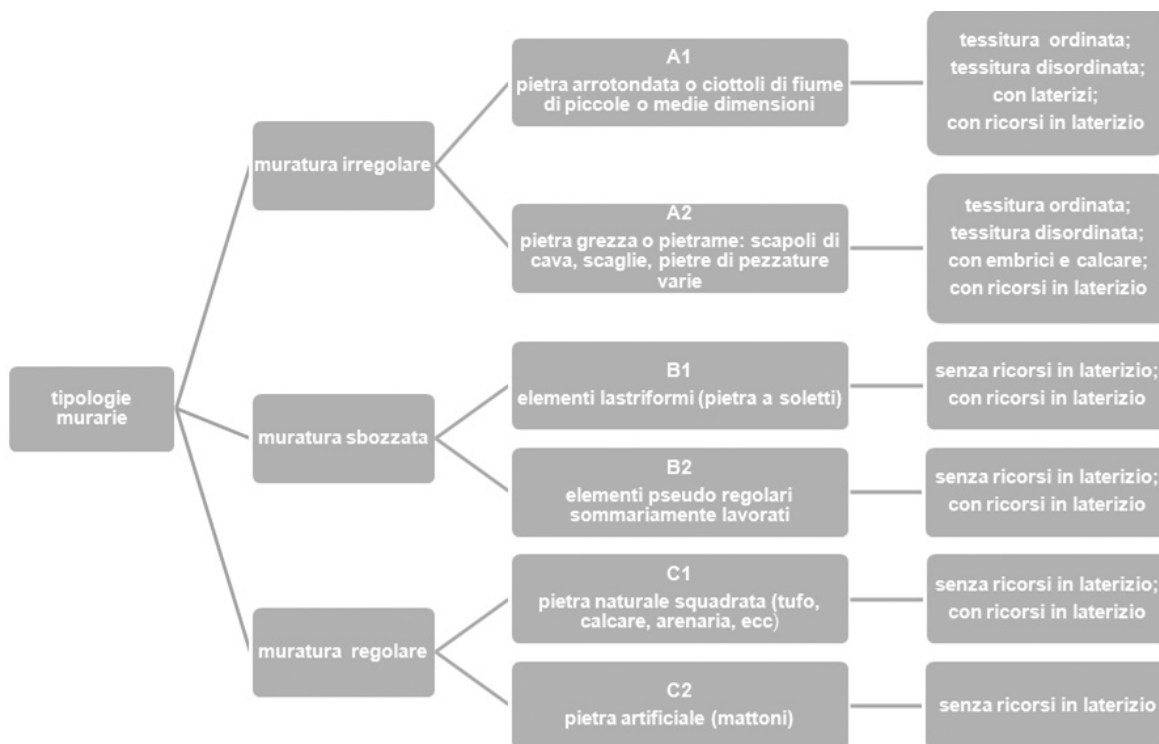


**Fig. 4.7 Murature irregolari di Arsita (TE): (a) pietre grezze di forma e dimensione diverse, (b) pietre non lavorate intervallate da ricorsi in laterizio, (c) pietrame disordinato (Fotografie: ENEA - C. R. Bologna)**



**Fig. 4.8 Murature sbazzate di Limassol - Cipro: elementi pseudo regolari con e senza ricorsi in laterizio**

La classificazione del Dipartimento della Protezione Civile, che abbiamo riepilogata nello schema seguente, se confrontata con quella di Daniele Donghi, può essere considerata più sintetica e schematica, poiché non sono stati considerati, ad esempio, i muri in terra, così come non sono distinti i rivestimenti dai paramenti in pietra o laterizio. Tuttavia, nei centri storici delle città italiane le categorie considerate dal *Manuale* delle schede AeDES si sono dimostrate sufficienti, dato che queste raccolgono i caratteri costruttivi ricorrenti all'interno dei contesti edilizi storici.



**Fig. 4.9 Classificazione delle murature secondo il Dipartimento della Protezione Civile**



#### 4.1.2 I Sistemi Costruttivi Storici

Gli antichi monumenti egiziani, greci, romani e bizantini, dei quali talvolta restano soltanto pochi resti, così come le architetture romaniche e gotiche, in alcuni casi conservate inalterate nei secoli, sono tutte costruzioni in muratura, realizzate assemblando conci più o meno squadrati di pietra. Anche se le tipologie murarie, precedentemente richiamate, mostrano come la sperimentazione di nuove tecniche sia stata molto prolifera e ricca di nuove proposte, i manufatti storici sono stati realizzati ricorrendo a pochi sistemi costruttivi tramandati nella storia. Le differenze stilistiche di tali architetture erano in parte legate alle differenti radici culturali e alla disponibilità di materiali edili diversi nelle varie aree geografiche, in parte erano invece collegate alle diverse concezioni strutturali, sperimentate dalle varie popolazioni. Benché gli antichi costruttori non avessero conoscenze ingegneristiche, come oggi le intendiamo, avevano creato alcuni sistemi statici fondamentali, che hanno condizionato il risultato compositivo delle loro architetture.

Il più elementare e antico sistema costruttivo è quello del trilito<sup>412</sup>. Come indica l'etimologia del termine, si tratta di un sistema costituito da tre elementi monolitici, uno di questi fa da copertura, l'architrave, gli altri due sono i piedritti che lo sostengono. Un esempio di tale struttura si trova nel noto sito di Stonehenge, Regno Unito, oppure nel tempio megalitico di Menaidra, Malta, che ricordiamo come punti di riferimento per la ricostruzione storiografica dell'evoluzione costruttiva. Le regioni geografiche in cui tali sistemi si sono diffusi erano certamente ricche di materiali litici e ciò serve a motivare l'impiego della pietra piuttosto che del legno nella realizzazione delle prime architetture. Pertanto, anche se gli antichi costruttori non sapevano ancora che il legno fosse più elastico della pietra e quindi più performante alle sollecitazioni di tipo flessionale, avevano ideato un sistema strutturale che ha trovato ampio impiego per la realizzazione dei templi. Gli ordini architettonici rappresentano un'evoluzione stilistica, ma la soluzione strutturale era sempre la stessa.



**Fig. 4.10 Tempio megalitico di Menaidra, Malta (Autore: Mareksilarski  
<[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Malta\\_swiatynia.jpg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Malta_swiatynia.jpg)>, 02/11/2014)**

<sup>412</sup> G. Cataldi, *Sistemi statici in architettura*, Cedam, Padova, 1979, pp. 33-41.



Possiamo pensare che i costruttori dell'antichità avessero, tuttavia, compreso i limiti della pietra, infatti, se si analizza la Tomba di Agamennone, meglio nota come Tesoro di Atreo di Micene, Grecia, in Figura 4.11, si nota che l'architrave all'ingresso non sopporta alcun carico verticale eventualmente derivante da altre pietre a essa sovrapposte. Anzi, era stato progettato un lucernario di forma triangolare che non solo serviva a illuminare l'interno della tomba, ma che alleggeriva il carico altrimenti gravante sulla mezzeria dell'architrave. Per realizzare tale forma i conci in pietra aggettavano l'uno sull'altro, prefigurando la forma dello pseudoarco. Quest'ultimo è una soluzione intermedia che può essere realizzata disponendo l'uno contro l'altro due elementi di pietra poggianti sui piedritti, così da creare un'apertura triangolare. Certamente la soluzione creata per la tholos greca ha il vantaggio di trasmettere i carichi delle pietre aggettanti, verticalmente, senza generare alcuna spinta e quindi senza implicare la necessaria costruzione di un rinfiacco, come invece avviene negli archi. Con questo criterio sono state realizzate anche delle pseudovolte. I primi esempi si trovano in Mesopotamia, dove la scarsità di materiali lapidei aveva favorito la produzione dei primi laterizi crudi, alcuni casi di pseudovolte si trovano anche in Italia, come i nuraghi sardi oppure i trulli pugliesi<sup>413</sup>.



**Fig. 4.11 Tesoro di Atreo di Micene, Grecia (Autore: Atelier Joly**  
**<[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Treasure\\_of\\_Atreus.jpg#globalusage](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Treasure_of_Atreus.jpg#globalusage)>, 02/11/2014)**

Il sistema costruttivo dell'arco<sup>414</sup> vero e proprio si basa sull'accostamento di tanti conci cuneiformi in pietra o laterizio. La forma dei conci impedisce alle facce a contatto di scorrere le une rispetto alle altre. Nel sistema costruttivo dell'arco la forza peso di compressione di ciascun concio, applicata al baricentro geometrico di ogni elemento, può essere scomposta secondo le direzioni normali ai piani delle facce a contatto con i conci vicini. Il concetto, applicato all'intera struttura, consente di individuare la curva delle pressioni del sistema spingente. Affinché l'arco sia in equilibrio, la risultante delle forze dovrà cadere entro il terzo medio relativo al piede dell'arco. In caso contrario, possono innescarsi pericolose rotazioni, responsabili della frattura dell'arco stesso. Per questo, era

<sup>413</sup> *Ibid.*, pp. 49-53.

<sup>414</sup> *Ibid.*, pp. 63-72.

frequente la realizzazione di contrafforti in grado di ampliare la base di appoggio dell'arco. La loro sagoma era talvolta inclinata, come si osserva nelle architetture romaniche; le facciate a salienti, probabilmente, non erano dettate soltanto da una scelta estetica, in sostanza la forma seguiva la funzione. Nel periodo gotico saranno studiate soluzioni progettuali innovative, come l'introduzione di archi rampanti o la realizzazione di archi a sesto acuto, in cui con l'aumentare del sesto, cioè il rapporto fra la montata e la semiluce dell'arco, si riduce l'angolo d'inclinazione della spinta. Nel periodo rinascimentale, invece, il problema era risolto con l'introduzione di una catena metallica, posta all'altezza delle reni dell'arco. Molte architetture, come il portico dell'Ospedale degli Innocenti, il portico della Basilica della Santissima Annunziata o la Loggia del Pesce a Firenze, ricorrevano a questi presidi di limitato rilievo figurativo, ma di grande aiuto per la stabilità delle strutture.

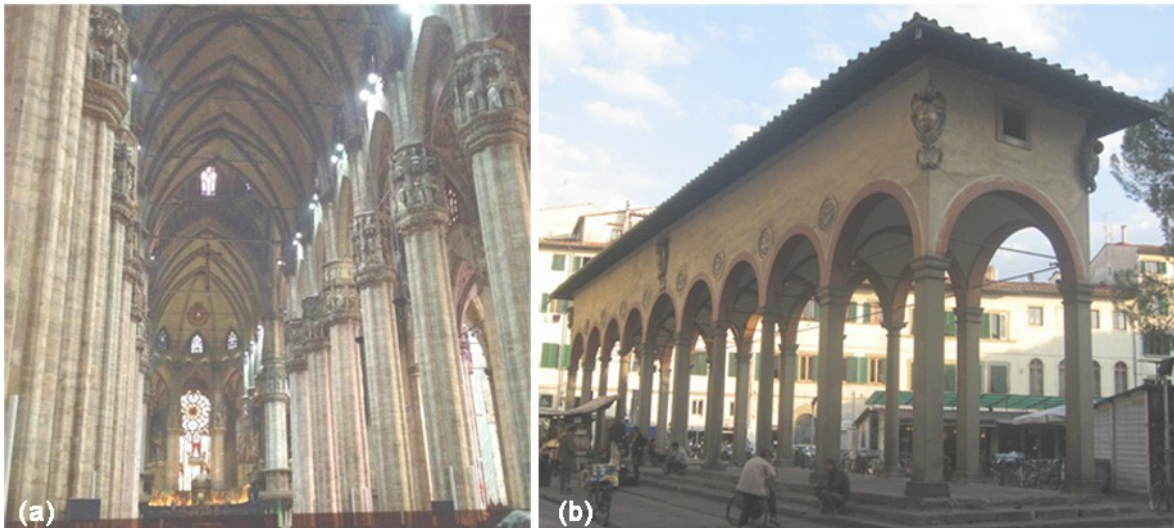


Fig. 4.12 (a) Interno del Duomo di Milano (b) Loggia del Pesce a Firenze

Non abbiamo ricordato, nella breve ricostruzione finora condotta, la ricca produzione di archi di origine orientale, che si trova soprattutto negli edifici di culto: si tratta di un capitolo importante della storia dell'architettura che meriterebbe un'ampia ed estesa trattazione. Vogliamo qui menzionare, fra gli esempi più significativi, il Taj Mahal, un mausoleo dichiarato patrimonio dell'umanità dal 1983, caratterizzato da un imponente portale d'ingresso con arco ogivale. Le coperture interne dell'edificio sono state create proprio attraverso la rotazione spaziale dell'arco ogivale.

Ben presto, infatti, dal sistema costruttivo dell'arco si passerà ai sistemi tridimensionali delle volte. Le tipologie di volte che si riscontrano spesso nelle architetture storiche sono diverse: a botte, a crociera, a padiglione, a schifo, a vela, rappresentate in Figura 4.15. A queste si aggiungono anche particolari soluzioni compositive, ad esempio, la volta a botte lunettata oppure quella con le testate a padiglione. Sono numerosissimi gli edifici che presentano questo tipo di copertura, le volte non erano utilizzate solo nelle chiese o nei palazzi di pregio, ma erano pressoché diffuse in tutta l'edilizia storica. Anche in alcune abitazioni di Arsita (TE) si ritrovano alcune coperture voltate in laterizio, soprattutto ai piani terra degli edifici oppure nelle cantine.

Infine, fra le costruzioni storiche in muratura trionfano le cupole. Capolavori di tutte le civiltà e di tutte le culture architettoniche, queste strutture sono state progettate utilizzando tecniche e materiali a volte molto diversi. Basti pensare all'ingegnosità messa in atto nella realizzazione del Pantheon<sup>415</sup>, un punto di riferimento anche per i costruttori dei secoli successivi. Infatti, l'edificio a pianta circolare, ha una luce di ben 43,40 m, la stessa dimensione dell'altezza interna, dall'oculo al pavimento. Particolari accorgimenti furono adottati anche per la preparazione del calcestruzzo di cui è fatto l'edificio: sembra che la

<sup>415</sup> D. Watkin, *Storia dell'architettura occidentale*, Zanichelli, Bologna, 2000, pp. 52-54.



combinazione dei materiali impiegati fosse variabile per alleggerire il carico man mano che aumentava l'altezza dell'edificio, pertanto, per le fondazioni furono utilizzati i materiali più pesanti e per la cupola quelli più leggeri, come la pomice vulcanica.

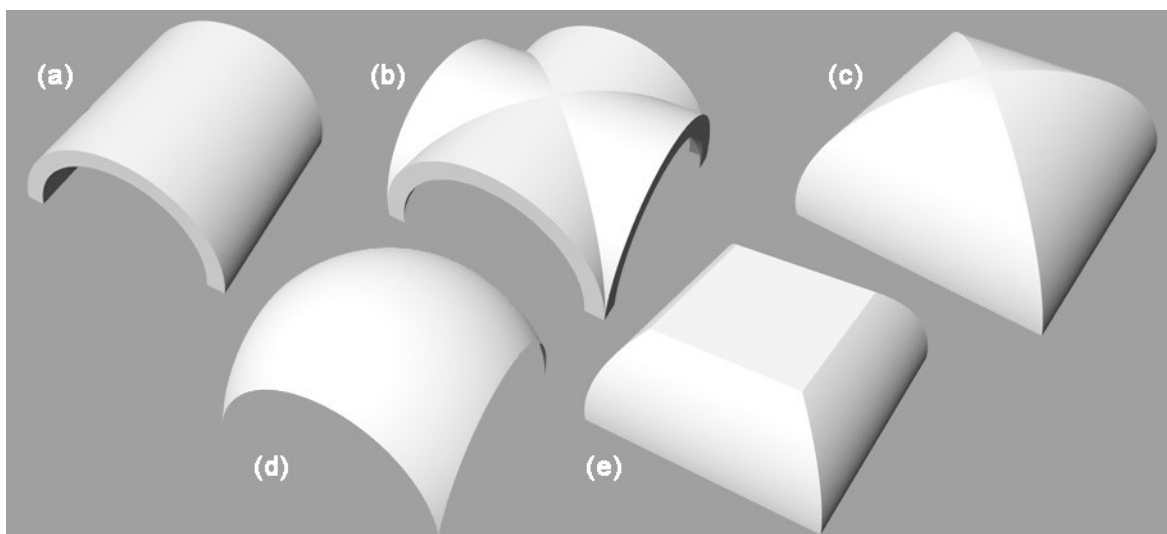


Fig. 4.13 Volte: (a) a botte, (b) a crociera, (c) a padiglione, (d) a vela, (e) a schifo

Anche Filippo Brunelleschi sembra che abbia rivolto la sua attenzione alla cupola del Pantheon, prima di progettare quella di Santa Maria del Fiore a Firenze, di dimensioni analoghe. La Cupola del Brunelleschi<sup>416</sup> è impostata su una base ottagonale, dal diametro interno di 45 m e dal profilo a «sesto di quinto acuto». Questa si compone di una cupola interna, quella portante, dello spessore variabile fra i 2,40 m alla base e 2,20 m alla sommità e una cupola esterna, realizzata a protezione dell'altra, dello spessore variabile fra i 90 cm e i 45 cm. Il passaggio interno fra l'una e l'altra permette di raggiungere la lanterna, costruita a più di 100 m da terra.



Fig. 4.14 La Cupola del Brunelleschi: esterno ed interno

Il progetto presenta aspetti per l'epoca innovativi: la realizzazione della cupola, infatti, non è avvenuta con l'utilizzo delle centine di legno, bensì ricorrendo ad una particolare disposizione dei mattoni. Per impedire che questi scivolassero verso il basso, quando la

<sup>416</sup> R. Corazzi, G. Conti, *Il segreto della Cupola del Brunelleschi a Firenze*, Angelo Pontecorboli Editore, Firenze, 2011, pp. 40-61.

loro inclinazione aumentava, alcuni, ad intervalli regolari, erano disposti di coltello. La tecnica, definita «“a spinapesce”» era già nota ai bizantini, che forse l’avevano appresa dagli antichi romani. Il Brunelleschi applicò il metodo a una cupola a base ottagonale, come se fosse una cupola di rotazione a base circolare: una soluzione che destò molte perplessità, ma che si rivelò vincente. Salvatore di Pasquale per studiare la tecnica del Brunelleschi costruì un modello che mostra perfettamente il funzionamento della spinapesce. Tale disposizione disegna una curva simile a quelle delle scale elicoidali, detta «“elica cilindrica”», la stessa forma della scala che porta in cima alla cupola, ma che la percorre nel verso opposto, per rinforzare la struttura.

Un altro aspetto determinante nella realizzazione della cupola, riguardante sempre la disposizione dei mattoni, è l’impiego della «“corda blanda”». Nelle cupole sferiche, i laterizi sono collocati lungo i paralleli della sfera. Nella Cupola del Brunelleschi, se i laterizi fossero stati disposti lungo anelli ottagonali, in corrispondenza dei raccordi fra le vele, i mattoni avrebbero formato degli angoli, rendendo la struttura discontinua proprio nei punti in cui c’è una maggiore concentrazione di sforzi. Pertanto, il problema è stato risolto ricorrendo al sistema costruttivo che si applica alle cupole di rotazione, in modo che i letti di posa dei mattoni fossero sempre ortogonali ai meridiani della cupola. Mentre nelle cupole sferiche, i paralleli, perpendicolari ai meridiani, sono paralleli alla base della circonferenza, quelli della Cupola del Brunelleschi, ossia le corde blande, non lo sono più, pur essendo sempre perpendicolari ai meridiani. Questi ultimi non sono archi di circonferenza, come quelli delle cupole sferiche, ma sono archi di ellisse.

Il progetto della Cupola del Brunelleschi meriterebbe una più approfondita descrizione, non solo per spiegare il suo funzionamento, ma anche per ricordare i numerosi studi effettuati al fine di monitorare lo stato fessurativo presente. Tuttavia, gli esempi citati sono sufficienti ad evidenziare come i manufatti architettonici in muratura, nel corso dei secoli, siano stati prodotti con tecniche costruttive relazionate alle proprietà del materiale. Nelle epoche in cui tali opere sono state costruite, si ricorreva soprattutto all’esperienza, non erano disponibili ampie conoscenze scientifiche, analisi strutturali e prove sperimentali, attualmente impiegate per valutare la resistenza e la stabilità delle costruzioni in muratura e per migliorarne il comportamento, in particolare, nei confronti delle azioni sismiche. A riguardo, richiameremo alcuni traguardi significativi raggiunti nel Novecento.

#### 4.1.3 Cenni sul Comportamento delle Murature

Alcuni dei concetti più importanti sul comportamento delle costruzioni in muratura sono stati proposti da Jacques Heyman, che considera la muratura come un materiale rigido a compressione e non reagente a trazione. La teoria è comparsa nel 1966 nel volume *The stone skeleton*, in cui Heyman ha affrontato lo studio del comportamento strutturale delle murature sulla base di tre assunti, formulati dopo l’osservazione di varie architetture storiche, soprattutto cattedrali gotiche, e a seguito di un’approfondita ricerca sui risultati già conseguiti dai suoi predecessori. Gli assunti sono:

- (i) *masonry has no tensile strength,*
- (ii) *stresses are so low that masonry has effectively an unlimited compressive strength,*  
*and*
- (iii) *sliding failure does not occur*<sup>417</sup>.

<sup>417</sup> “(i) la muratura non ha resistenza a trazione,

(ii) le sollecitazioni sono così basse che la muratura ha effettivamente una resistenza a compressione illimitata, e

(iii) il cedimento scorrevole non si verifica”.

J. Heymann, *The Stone Skeleton*, Cambridge University Press, 1995, p. 14.

La prima assunzione deriva dalla constatazione di Heyman che, pur volendo ipotizzare che i singoli blocchi di pietra siano resistenti a trazione, la malta interposta fra i blocchi sarebbe comunque debolmente resistente. L'ipotesi che la resistenza a compressione sia illimitata è assunta senza negare la possibilità che possa insorgere una concentrazione di tensioni tale da causare danni, a livello locale, con formazione di fessure, le quali, tuttavia, non porterebbero al cedimento globale dell'edificio. L'assunto deriva dall'analisi condotta da Heyman sul comportamento delle murature spesse, costituite da due paramenti con interposto materiale di riempimento<sup>418</sup>. Infine, l'ultimo punto esprime l'idea che una piccola compressione fra gli elementi sia necessaria per evitare lo slittamento delle pietre e in generale la perdita di coesione della muratura. Heyman, all'interno del volume, fa riferimento anche ad accorgimenti, messi in atto nelle cattedrali gotiche, per evitare i fenomeni di slittamento nelle murature, come la realizzazione dei pinnacoli sui contrafforti, nonostante i limiti di validità della loro azione.

Gli assunti di Heyman si ritrovano anche nella Circolare 2 febbraio 2009, n. 617<sup>419</sup>, in cui si fa riferimento all'applicazione dell'analisi limite dell'equilibrio, in particolare all'approccio cinematico, ipotizzando proprio che la resistenza a trazione della muratura sia nulla, che la muratura abbia una resistenza a compressione infinita e che siano assenti scorrimenti fra i blocchi, anche se queste ipotesi possono non essere sempre verificate nelle strutture reali.

Come era stato già precisato nelle *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, «La non resistenza a trazione rappresenta sempre un'ipotesi a favore di sicurezza, in altre parole essa porta a sottostimare la reale capacità della struttura»<sup>420</sup>. Si precisa anche che se i piani di rottura sono scelti in corrispondenza dei giunti principali, l'ipotesi diventa veritiera, essendo la loro resistenza a trazione molto limitata. Invece, se si ipotizza che i piani di rottura interessino zone di ammorsamento, la non resistenza a trazione diventa un presupposto cautelativo. Per quanto riguarda l'infinita resistenza a compressione della muratura, si tratta di un'assunzione a sfavore di sicurezza. Nelle *Linee Guida* si evidenzia che la condizione ultima «non si verifica in corrispondenza di un contatto puntuale fra i blocchi»<sup>421</sup>, ma si raggiunge con la parzializzazione della sezione reagente, per cui la muratura giunge al collasso per schiacciamento. Il documento citato assume fra le ipotesi anche la limitata deformabilità del materiale. Tale presupposto è motivato dal fatto che le strutture in muratura si avvalgono per lo più della propria forma per equilibrare i carichi assegnati; trascurare la deformabilità del materiale significa ipotizzare che anche nella configurazione deformata la struttura è in equilibrio. L'ultima ipotesi, infine, sull'assenza di scorrimenti fra i blocchi, è formulata in considerazione del fatto che le azioni mutue fra i conci sono quasi sempre perpendicolari ai giunti principali «e comunque all'interno del cono d'attrito relativo alle strutture murarie»<sup>422</sup>.

Per valutare la resistenza e la deformabilità dei materiali lapidei possono essere condotte specifiche prove di laboratorio, che saranno descritte in seguito. Tali prove dimostrano la diversa resistenza a trazione e a compressione delle murature e permettono di individuare il dominio di rottura dei materiali lapidei. Quello concernente stati di sollecitazione biassiale è del tipo rappresentato in Figura 4.15.

---

<sup>418</sup> *Ibid.*, pp. 83-85.

<sup>419</sup> Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008*, par. C8A.4. *Analisi dei meccanismi locali di collasso in edifici esistenti in muratura*.

<sup>420</sup> Ministero per i Beni e le Attività Culturali, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, Gangemi Editore, Roma, 2006, p. 71.

<sup>421</sup> *Ibid.*.

<sup>422</sup> *Ibid.*.

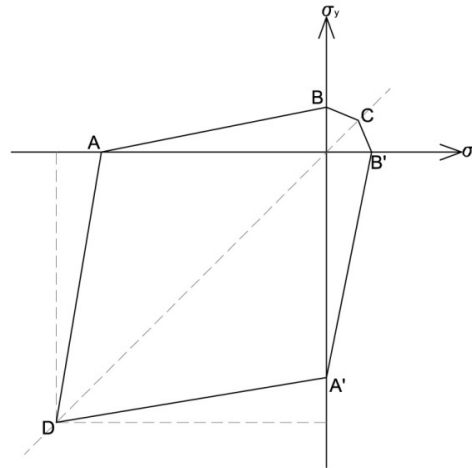


Fig. 4.15 Dominio di rottura biassiale dei materiali lapidei (Immagine originale in Como, 2011)

Il piano  $\sigma_y, \sigma_z$  presenta un asse di simmetria rappresentato dalla bisettrice del I e del IV quadrante. I tratti AB e A'B' indicano la condizione di rottura per compressione - trazione, mentre i tratti AD e A'D rappresentano la rottura per compressione - compressione, infine, i segmenti BC e B'C delimitano la rottura per trazione - trazione<sup>423</sup>.

Attraverso gli esperimenti condotti su campioni di muratura, costituiti da blocchi quadrati e giunti di malta, è stato osservato come la resistenza a compressione sia relazionata non solo alle caratteristiche elastiche di ciascun componente, ma anche alla resistenza triassiale degli elementi, infatti, durante la compressione insorge un'interazione tangenziale fra la malta e i blocchi di pietra o i laterizi. Questi ultimi saranno soggetti alla compressione verticale e alle due sollecitazioni di trazione laterale, invece, la malta sarà soggetta alla compressione verticale e alle due sollecitazioni di compressione laterale. Una trazione, anche piccola, esercitata sulle due direzioni orizzontali dei mattoni, ne riduce la resistenza a compressione. Quando è raggiunto il collasso, i blocchi mostreranno una serie di fenditure verticali e, l'improvvisa espulsione di frammenti, caratterizza il collasso di tipo fragile della muratura<sup>424</sup>.

La resistenza a trazione delle murature è molto inferiore rispetto ai valori raggiunti da quella a compressione. Le sollecitazioni di trazione sono responsabili dei distacchi fra i letti di malta e i blocchi, dovuti alla perdita di aderenza e non alla fessurazione della malta. Si accetta quindi l'ipotesi che il materiale sia non resistente a trazione, assumendo il seguente diagramma trazione-deformazione estensiva<sup>425</sup>.

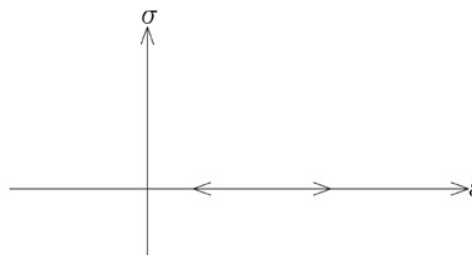


Fig. 4.16 Diagramma trazione-deformazione estensiva (Immagine originale in Como, 2011)

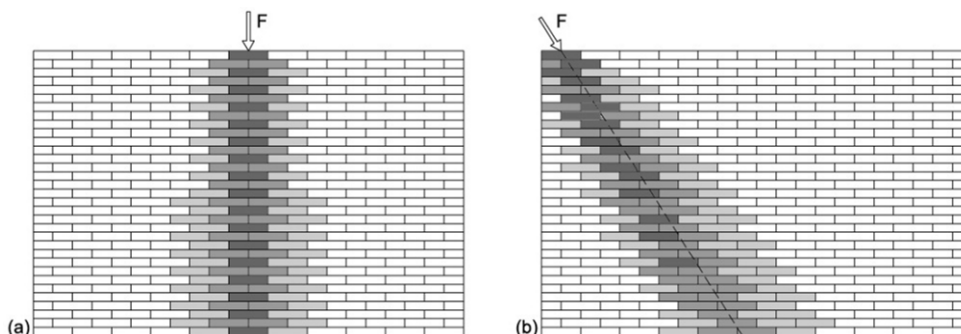
Infine, attraverso le prove di taglio compressione o di compressione diagonale, anche queste descritte successivamente, è possibile valutare l'azione tagliante, responsabile dello scorrimento dei filari e della perdita di continuità nella muratura. La resistenza a taglio è condizionata dalla qualità della malta e dalla presenza di carichi assiali rilevanti.

<sup>423</sup> M. Como, *Statica delle costruzioni storiche in muratura*, ARACNE editrice, Roma, 2011, pp. 59-62.

<sup>424</sup> *Ibid.*, pp. 62-73.

<sup>425</sup> *Ibid.*, pp. 74-77.

Vari Autori hanno intrapreso ricerche sulle murature, soprattutto negli anni Ottanta dello scorso secolo. Antonino Giuffré ha condotto i suoi studi osservando il comportamento di una parete muraria composta di elementi regolarmente sfalsati, quindi poggianti gli uni sugli altri, con vincolo di semplice appoggio, ossia ad azione monolaterale. Le superfici a contatto, per via dell'attrito, «sono in grado di trasmettere forze a esse parallele fino a una certa percentuale dell'azione verticale di compressione che li spinge l'uno contro l'altro»<sup>426</sup>.



**Fig. 4.17 (a) Parete sollecitata da forza verticale, (b) Parete sollecitata da forza inclinata (Immagine originale in Giuffré, 1991)**

Sia nel caso in cui la parete sia soggetta all'azione di un carico verticale concentrato su un blocco, sia nell'ipotesi in cui la parete sia soggetta a un carico inclinato, l'azione della forza si diffonde su una porzione di muro sempre più ampia, a poco a poco che ci si allontana dal punto di applicazione della forza. Il dato rilevante, come sottolineato anche da Salvatore Di Pasquale, è che non tutta la parete in muratura risponde all'azione del carico agente, mentre i solidi elastici, al contrario, hanno la capacità di diffondere i carichi.

Per spiegare questo concetto, facendo riferimento a un esperimento che «Chiunque può fare»<sup>427</sup>, Di Pasquale, utilizza una tela cui sono applicate forze uguali e contrarie di trazione:

*basta tirare il fazzoletto con le due mani per scoprire che a queste azioni esterne si oppone solo la parte palesemente tesa tenuta tra le dita, mentre le altre sue parti risultano inerti; si può anche verificare che cambiando la posizione della presa sul fazzoletto cambia corrispondentemente la parte attiva. La funzione statica, di trasmissione delle azioni esterne da un lembo all'altro, non è di tutta la tela ma soltanto di una sua parte; considerando la tela come la «costruzione» e la parte attiva come la «struttura» è evidente che esse non coincidono e che la struttura reagente muta al mutare delle azioni esterne; un elemento di acciaio della stessa forma e dimensioni, sottoposto alle stesse azioni esterne è contemporaneamente costruzione e struttura; la differenza fondamentale tra i materiali standard e le murature o le tele sta nel fatto che i primi diffondono al loro interno le azioni esterne mentre nei secondi, in generale, questa diffusione non ha luogo»<sup>428</sup>.*

Di Pasquale, con un esempio efficace, ha spiegato quanto aveva già evidenziato facendo riferimento al comportamento di una lastra circolare, analogamente soggetta all'azione di forze concentrate uguali e contrarie. Se si ammette che il disco sia di materiale non reagente a trazione, questo si comporta come la tela. Per questo, egli era arrivato ad affermare che «Il materiale non reagente a trazione è un non-solido perché due forze uguali e contrarie agenti sulla stessa retta d'azione e tendenti a separarne le parti non troverebbero alcuna resistenza; viceversa, cambiando il segno delle forze, questa resistenza si manifesta come avversione delle particelle a reciproche compenetrazioni: in questo caso il materiale si comporta come un solido»<sup>429</sup>.

<sup>426</sup> A. Giuffré, *Lecture sulla meccanica delle murature storiche*, Edizioni Kappa, Roma, 1991, pp. 5-6.

<sup>427</sup> S. Di Pasquale, *L'arte del costruire: tra conoscenza e scienza*, Marsilio, Venezia, 1996, p. 410.

<sup>428</sup> *Ibid.*.

<sup>429</sup> *Ibid.*, pp. 406-407;



Di Pasquale rammenta che Carlo Alberto Castigliano, nel suo trattato<sup>430</sup>, aveva definito il materiale muratura «imperfettamente elastico», proprio per sottolineare la singolarità delle murature, che non sono considerate reagenti a trazioni. Castigliano era un costruttore di ponti in muratura e in relazione alla sua esperienza aveva cercato di evidenziare le peculiarità nel comportamento del materiale; scrive Di Pasquale:

*Castigliano chiarisce subito che è impossibile ottenere la soluzione rigorosa in modo indiretto e che bisogna procedere per successive approssimazioni; in altre parole, partendo dalla sagoma del ponte, assegnata dalle curve di intradosso e di estradosso e dalle spalle, e supponendo in prima approssimazione che il materiale abbia comportamento standard, si determinano le zone in cui sarebbero presenti sforzi di trazione. Queste zone devono essere eliminate; risultando modificata la forma dell'arco è necessario ripetere di nuovo il calcolo strutturale. Poiché compaiono nuove zone con sforzi di trazione, occorre ripetere l'analisi finché queste non diventano così piccole rispetto a quelle già rimosse, da poter trascurare il loro effetto sulla soluzione che si otterrebbe iterando all'infinito il procedimento: cosa evidentemente impossibile a farsi. Il risultato cui conduce la teoria di Castigliano è esattamente quello intuito da Viollet-le-Duc perché eliminare da una sagoma assegnata le parti non reagenti significa che essa non è la vera struttura<sup>431</sup>.*

Di Pasquale con questa sintesi porta l'attenzione sugli insegnamenti che Viollet-le-Duc per primo e altri studiosi, come Castigliano, hanno fornito «e cioè che nel caso delle murature è incognita fondamentale la struttura reagente che è solo una parte, nascosta, della costruzione, come essa appare ai nostri occhi»<sup>432</sup>. Nel solido murario devono essere distinte, dunque, le parti resistenti da quelle inerti: le prime sottoposte a compressione si deformano in maniera diversa dalle seconde, determinando eventualmente l'insorgenza di fratture, che separano le due parti.

Nonostante nella realtà la muratura sia costituita da blocchi di pietra o di laterizio, è dunque un materiale discontinuo e anisotropo, Salvatore Di Pasquale studia un materiale teorico isotropo, continuo e caratterizzato dalla mancanza di resistenza a trazione, come evidenzia Antonino Giuffrè<sup>433</sup>. Il modello teorico proposto da quest'ultimo, invece, pur essendo altrettanto astratto, è più realistico perché è assunto un modello discreto del materiale, in cui i blocchi sono indeformabili; mentre, la mancanza di resistenza a trazione è sempre condivisa dagli Autori richiamati. Proprio con riferimento a questa caratteristica del materiale, Giuffrè, attraverso formulazioni analitiche, osserva che la resistenza a trazione «(o meglio: quella resistenza allo scorrimento provocata dall'attrito che abbiamo assimilata a una resistenza a trazione d'insieme) è tanto maggiore quanto più grande è la lunghezza del blocco e quindi la sovrapposizione, ma tanto minore quanto più il blocco è alto: a parità di altezza del muro blocchi di forte spessore comportano minor numero di strati, cioè di superfici di scorrimento e quindi minori vincoli di connessione, mentre blocchi più lunghi offrono maggior appiglio all'ingranamento dell'attrito per collegare tramite il blocco superiore, i due inferiori»<sup>434</sup>.

Giuffrè ha analizzato il comportamento di una parete in muratura soggetta all'azione di forze ortogonali al piano della parete, che tendono a ribaltarla, al fine di valutare la sicurezza delle costruzioni in murature, soprattutto quelle che sono sottoposte l'azione dei

---

S. Di Pasquale, *La teoria delle distorsioni impresse e la statica delle murature - Appunti delle lezioni per gli allievi del Dottorato di Ricerca in "Storia delle scienze e delle tecniche costruttive"*, 1991-1995 - Università degli Studi di Firenze, Facoltà di Architettura, Dipartimento di Costruzioni, Preprint, pp.115-150.

<sup>430</sup> C. A. Castigliano, *The theory of equilibrium of elastic systems and its applications*, trad. ingl. di E. S. Andrews, New York, Dover, 1966.

<sup>431</sup> S. Di Pasquale, *op. cit.*, pp. 450-451.

<sup>432</sup> *Ibid.*, p. 465.

<sup>433</sup> Antonino Giuffrè richiama gli studi presentati in S. Di Pasquale, *Statica dei solidi murari: teoria ed esperienze*, Dipartimento di costruzioni, Firenze, 1984.

A. Giuffrè, *op. cit.*, pp. 8-9.

<sup>434</sup> *Ibid.*, p. 11.

terremoti. Le conclusioni<sup>435</sup> dei suoi studi evidenziano come le murature costituite da ortastati e diatoni, grazie alla tessitura compatta, siano in grado di ricreare l'unità di un elemento monolitico e, attraverso il proprio peso, siano capaci di controbilanciare l'azione delle forze che tenderebbero, invece, a ribaltarle. In particolare, Giuffré era interessato all'evoluzione della relazione Forza – Spostamento durante le oscillazioni provocate dal sisma e si era avvalso di un diagramma bilineare per descrivere il comportamento delle murature, anche se queste non seguono con precisione la legge F-S ideale.

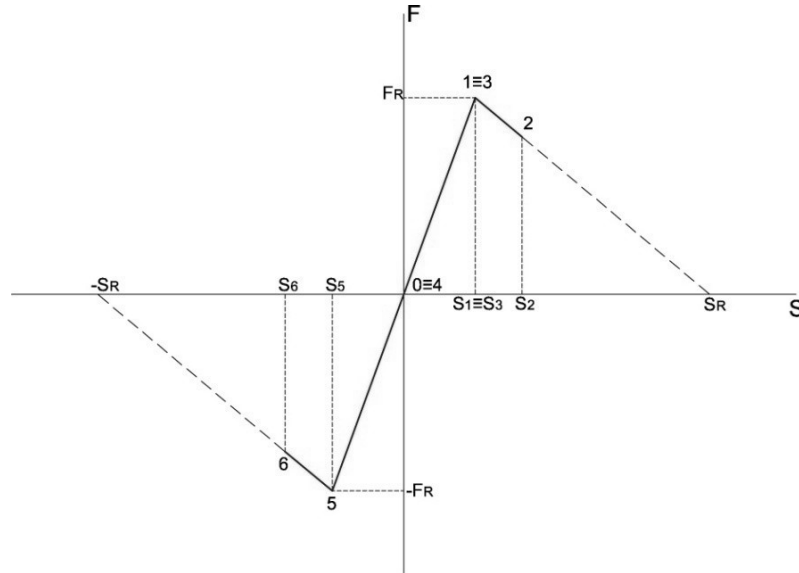


Fig. 4.18 Diagramma F – S bilineare (Immagine originale in Giuffré, 1991)

Il comportamento ciclico<sup>436</sup> è descritto dal percorso del grafico in Fig. 4.18, il quale dopo aver raggiunto il punto 1, si sposta sul ramo discendente, fino al punto 2 e con il cessare del moto viene ripercorso lo stesso diagramma al contrario. Se l'inclinazione si verifica verso sinistra il diagramma segue analogo percorso. Anche se con l'aumentare dell'azione agente è avvertibile un certo spostamento, Giuffré evidenzia come il modello ideale possa essere considerato perfettamente rigido, in quanto fino al raggiungimento del valore limite della forza, oltre la quale si verifica il ribaltamento, lo spostamento è nullo. Il tratto iniziale del grafico, inoltre, indipendentemente dall'inclinazione assunta indica l'elasticità iniziale delle parete.

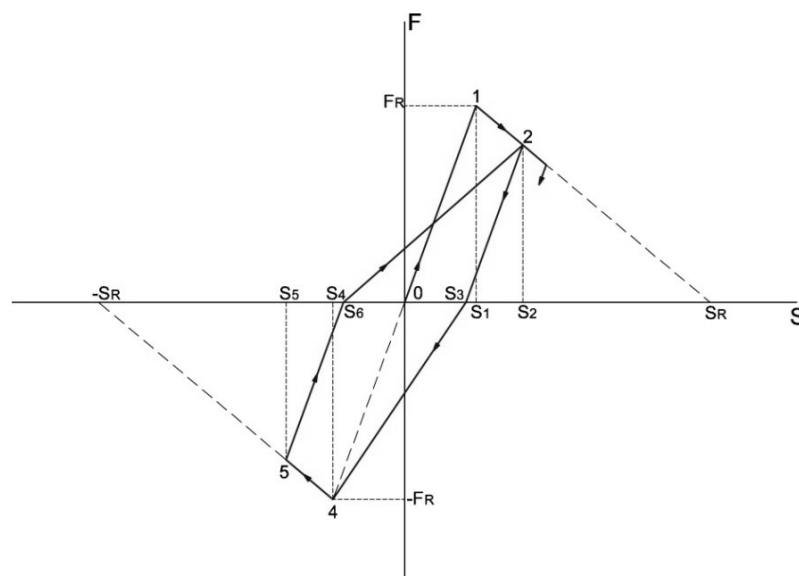


Fig. 4.19 Diagramma F – S Takeda (Immagine originale in Giuffré, 1991)

<sup>435</sup> *Ibid.*, p. 19.

<sup>436</sup> *Ibid.*, p. 31.

Giuffré richiama l'attenzione anche sul cosiddetto modello Takeda<sup>437</sup>, in Figura 4.19, dal nome dello studioso giapponese che l'ha proposto. In questo modello, al cessare del moto, il grafico non percorre, come avveniva nel modello precedente, i tratti disegnati durante la fase di carico, quindi si assume che la parete abbia subito una deformazione permanente e durante lo scarico il grafico si sposta nel punto S<sub>3</sub>.

Se a questo punto la parete è soggetta all'azione di una forza che spinge il muro nel verso opposto, è necessario che tale forza aumenti fino a spostare il baricentro del solido nel punto S<sub>4</sub>; non è sempre verificato che il tratto 3-4 segue una legge di tipo lineare. Dopo aver raggiunto lo spostamento S<sub>5</sub>, si ipotizza che, con la fase di scarico, lo spostamento raggiunga il punto S<sub>6</sub>, a cui corrisponde un secondo fuoripiombo della parete. Il ciclo a questo punto potrebbe ricominciare seguendo la legge Forza – Spostamento illustrata.

Dalle prime due ipotesi di Heyman, dimostrate dalle evidenze sperimentali, si conclude che gli unici stati di sollecitazione ammissibili per la muratura sono di compressione. Questi rappresentano le condizioni locali di compatibilità sui carichi. Infatti, in relazione alla non resistenza a trazione del materiale le forze di superficie potranno esercitare solo azioni di compressione in ogni punto della superficie  $\partial\Omega_p$  del solido, quindi:

$$p(P) \cdot n \leq 0, \quad \forall p \in \partial\Omega_p$$

in cui  $n$  è il vettore unitario sulla normale esterna a  $\partial\Omega_p$  in  $P$ .

Analogamente per le forze di reazione  $r(P)$ , in ogni punto della superficie  $\partial\Omega_r$  deve aversi:

$$r(P) \cdot n \leq 0, \quad \forall p \in \partial\Omega_r$$

Dato che il solido murario non ha la capacità di diffondere i carichi, come spiegava Salvatore Di Pasquale negli studi sull'equilibrio ammissibile del materiale, considerando le sollecitazioni di trazione positive, si può assumere, per i solidi non reagenti a trazione:

$$\sigma(P) \leq 0$$

in base alla quale in ogni punto  $P$  di un solido murario la più grande delle tre tensioni principali è di compressione o al più pari a zero<sup>438</sup>.

Le parti compresse, da quanto evidenziato, sono individuabili osservando la geometria dei carichi agenti, quindi le parti reagenti della muratura sono legate alla distribuzione dei carichi e se questi variano, evidentemente cambia anche la struttura resistente.

Il materiale sollecitato da carichi esterni è soggetto a distacchi o lesioni. Le deformazioni della muratura sono definite, in generale, come campi di spostamento  $u(P)$ , con  $P \in \Omega$ , dove  $\Omega$  indica la regione occupata dal corpo. Le funzioni spostamento sono anche chiamate meccanismi e nell'ipotesi che non si verifichino slittamenti, i distacchi, che rappresentano punti di discontinuità della funzione spostamento  $u(P)$ , avvengono nella direzione normale alla fessura. La deformazione è una «dilatazione»<sup>439</sup> e si ha:

$$\varepsilon(P) \geq 0$$

ossia la più piccola delle dilatazioni principali non può essere negativa.

<sup>437</sup> *Ibid.*, p. 32.

<sup>438</sup> M. Como, *op. cit.*, pp. 125-128.

<sup>439</sup> *Ibid.*, p. 132.

In ogni punto P interno al solido possono formarsi deformazioni «di carattere puramente estensivo»<sup>440</sup> e le dilatazioni interessano le direzioni non soggette a compressione.

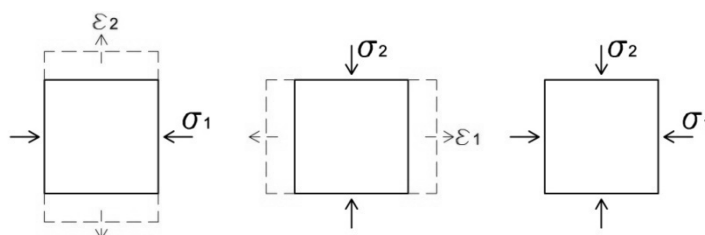


Fig. 4.20 Tensioni e deformazioni nel solido murario (Immagine originale in Como, 2011)

Vale la condizione di normalità:

$$\sigma(P) \cdot \varepsilon(P) = 0 \quad P \in \Omega(u)$$

dove  $\sigma(P)$  e  $\varepsilon(P)$  sono la tensione e la deformazione effettive in P.

Come spiega Como, se consideriamo qualunque stato di sollecitazione ammissibile, non estensivo, in ogni punto P della regione  $\Omega(u)$ , si ha:

$$\sigma(P) \cdot \varepsilon(P) \leq 0 \quad P \in \Omega(u)$$

A questo punto ci chiediamo per quali condizioni dei carichi esterni agenti su una struttura in muratura è garantito l'equilibrio ammissibile. Il problema è stato affrontato e risolto nel 1992 dallo stesso Como, che ha riformulato il principio dei lavori virtuali per i solidi costituiti da materiale rigido a compressione e non reagente a trazione. In sostanza, dopo aver stabilito le condizioni di compatibilità associate a un generico meccanismo virtuale e dopo aver definito le condizioni di equilibrio fra le sollecitazioni interne e i carichi esterni, è possibile definire lo stato di equilibrio ammissibile del solido murario.

In particolare, Como ha dimostrato la validità della disuguaglianza variazionale considerata «*necessaria e sufficiente*» per l'esistenza dell'equilibrio ammissibile:

$$\langle p, \delta u \rangle \leq 0 \quad \forall \delta u \in M$$

in cui p sono i carichi agenti e  $\delta u$  sono i meccanismi, che rappresentano i modi di deformazione del solido. Tale disuguaglianza afferma che «il corpo si trova in uno stato di equilibrio ammissibile sotto l'azione dei carichi p se e solo se non è positivo il lavoro di questi carichi p per ogni possibile deformazione del solido»<sup>441</sup>.

I risultati ottenuti sono stati utili a individuare le proprietà delle murature: per non violare le condizioni di equilibrio ammissibile, in assenza di forze esterne, nelle murature che ammettono meccanismi<sup>442</sup> «*non possono essere presenti tensioni interne, cioè autotensioni, né reazioni vincolari*»<sup>443</sup>. Per questo i sistemi murari sono considerati «*isostatici*»<sup>444</sup>. Da ciò consegue, spiega Como, che nelle murature non sono possibili i collassi di tipo incrementale che interessano i solidi dal comportamento elasto-plastico.

<sup>440</sup> *Ibid.*, p. 135.

<sup>441</sup> *Ibid.*, p. 147.

<sup>442</sup> Come evidenza come alcune strutture in muratura, a seguito della loro geometria e per la presenza di vincoli rigidi, non ammettono meccanismi. Strutture di questo tipo, che hanno infinita resistenza a compressione, sono quindi indeformabili proprio perché non sono possibili cinematismi. L'arco rampante, tipico delle cattedrali gotiche, o le piattabande inserite fra imposte fisse rappresentano due esempi di tali strutture.

*Ibid.*, p. 140 e pp. 180-181.

<sup>443</sup> *Ibid.*, p. 150.

<sup>444</sup> *Ibid.*, p. 150.

Le murature incentrano nel proprio peso la capacità resistente, ma affinché il peso eserciti sempre un adeguato contrasto contro tutti i meccanismi attivabili, è indispensabile che la geometria della struttura rispetti determinate regole di proporzionalità. Viollet-le-Duc aveva intuito tali concetti, tanto che nel suo *Dictionnaire* affermava: «In Architettura le proporzioni si stabiliscono in primo luogo sulle leggi della stabilità, le leggi della stabilità derivano dalla geometria»<sup>445</sup>. Tali posizioni erano mosse dalle critiche rivolte alle osservazioni di Quatremère de Quincy, che, secondo Viollet-le-Duc, propongono «un'idea errata»<sup>446</sup> delle proporzioni. Queste non possano essere intese come «un canone fisso»<sup>447</sup>, bensì come «una scala armonica, una correlazione di rapporti variabili, secondo il modo adottato»<sup>448</sup>. Viollet-le-Duc ha evidenziato come le architetture ideate dagli egiziani, dai greci, dai romani e quelle dei bizantini e degli architetti gotici non siano mai state ostacolate dalle proporzioni, anzi l'introduzione di nuove forme e nuovi linguaggi architettonici deriva proprio dallo studio dei rapporti armonici, dalle relazioni fra pieni e vuoti, fra altezze e larghezze. Egli non era il solo ad aver intuito i termini del problema, fra i trattatisti che abbiamo già richiamato, Nicola Cavalieri di San Bertolo indicava delle vere e proprie “regole”, come la seguente:

§. 616. *Corrispondentemente all'ipotesi, bastevolmente giustificata dall'esperienza, che la resistenza de' solidi allo schiacciamento sia proporzionale all'area della base premuta (§. 169, 505), egli è chiaro che un muro rettangolare di struttura omogenea, gravato semplicemente dal proprio peso, in cui per conseguenza tanto il gravame quanto la resistenza, sopra una lunghezza costante, sono proporzionali alla grossezza, avrà sempre lo stesso grado di stabilità, comunque sia grosso; e che questo grado di stabilità sarà tanto maggiore quanto l'altezza del muro sarà minore di quella, per cui nell'infima sezione orizzontale del solido si facciano vicendevolmente equilibrio la resistenza ed il peso comprimente. Si chiami  $x$  cotesta altezza del muro, per cui si verifica l'equilibrio; e supponendo che sia  $G$  la gravità specifica del muro, e  $V$  la resistenza allo schiacciamento del muro stesso per l'unità superficiale della base premuta, si avrà generalmente  $x = V/G$ . Laonde si deduce che il muro non potrebbe farsi d'un'altezza maggiore di  $V/G$ , e che tanto maggiore sarebbe la sua stabilità quanto più la sua altezza fosse minore di cotesto limite*<sup>449</sup>.

Più recentemente, anche Heyman<sup>450</sup> ha rilevato come la stabilità delle strutture in muratura storicamente sia stata assicurata principalmente dalla forma e non dalla resistenza del materiale. Egli ha spiegato che gli architetti medievali non facevano riferimento a regole matematiche, delle quali non avevano conoscenza, ma si appellavano alla proporzionalità delle parti, ad esempio l'altezza di un piedritto era un multiplo della sua larghezza. Dato che la costruzione degli edifici era basata su semplici proporzioni, era frequente il ricorso a modelli in scala. Questi non servivano solo a simulare l'aspetto dell'edificio, oppure a individuare le possibili soluzioni dei problemi costruttivi che si presentavano, riguardanti soprattutto la stereotomia, quindi il taglio dei conci in pietra e le modalità di assemblaggio, ma tali modelli erano davvero utili a testare l'efficacia delle soluzioni progettuali. La pratica di costruire dei modelli ridotti è stata adottata anche per note architetture italiane, come la Basilica di San Petronio a Bologna oppure la Cattedrale di Santa Maria del Fiore a Firenze, per la cui Cupola, il Brunelleschi aveva realizzato un plastico in mattoni. In realtà, ancora oggi sono assemblati modelli in scala verosimili a quelli reali, ma con finalità diverse e di conseguenza con materiali diversi. Questi modelli servono, ad esempio, per scopi documentali, come si vede alle esposizioni d'architettura

<sup>445</sup> E. E. Viollet-le-Duc, *L'architettura ragionata: estratti dal Dizionario*. Saggio introduttivo, commento e apparati di M. Antonietta Crippa, Jaca Book, Milano, 2002, p. 213.

<sup>446</sup> *Ibid.*, p. 212.

<sup>447</sup> *Ibid.*, p. 213.

<sup>448</sup> *Ibid.*, p. 213.

<sup>449</sup> Nicola Cavalieri di San Bertolo, *Istruzioni di architettura statica e idraulica*, dalla tipografia Cardinali e Frulli, Bologna, 1826-1827, Vol. II, Libro Terzo, Sezione Prima, Capo VII, p. 103, in <<http://www.e-rara.ch/zut/content/titleinfo/4957074>>, Link permanente: <<http://dx.doi.org/10.3931/e-rara-15899>>.

<sup>450</sup> J. Heyman, *op. cit.*, pp. 25-26.

e spesso si ricorre a materiali molto diversi da quelli che si utilizzerebbero per la costruzione dell'edificio. Le attuali stampanti 3D permettono di riprodurre davvero qualunque oggetto, ma è facile capire che la fase di controllo del progetto è già avvenuta on desk, grazie a strumenti e software informatici.

Mario Como evidenzia che una struttura in muratura è soggetta oltre che al peso proprio,  $g$ , anche a un carico accidentale  $q$  «variabile sulla struttura secondo le diverse condizioni di carico e che pensiamo affetto da un moltiplicatore  $\lambda$ »<sup>451</sup>. Un concetto espresso anche dalle NTC che classificano le azioni agenti sulle strutture «secondo la variazione della loro intensità nel tempo»<sup>452</sup>:

- a) *permanenti (G): azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti nel tempo:*  
[...]

All'interno di questo gruppo devono essere incluse sia le azioni dovute al peso proprio di tutti gli elementi strutturali e non, sia spostamenti e deformazioni imposti, che pretensioni e precompressioni, nonché il ritiro e la viscosità e infine gli spostamenti differenziali. Accanto al gruppo dei carichi  $G$ , la normativa considera, inoltre, le seguenti azioni:

- b) *variabili (Q): azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:*  
[...]
- c) *eccezionali (A): azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura;*  
[...]
- d) *sismiche (E): azioni derivanti dai terremoti.*

Il peso proprio della struttura rappresenta il carico resistente della stessa, dunque è il peso proprio a dover esercitare un efficace contrasto nei confronti di qualunque meccanismo attivabile. Gli altri carichi, quelli che sono considerati come accidentali e che la normativa distingue in tre sottogruppi, rappresentano i carichi spingenti. In relazione alla distribuzione dei carichi accidentali esiste almeno un meccanismo  $u$  lungo il quale tali carichi compiono lavoro positivo e spetta al peso proprio della struttura il compito di resistere all'azione spingente.

Una struttura raggiunge il collasso quando il carico agente assume un certo valore critico,  $\lambda_c$ , che rappresenta il moltiplicatore di collasso dei carichi. È quindi violata la precedente disuguaglianza variazionale. Il collasso si verifica per perdita di equilibrio senza alcun cedimento del materiale e si manifesta attraverso l'insorgere di un meccanismo di collasso,  $u_c$ , lungo il quale i carichi esterni agenti sulla struttura compiono lavoro positivo.

Quanto finora descritto costituisce premessa essenziale per la validità dei teoremi fondamentali dell'analisi limite: quello statico e quello cinematico. Senza ripercorrere la dimostrazione dei teoremi, il primo asserisce:

*se esiste equilibrio ammissibile tra i carichi  $g+\lambda q$  e le tensioni interne,  $\sigma^-(P)$  [...] i carichi agenti non sono più elevati di quelli di collasso. Quindi*

$$\lambda^- \leq \lambda_c \quad 453$$

<sup>451</sup> M. Como, *op. cit.*, p. 156.

<sup>452</sup> Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, par. 2.5.1.3 *Classificazione delle azioni secondo la variazione della loro intensità nel tempo.*

<sup>453</sup> M. Como, *op. cit.*, p. 164.

Il moltiplicatore di collasso rappresenta il più grande fra i moltiplicatori corrispondenti a stati di tensione equilibrati e ammissibili, il moltiplicatore di collasso è quindi il più grande fra quelli staticamente ammissibili.

Analogamente, il teorema cinematico, partendo dall'ipotesi che la struttura sia soggetta all'azione dei carichi  $g+\lambda^+q$ , afferma che:

$$\lambda^+ \geq \lambda_c \quad 454$$

dunque, il moltiplicatore di collasso è il più piccolo fra quelli associati a meccanismi compatibili, detto altrimenti, il moltiplicatore di collasso è il più piccolo fra i moltiplicatori cinematicamente ammissibili.

Il teorema statico consente di individuare le soluzioni equilibrate, permettendo di capire se alla presenza di determinati carichi la struttura possa essere o no sicura, mentre il teorema cinematico fornisce una stima delle risorse ultime della costruzione.

Gli edifici esistenti in muratura sono soggetti sia a meccanismi locali sia a meccanismi d'insieme, come si preciserà meglio in seguito. I primi coinvolgono singoli pannelli di muratura, i secondi interessano l'intera costruzione. La sicurezza degli edifici deve essere garantita nei confronti di entrambi i meccanismi. Quelli locali possono essere valutati con l'analisi limite dell'equilibrio, che si avvale proprio dei teoremi richiamati. Tale approccio consente di modellare la struttura come un insieme di elementi rigidi, soggetti a deformazioni plastiche, in questo modo si ottengono soltanto i valori del carico di collasso o carico limite e sono trascurate le deformazioni elastiche.

Le analisi elastiche, invece, consentono di valutare la distribuzione delle tensioni durante la vita della costruzione. In particolare, l'analisi elastica lineare, pur avendo il vantaggio di essere supportata da conoscenze teoriche validate, può essere considerata applicabile solo per bassi valori delle tensioni, per questo non è un'analisi consigliata per lo studio del comportamento delle murature. Per valutare la risposta globale dell'edificio all'azione del sisma si ricorre all'analisi elastica non lineare, che è considerata una «tecnica “al passo”»<sup>455</sup>, quindi il carico è incrementato gradualmente e i parametri che descrivono lo stato del sistema sono aggiornati a poco a poco. I risultati di questa analisi sono condizionati dalla scelta dei passi di carico e in generale dalla modellazione della costruzione. Un approccio alternativo è dunque quello basato sugli elementi finiti<sup>456</sup>, che può essere applicato per svolgere analisi lineari e non lineari.

#### 4.1.4 Caratteristiche Meccaniche delle Murature

In relazione alle classificazioni delle tipologie murarie proposte sembra che il termine “muratura” possa essere utilizzato per indicare un esteso gruppo di costruzioni prodotte attraverso la combinazione di materiali e tecniche diverse, le murature sono quindi un materiale eterogeneo. Le NTC<sup>457</sup> annoverano fra gli elementi resistenti, di impiego nelle murature, quelli artificiali, in laterizio o calcestruzzo, ovvero gli elementi naturali, dunque i

<sup>454</sup> *Ibid.*, p. 172.

<sup>455</sup> AA. VV., *Manuale delle murature storiche*, Volume I, direttore scientifico A. Borri, a cura di C. Donà, A. De Maria, D.E.I. tipografia del Genio Civile, Roma, 2011, p. 345.

<sup>456</sup> *Ibid.*, p. 346.

<sup>457</sup> Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, par. 4.5.2 *Materiali e caratteristiche tipologiche* e par. 11.10.1 *Elementi per muratura*.



materiali lapidei, mentre l'Eurocodice 6<sup>458</sup> considera anche gli elementi in silicato di calcio. Entrambe le normative fanno riferimento alle norme europee armonizzate UNI EN 771-1, 771-2, 771-3, 771-4, 771-5, 771-6, rispettivamente per elementi di laterizio, di silicato di calcio, di calcestruzzo vibrocompresso (aggregati pesanti e leggeri), di calcestruzzo areato in autoclave, di pietra artificiale e di pietra naturale. Inoltre, sia le NTC sia l'Eurocodice 6 fanno riferimento alle prove di accettazione del materiale, da eseguire su almeno tre campioni, fissate dalla UNI EN 772-1:2002.

Le prescrizioni sugli elementi artificiali delle NTC riguardano le forature, che possono essere disposte sia nella direzione normale al piano di posa, sia in quella parallela. Le percentuali di foratura ammessa e l'area della sezione dei fori sono indicate nelle tabelle 4.5.1a-b.

**Tabella 4.1 - Tabella 4.5.1a - Classificazione elementi in laterizio**

Elementi	Percentuale di foratura $\varphi$	Area f della sezione normale del foro
Pieni	$\varphi \leq 15\%$	$f \leq 9 \text{ cm}^2$
Semipieni	$15\% < \varphi \leq 45\%$	$f \leq 12 \text{ cm}^2$
Forati	$45\% < \varphi \leq 55\%$	$f \leq 15 \text{ cm}^2$

**Tabella 4.2 - Tabella 4.5.1b - Classificazione elementi in calcestruzzo**

Elementi	Percentuale di foratura $\varphi$	Area f della sezione normale del foro	
		$A \leq 900 \text{ cm}^2$	$A > 900 \text{ cm}^2$
Pieni	$\varphi \leq 15\%$	$f \leq 0,10 A$	$f \leq 0,15 A$
Semipieni	$15\% < \varphi \leq 45\%$	$f \leq 0,10 A$	$f \leq 0,15 A$
Forati	$45\% < \varphi \leq 55\%$	$f \leq 0,10 A$	$f \leq 0,15 A$

Per gli elementi naturali la norma stabilisce che le pietre utilizzate non debbano essere friabili o sfaldabili, che queste siano resistenti al gelo e che non contengano sostanze solubili oppure residui organici.

Le malte sono delle miscele costituite da legante, sabbia e acqua; sia le NTC sia l'Eurocodice 6 stabiliscono che le malte devono essere conformi alle disposizioni della UNI EN 998-2. Le malte a prestazione garantita sono classificate in base alla resistenza a compressione,  $f_m$ , che è espressa dalla lettera M seguita proprio dal valore della resistenza a compressione, come indica la tabella 11.10.III delle NTC.

**Tabella 4.3 - Tabella 11.10.III - Classi di malte a prestazione garantita**

Classe	M 2,5	M 5	M 10	M 15	M 20	M d
Resistenza a compressione in $\text{N/mm}^2$	2,5	5	10	15	20	d
d è una resistenza a compressione maggiore di $25 \text{ N/mm}^2$ dichiarata dal produttore						

La classificazione delle malte della normativa attualmente vigente differisce da quella del D. M. LL. PP. 20/11/1987 - *Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento*, che considerava solo quattro categorie:

- $12 \text{ N/mm}^2$  [ $120 \text{ Kg/cm}^2$ ] per la malta M1;
- $8 \text{ N/mm}^2$  [ $80 \text{ Kg/cm}^2$ ] per la malta M2;
- $5 \text{ N/mm}^2$  [ $50 \text{ Kg/cm}^2$ ] per la malta M3;
- $2,5 \text{ N/mm}^2$  [ $25 \text{ Kg/cm}^2$ ] per la malta M4.

<sup>458</sup> Eurocodice 6 - Progettazione delle strutture di muratura - Parte 1-1, par. 3.1.1 *Tipi di elementi resistenti per muratura*.

Le malte possono essere classificate anche in base alla composizione in volume, in questo caso si definiscono malte a composizione prescritta e possiamo far riferimento alla tabella 11.10.IV delle NTC.

**Tabella 4.4 - Tabella 11.10.IV - Classi di malte a composizione prescritta**

Classe	Tipo di malta	Composizione				
		Cemento	Calce aerea	Calce idraulica	Sabbia	Pozzolana
M 2,5	Idraulica	-	-	1	3	-
M 2,5	Pozzolonica	-	1	-	-	3
M 2,5	Bastarda	1	-	2	9	-
M 5	Bastarda	1	-	1	5	-
M 8	Cementizia	2	-	1	8	-
M 12	Cementizia	1	-	-	3	-

La classificazione risulta essere abbastanza simile a quella del D. M. LL. PP. 20/11/1987, le differenze riguardano prima di tutto le denominazioni adottate, infatti, alle classi M 2,5 delle NTC corrispondono le classi M4 della vecchia normativa, analogamente alla M 5 corrisponde la M3, alla M 8 corrisponde la precedente M2, alla M 12 si associa la M1; un'altra differenza riguarda l'espressione delle proporzioni della malta M 8, ex M2, che prevedeva una parte di cemento, mezza di calce idraulica e quattro parti di sabbia.

Inoltre, le normative di riferimento, le NTC e l'Eurocodice 6, per la determinazione della resistenza a compressione delle malte, ricorrono alle disposizioni delle norma UNI EN 1015 - 11:2007, mentre il D. M. LL. PP. 20/11/1987 faceva riferimento alle modalità fissate dal D. M. 03/06/1968.

Le caratteristiche meccaniche delle murature, secondo le NTC devono essere valutate sulla base della resistenza caratteristica a compressione  $f_k$ , della resistenza caratteristica a taglio in assenza di azione assiale  $f_{vk0}$ , del modulo di elasticità normale secante  $E$ , del modulo di elasticità tangenziale secante  $G$ <sup>459</sup>.

I valori dei parametri sopra considerati possono essere ottenuti sperimentalmente, ricorrendo quindi a prove di laboratorio oppure possono essere ricavati da stime effettuate in sede di progetto, sulla base delle indicazioni fornite dalle stesse NTC.

Per valutare in laboratorio la resistenza a compressione di campioni di materiali lapidei o di laterizio, ossia quelli tipici delle strutture in muratura, può essere condotta sia una prova monoassiale di compressione, in cui il campione è soggetto a uno stato di sforzo verticale, sia delle prove biassiali o triassiali, in cui intervengono anche stati di sforzo orizzontali.

Richiamiamo, in particolare, i risultati di una campagna sperimentale di studi, eseguita presso l'Università di Pavia nell'ambito del progetto CNR-GNDT sui materiali componenti di un prototipo di edificio in muratura<sup>460</sup>, realizzata negli anni Novanta del Novecento. Per determinare le caratteristiche chimico-fisiche di malte e mattoni impiegati nonché le caratteristiche meccaniche dei singoli materiali, la ricerca si è avvalsa anche delle prove eseguite presso il Laboratorio Prove Materiali del Politecnico di Milano.

Le prove sono state eseguite su venti mattoni disposti nella direzione normale allo spessore e su dieci mattoni disposti nelle altre giaciture, rispettando le disposizioni del D. M. LL. PP. 20/11/1987, allora vigente, secondo cui la determinazione della resistenza caratteristica degli elementi resistenti doveva essere condotta sottoponendo dieci

<sup>459</sup> Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, par. 4.5.3 *Caratteristiche meccaniche delle murature*.

<sup>460</sup> L. Binda, G. Mirabella Roberti, C. Tiraboschi, *Problemi di misura dei parametri meccanici della muratura e dei suoi componenti*, Atti del Convegno Nazionale «La Meccanica delle Murature tra Teoria e Progetto», 18-20 settembre 1996, Messina, <<http://www.reluis.it/dbuninadist/foto/059.pdf>>.

elementi a compressione con direzione del carico normale al letto di posa<sup>461</sup>. Queste disposizioni sono state ribadite anche dalle NTC.

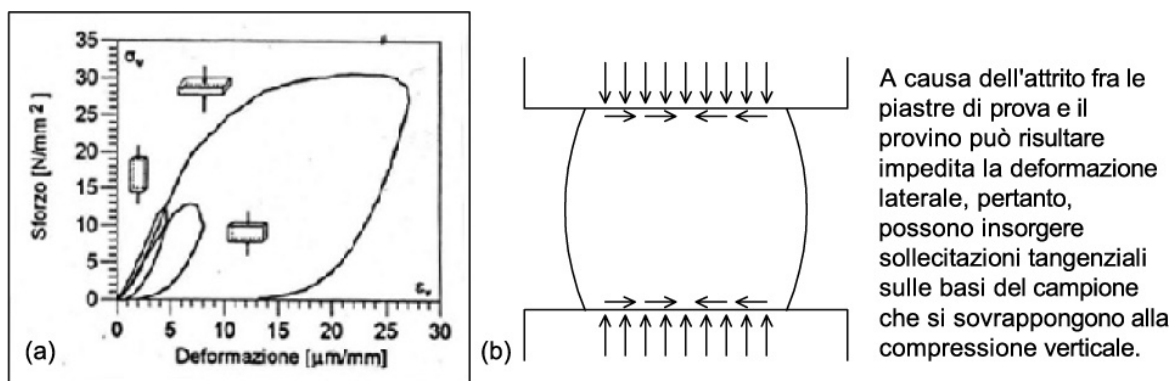


Fig. 4.21 (a) Curve sforzi-deformazioni relative a mattoni interi (in Binda et al., 1996)

(b) Effetti dell'attrito fra campione e piastre di carico (Immagine originale in Como, 2011)

Uno dei primi risultati delle prove, aveva evidenziato che la resistenza del laterizio messo per fascia era quasi tre volte quella delle altre disposizioni. Il risultato ottenuto non era motivato solo dall'anisotropia del materiale, ma era dovuto anche al contenimento delle piastre della macchina di prova. Lo spessore assai limitato del mattone disposto per fascia non rispettava i rapporti dimensionali necessari per limitare il disturbo dovuto all'attrito fra le piastre della macchina e il campione di laterizio, durante la misurazione degli spostamenti. Per ovviare il problema si possono ricavare dei provini artificiali e si può ridurre l'attrito fra le piastre e il provino utilizzando l'acido stearico. Un altro sistema, per facilitare l'espansione libera del provino, si basa sull'impiego di piatti a spazzola che riducono la continuità nel contatto tra provino e piastre<sup>462</sup>.

Le prove di trazione, invece, sono di più difficile esecuzione soprattutto per la difficoltà che si incontra nell'applicare il carico di trazione al provino e, nella ricerca citata, si evidenzia che le difficoltà sono dovute anche alla porosità del materiale e alla limitata resistenza del campione alla trazione, per questo si ricorre a prove di trazione indiretta. Queste possono essere di due tipi: la prova a flessione oppure la prova cosiddetta brasiliana.

Prove analoghe, sia di compressione che di trazione, possono essere effettuate anche per saggiare il comportamento delle malte, sebbene non risulti semplice riprodurre malte uguali a quelle che si trovano negli edifici storici. Le prove devono essere eseguite su tre campioni di dimensioni 40x40x160 mm, come stabiliva già il D. M. LL. PP. 20/11/1987 e come dispongono le NTC, che fanno riferimento alla norma armonizzata UNI EN998-2. I provini prismatici sono sottoposti a rottura per flessione, poi utilizzando le sei metà rimaste si esegue la prova di compressione.

Le prove effettuate su pannelli di muratura, invece, sono relazionate oltre che alle modalità di posa in opera degli elementi utilizzati, anche alle proprietà chimico-fisiche dei materiali. Durante la ricerca citata sono state eseguite sette prove di compressione monoassiale su prismi di muratura composti da cinque o sei laterizi con interposta malta, così da ottenere campioni di dimensioni 250x120x360 oppure 380 mm. Uno dei diagrammi sforzo-deformazione ottenuto dalle prove, in Figura 4.22, evidenzia come nella fase di carico la curva del diagramma presenti due tratti lineari, il cambio di pendenza si verifica intorno al 30% del carico di rottura, cui corrisponde un significativo aumento della deformazione del giunto di malta, rispetto a quella del mattone.

<sup>461</sup> D. M. LL. PP. 20/11/1987 - Allegato 2, par. 2.1.1 Resistenza a compressione della muratura.

<sup>462</sup> M. Como, *op. cit.*, pp. 39-43.

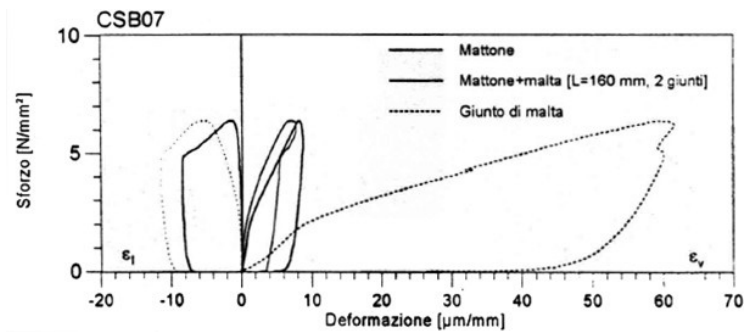


Fig. 4.22 Diagramma sforzi-deformazioni di un campione prismatico di muratura (in Binda et al., 1996)

Gli studi sono poi proseguiti su un prisma di muratura di dimensioni maggiori (250x520x1100 mm), ma i risultati ottenuti hanno confermato, come evidenziava già la prova effettuata sul prisma più piccolo, che le deformazioni laterali predominavano su quella verticale e prevaleva la deformazione nella direzione del lato più corto.

Osservando i diagrammi sforzo-deformazione, relativi ai campioni di muratura e ai suoi componenti (Fig. 4.23) si osserva l'impossibilità di trovare delle correlazioni fra i parametri dei singoli materiali e quelli del composto, senza tener conto della variabilità delle caratteristiche dei mattoni, anche all'interno dello stesso elemento. I prismi di muratura, anche se di piccole dimensioni, possono essere considerati sufficientemente rappresentativi per comprendere il comportamento a compressione della muratura.

Confrontando, inoltre, il grafico dei blocchi impilati e quello dei campioni di muratura si rileva che i primi hanno una resistenza maggiore, sebbene ciò, in tutti i casi, il collasso è improvviso e avviene quindi in modo fragile.

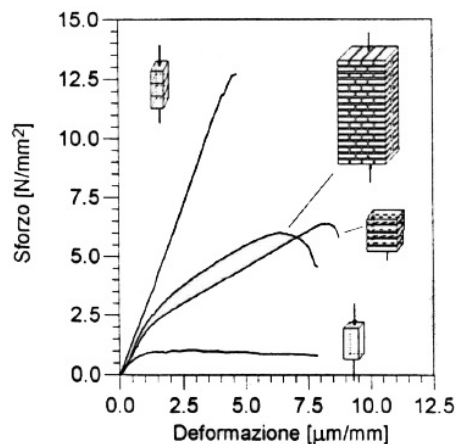


Fig. 4.23 Confronto dei diagrammi sforzi-deformazioni fra i campioni di muratura e i suoi componenti (in Binda et al., 1996)

Nel diagramma sforzo-deformazione dei provini in muratura, sia piccolo che grande, dopo i primi due tratti, in cui all'aumento del carico corrisponde un aumento della deformazione, segue il ramo della curva in cui l'aumento della deformazione avviene con la diminuzione del carico agente. Al crescere della compressione, l'espansione della malta rispetto a quella dei laterizi è molto maggiore, come evidenziato, quindi fra i letti di malta e i mattoni insorge un'interazione tangenziale.

Accanto alle indicazioni sul confezionamento e sulle modalità di prova per determinare sperimentalmente la compressione su  $n$  muretti ( $n \geq 6$ ), la stima della resistenza caratteristica a compressione, di una muratura formata da elementi artificiali pieni o semipieni, in sede di progetto, può essere condotta sulla base della tabella fornita dalle NTC: il valore di  $f_k$  «può essere dedotto dalla resistenza a compressione degli elementi e dalla classe di appartenenza della malta».

**Tabella 4.5 - Tabella 11.10.V - Valori di  $f_k$  per murature in elementi artificiali pieni o semipieni (valori in  $N/mm^2$ )**

Resistenza caratteristica a compressione $f_{bk}$ dell'elemento $N/mm^2$	Tipo di malta			
	M15	M10	M5	M2,5
2,0	1,2	1,2	1,2	1,2
3,0	2,2	2,2	2,2	2,0
5,0	3,5	3,4	3,3	3,0
7,5	5,0	4,5	4,1	3,5
10,0	6,2	5,3	4,7	4,1
15,0	8,2	6,7	6,0	5,1
20,0	9,7	8,0	7,0	6,1
30,0	12,0	10,0	8,6	7,2
40,0	14,3	12,0	10,4	--

La normativa fornisce un'analogia tabella per le murature realizzate in pietra naturale. Inoltre, il capitolo 7 della stessa, dedicato alla *Progettazione per azioni sismiche*, dispone: «resistenza caratteristica a rottura nella direzione portante ( $f_{bk}$ ), calcolata sull'area al lordo delle forature, non inferiore a 5 MPa; resistenza caratteristica a rottura nella direzione perpendicolare a quella portante ossia nel piano di sviluppo della parete ( $\bar{f}_{bk}$ ), calcolata nello stesso modo, non inferiore a 1,5 MPa».

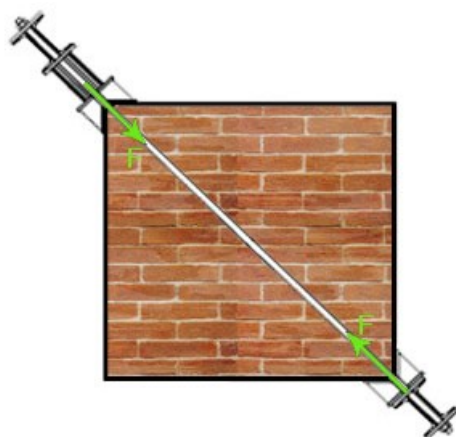
La resistenza a taglio<sup>463</sup> di una muratura può essere valutata ricorrendo ancora una volta a prove sperimentali, come quella di taglio compressione o la prova di compressione diagonale. Negli ultimi decenni sono state effettuate, in varie occasioni, prove di questo tipo, in particolare, la prova di taglio compressione è stata adottata da Sheppard nel 1980 e in Italia Vignoli e altri l'hanno sperimentata nel 1999, mentre la prova di compressione diagonale si basa sulle prescrizioni della normativa americana ASTM E 519-81 (1981).

Nella prova di taglio compressione il pannello risulta sottoposto a una sollecitazione di compressione verticale, costante nel tempo e uniforme. L'azione tagliante viene applicata nella mezzeria del pannello attraverso un profilato UPN collegato a due barre di acciaio, in modo da distribuire lo sforzo su tutto lo spessore del pannello. Le deformazioni sono registrate dai trasduttori LVDT che sono opportunamente posizionati per misurare gli spostamenti orizzontali e verticali: otto sulla superficie frontale, sei sui lati del pannello e due in sommità. Inoltre, per evitare fessurazioni dovute alla flessione e per misurare correttamente lo sforzo di taglio nel semipannello superiore è disposta orizzontalmente sulla sommità laterale dei pannelli una coppia di martinetti.

Nel caso della prova di compressione diagonale<sup>464</sup> il provino è costituito da un pannello di dimensioni 120x120 cm e spessore massimo di 70 cm. Nella prova effettuata in situ, è necessario isolare la parte di muratura campione attraverso quattro tagli realizzati mediante filo diamantato o sega circolare, sebbene il pannello rimanga comunque ancorato alla base. L'attrezzatura è invece rappresentata da elementi metallici disposti in due angoli opposti del pannello. In uno dei due spigoli è collocato il martinetto che agisce fra due parti metalliche: quella interna è a diretto contatto con lo spigolo del pannello, quella esterna, tramite barre d'acciaio, è collegata all'altro angolare metallico, collocato sullo spigolo opposto del campione. Le deformazioni subite durante la prova sono misurate attraverso quattro trasduttori LVDT (Linear Variable Displacement Transducer) disposti lungo le diagonali del pannello stesso.

<sup>463</sup> A. Borri, M. Corradi, A. Vignoli, *Il problema della valutazione della resistenza a taglio della muratura mediante prove sperimentali*, Atti del XIV Convegno ANIDIS 2013 «L'Ingegneria Sismica in Italia», Potenza - Matera, 9-13 settembre 2001.

<sup>464</sup> M. Corradi, A. Borri, A. Vignoli, *Experimental study on the determination of strength of masonry walls*, in «Construction and Building Material», Elsevier, n. 17, 2003, pp. 325-337.



**Fig. 4.24 Prova a compressione diagonale: disposizione della strumentazione**  
(Immagine originale in Borri et al., 2001)

Il campione di muratura risulta sottoposto a sollecitazioni di taglio agenti lungo le direzioni ortogonali parallele ai giunti di malta. La prova consente la valutazione della capacità dei giunti di impedire lo scorrimento dei blocchi e gli eventuali ribaltamenti.

Come hanno evidenziato tali prove, il pannello può collassare in modi diversi<sup>465</sup>, in relazione alle cause. La rottura a trazione diagonale può coinvolgere anche i laterizi, questa si verifica nel centro del pannello ed è dovuta alla buona qualità della malta utilizzata e all'elevata aderenza ai laterizi. Lo scorrimento orizzontale dei filari, al contrario, è dovuto alla cattiva qualità della malta. Questo fenomeno si riscontra per lo più nelle zone del pannello disposte più in alto, che sono meno vincolate dai filari soprastanti. Infine, il distacco, lo scorrimento e il ribaltamento del pannello si verificano non solo a causa della bassa resistenza della malta, ma anche per la presenza di carichi assiali rilevanti. In quest'ultimo caso, i danneggiamenti interessano il maschio murario fino alla base.

Lesioni come quelle appena descritte sono state riscontrate su diversi edifici, sia nel caso del terremoto che ha colpito diverse località abruzzesi nel 2009, sia dopo il sisma in Emilia del 2012. A seguito dell'ultimo evento citato sono state individuate, prima di tutto, le tipologie murarie più ricorrenti<sup>466</sup> del territorio, ossia murature in mattoni cotti o crudi.

Sembra che per ragioni economiche fosse frequente realizzare una fodera esterna in laterizi ben cotti, così da proteggere l'edificio dalle intemperie naturali, e una fodera interna fatta di mattoni crudi. Talvolta i due paramenti di ortostati erano soltanto accostati, senza nessun collegamento, in altri casi erano usati anche diatoni.

Una seconda tipologia individuata è quella costituita da una muratura di soli diatoni. Il comportamento esibito durante il sisma da questa tipologia ha dimostrato l'inefficienza del sistema costruttivo, per la comparsa di fessure lungo i giunti di malta, senza la rottura dei mattoni (Fig. 4.25).

Un altro tipo di paramento osservato nel territorio emiliano è «la muratura in mattoni multistrato» che è stata riscontrata soprattutto nelle chiese o nei campanili, dunque in edifici di una certa altezza. Questa muratura era fatta con due paramenti esterni in alcuni casi ben collegati e da strati interni di materiale disposto, a volte, casualmente. Nella stessa area territoriale esistono, anche se in minoranza, altre tipologie basate sull'impiego del laterizio.

<sup>465</sup> M. Como, *op. cit.*, pp. 77-80.

<sup>466</sup> A. Borri, G. Cangi, A. De Maria, *Caratterizzazione meccanica delle murature (anche alla luce del recente sisma in Emilia) e interpretazione delle prove sperimentali a taglio*, Atti del XIV Convegno ANIDIS 2013 «L'Ingegneria Sismica in Italia», Padova, 30 giugno - 4 luglio 2013.

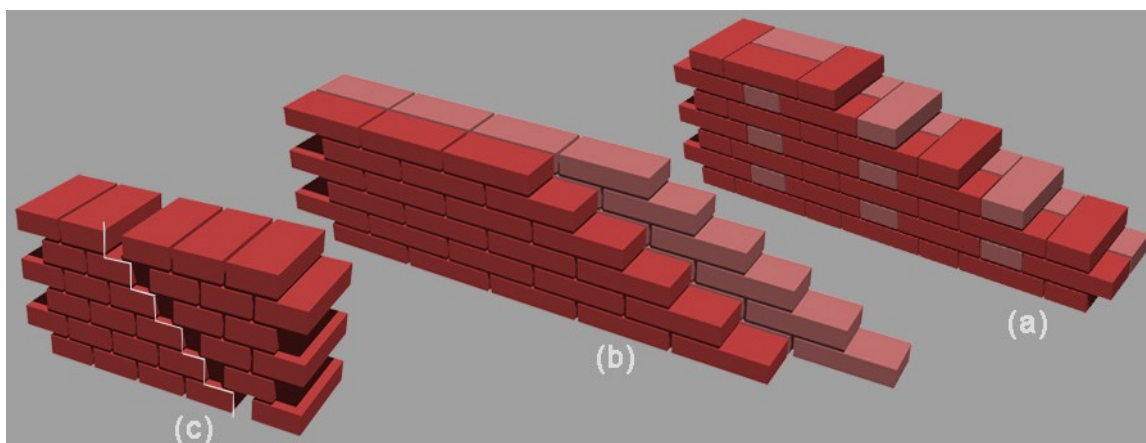


Fig. 4.25 Murature a due teste: (a) con diatoni e ortostati, (b) con soli ortostati, (c) con soli diatoni

I ricercatori hanno osservato che «le tipologie murarie emiliane spesso non sono fra quelle contemplate nelle tabelle delle NTC 2008»<sup>467</sup> e per questo hanno ritenuto utile effettuare prove sperimentali a taglio su un edificio reale, che è stato individuato nel Comune di San Felice sul Panaro (MO), destinato alla demolizione per via dei forti danneggiamenti subiti. Si trattava di un fabbricato di tre piani in laterizi cotti, con malta apparentemente di cattiva qualità. Evidenziamo che la prova di taglio compressione, che è stata eseguita sulla muratura non rinforzata con una tensione verticale di compressione di circa 0,19 MPa, ha fatto registrare una resistenza media tangenziale della muratura  $\tau_0$  pari a 5,7 N/cm<sup>2</sup>. Questo valore è risultato circa il triplo di quello ottenuto con prova di compressione diagonale relativa alla stessa muratura, della stessa parete, dello stesso edificio (dimensioni pannello: 118x120x28 cm; carico di rottura: 19,6 KN; resistenza a taglio  $\tau_0 = 1,89$  N/cm<sup>2</sup>).

I valori della resistenza media tangenziale risultano evidentemente inferiori, soprattutto quelli ottenuti con la prova di compressione diagonale, dei valori indicati dalla Tabella C8A.2.1, relativa agli edifici esistenti, della Circolare del 02/02/2009, n. 617, *Istruzione per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008*, già riportata in § 3.3.1, secondo cui per muratura in mattoni pieni e malta di calce deve assumersi  $\tau_0$  compreso fra 6,0 e 9,2 N/cm<sup>2</sup>.

La differenza fra le due prove sta nell'applicare o meno un'azione di compressione normale al piano di scorrimento. Per capire quali risultati fossero più attendibili, data la notevole differenza fra gli esiti delle prove e in assenza di precise indicazioni normative, i ricercatori si sono avvalsi di osservazioni dirette sui pannelli in mattoni e malta, che hanno dimostrato come nella prova di taglio compressione la rottura avvenga con uno scorrimento orizzontale, mentre con la prova di compressione diagonale è presente anche una componente di scorrimento verticale. E' stato quindi ipotizzato che il contributo resistente di natura coesiva, definito «"proprio del materiale"» e quello dell'attrito non agiscono separatamente durante la rottura del pannello assoggettato a sollecitazioni di taglio e compressione. Con queste ipotesi i ricercatori hanno proposto il «criterio unificato di Turnsek Cacovic Coulomb (TCC) per l'interpretazione della rottura a taglio in prove di taglio compressione su pannelli murari»<sup>468</sup>. I valori della resistenza media tangenziale, forniti dalla prova di taglio compressione, con il criterio di Turnsek Cacovic, che si appella alle risorse proprie del materiale, sono stati confrontati con quelli dati dal criterio unificato di Turnsek Cacovic Coulomb, basato sulla constatazione che la muratura non è un materiale omogeneo e isotropo ed è quindi importante considerare anche il contributo del termine attritivo, descritto dalla legge di Coulomb<sup>469</sup>. I valori ottenuti in quest'ultimo caso sono assai più vicini a quelli ottenuti con la prova di compressione diagonale. Questi

<sup>467</sup> Ibid..

<sup>468</sup> Ibid..

<sup>469</sup> Per il criterio di Coulomb, approfondimenti in M. Como, *op. cit.*, p. 124.



risultati, solo brevemente menzionati, hanno indotti i ricercatori a ritenere che il valore corretto di  $\tau_0$  sia proprio quello ottenuto con la prova di compressione diagonale.

Le NTC, riguardo la determinazione della resistenza caratteristica a taglio in assenza di tensioni normali, analogamente a quanto disposto per la resistenza a compressione, prevede sia la possibilità di ricorrere a prove sperimentali, sia la possibilità, in sede di progetto, di effettuare una stima in funzione dei materiali componenti la muratura. In quest'ultima ipotesi è possibile far riferimento alla seguente tabella.

**Tabella 4.6 - Tabella 11.10.VII - Resistenza caratteristica a taglio in assenza di tensioni normali  $f_{vk0}$  (valori in  $N/mm^2$ )**

Tipo di elemento resistente	Resistenza caratteristica a compressione $f_{bk}$	Classe di malta	$f_{vk0}$ ( $N/mm^2$ )
Laterizio pieno e semipieno	$f_{bk} > 15$	$M10 \leq M \leq M20$	0,30
	$7,5 < f_{bk} \leq 15$	$M5 \leq M \leq M10$	0,20
	$f_{bk} \leq 7,5$	$M2,5 \leq M \leq M5$	0,10
Calcestruzzo; Silicato di calce; Cemento autoclavato; Pietra naturale squadrata.	$f_{bk} > 15$	$M10 \leq M \leq M20$	0,20
	$7,5 < f_{bk} \leq 15$	$M5 \leq M \leq M10$	0,15
	$f_{bk} \leq 7,5$	$M2,5 \leq M \leq M5$	0,10

La normativa<sup>470</sup> precisa ancora che in presenza di tensioni di compressione,  $f_{vk}$  rappresenta la resistenza dovuta all'effetto combinato sia delle forze orizzontali sia dei carichi verticali agenti nel piano del muro e può essere stimato come segue:

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4 \sigma_n$$

in cui:

$f_{vk0}$  è la resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali;

$\sigma_n$  è la tensione normale media dovuta ai carichi verticali agenti nella sezione di verifica.

Occorre verificare che:

$$f_{vk} \leq f_{vk,lim} = 1,4 \bar{f}_{bk}$$

dove:

$f_{vk,lim}$  indica il valore massimo della resistenza caratteristica a taglio che può essere impiegata nel calcolo;

$\bar{f}_{bk}$  è il valore caratteristico della resistenza degli elementi in direzione orizzontale e nel piano del muro, da ricavare secondo le modalità descritte nella UNI EN 771.

Per definire completamente le caratteristiche meccaniche della muratura occorre conoscere anche quali sono i valori del modulo di elasticità normale secante  $E$  e del modulo di elasticità tangenziale secante  $G$ . Le NTC, cui abbiamo fatto costantemente riferimento, rinnovano ancora la possibilità di ricorrere a prove sperimentali, secondo le modalità della UNI EN 1052-1:2001, oppure di assumere, in sede di progetto, i valori forniti dalla stessa normativa. In quest'ultimo caso, vale quanto segue:

- modulo di elasticità normale secante  $E = 1000 f_k$

- modulo di elasticità tangenziale secante  $G = 0.4 E$

dove  $f_k$  è la resistenza caratteristica a compressione della muratura.

<sup>470</sup> Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, par. 11.10.3.3 Resistenza caratteristica a taglio.

Se le azioni agenti sono contenute, in modo che sia la malta che i blocchi in pietra o i laterizi sono sollecitati in campo elastico, allora il modulo elastico caratterizza la risposta *istantanea* della muratura, come ha evidenziato ancora Mario Como. Questo modulo è stato definito «*modulo elastico istantaneo*»<sup>471</sup> perché i fenomeni lenti, causati dalla viscosità della malta e dal suo ritiro, incidono sulla deformazione delle murature nel tempo. Il modulo di elasticità della muratura dipende oltre che da quello dei blocchi di pietra o di laterizio e dal modulo elastico della malta anche dal rapporto fra lo spessore dei letti di malta e l'altezza dei blocchi impiegati. Se tale rapporto è trascurabile rispetto a quello fra il modulo elastico della malta e il modulo elastico dei blocchi allora è ragionevole assumere come modulo elastico della muratura quello dei blocchi. In caso contrario si potrà assumere il valore del modulo elastico della malta<sup>472</sup>.

Importanti osservazioni sono state avanzate sulle deformazioni viscosi nelle malte<sup>473</sup>. Gli studi sono stati condotti valutando il comportamento di un campione di materiale sottoposto a una sollecitazione di compressione  $\sigma$ , costante per un certo intervallo di tempo, che viene poi rimossa.

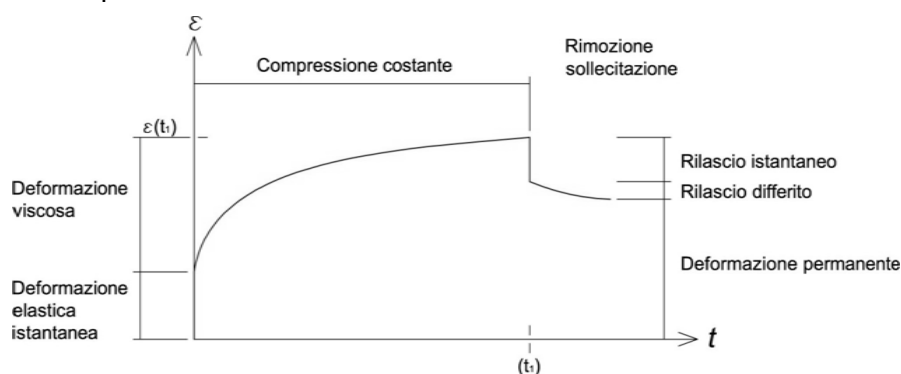


Fig. 4.26 Comportamento visco - elastico della malta (Immagine originale in Como, 2011)

Dopo la deformazione istantanea  $\varepsilon(0)$ , il provino continuerà a deformarsi lentamente nel tempo, se sottoposto sempre alla stessa sollecitazione di compressione. Se la malta avesse esibito un comportamento puramente elastico, non ci sarebbe stato alcun incremento di deformazione. Dopo un certo periodo di tempo il provino è scaricato: una parte della deformazione è recuperata, quella elastica iniziale; è recuperata lentamente anche una parte della deformazione residua, ma resterà comunque una deformazione permanente non trascurabile, relazionata al periodo di tempo in cui il campione è stato mantenuto sotto carico. Questo fenomeno, che rappresenta il fluage o creep della malta, analogamente a quanto avviene nel calcestruzzo, influenza il comportamento della muratura, che sarà soggetta a deformazioni variabili nel tempo.

Le deformazioni viscosi della malta producono nella muratura deformazioni variabili nel tempo. Per questo è anche utile valutare la deformazione della muratura soggetta a una compressione costante a effetti viscosi esauriti, determinando il cosiddetto modulo di elasticità differito della muratura<sup>474</sup>.

L'Eurocodice 6<sup>475</sup>, pur evidenziando che le caratteristiche di deformazione della muratura dovrebbero essere determinate «preferibilmente» attraverso prove, fornisce nel prospetto 3.8 – *Caratteristiche di deformazione della muratura non armata realizzata con malta ordinaria*, dei valori di progetto «attendibili», in cui si introduce un coefficiente di deformazione viscosa finale  $\phi_{\infty} = \varepsilon_{c\infty}/\varepsilon_{el}$ , dove  $\varepsilon_{c\infty}$  è la deformazione finale dovuta all'effetto della viscosità e  $\varepsilon_{el}$  rappresenta la deformazione istantanea pari a  $\sigma/E$ .

<sup>471</sup> M. Como, *op. cit.*, p. 85.

<sup>472</sup> *Ibid.*, pp. 86-90.

<sup>473</sup> *Ibid.*, pp. 90-91.

<sup>474</sup> Approfondimenti in M. Como, *op. cit.*, pp. 97-101.

<sup>475</sup> Eurocodice 6 - Progettazione delle strutture di muratura - Parte 1-1, par. 3.8.4 – *Deformazione viscosa, ritiro e dilatazione termica*.

L'Eurocodice 6 prende in considerazione anche il fenomeno del ritiro della malta, che è responsabile della riduzione di spessore dei letti di malta e che conseguentemente influisce sulla deformazione finale della muratura. Per questo l'Eurocodice tabella i valori di calcolo da assumere, in base alla tipologia dell'elemento resistente: laterizio, silicato di calcio, calcestruzzo normale e pietra artificiale, calcestruzzo alleggerito, calcestruzzo areato in autoclave, pietra naturale. Nell'edilizia di recente costruzione il fenomeno del ritiro della malta motiva l'impiego di additivi antiritiro.

#### 4.1.5 Tecniche di Indagine Diagnostica

I segni del tempo e le vicende storiche possono alterare lo stato di conservazione del costruito, abbassando spesso il livello di sicurezza degli edifici, come già evidenziato. Al fine di analizzare il degrado dei materiali, le lesioni strutturali, l'obsolescenza funzionale nonché il benessere termico degli edifici, sono state proposte varie tecniche di indagine, utili non solo per gli antichi manufatti in muratura, ma applicabili anche all'edilizia contemporanea. Le attività diagnostiche servono ad analizzare lo *stato di salute* degli edifici e sono determinanti per impostare correttamente il progetto degli interventi. Talvolta, prima di arrivare alla formulazione di un giudizio conclusivo sullo stato di conservazione del manufatto in esame, è utile condurre un'attività di prediagnosi, basata essenzialmente sull'osservazione visiva. Lo scopo di tali attività è di fornire una preliminare valutazione sulle condizioni del patrimonio edilizio ed evidenziare le eventuali carenze rilevate attraverso l'ispezione dei luoghi.

Si è fatto riferimento precedentemente ad alcune indagini di laboratorio che sono condotte per determinare le caratteristiche meccaniche della muratura. Tuttavia, il settore della diagnostica offre ampie opportunità. Le tecniche di indagine diagnostica sono distinte in: tecniche non distruttive, leggermente distruttive e distruttive<sup>476</sup>.

Le prime sono così definite perché si avvalgono di strumentazioni che non causano alcuna demolizione dell'edificio o di una sua parte. I vantaggi offerti dalle indagini non distruttive sono diversi, come l'integrità funzionale dell'edificio e la possibilità di conservare inalterato il suo aspetto. In sostanza, tali esami possono essere condotti senza alcuna conseguenza nei confronti dell'edificio e dei suoi utenti. A questo gruppo sono riconducibili la termografia, le indagini magnetometriche, quelle soniche e ultrasoniche.

Le indagini leggermente distruttive non comportano la distruzione o la modifica della costruzione, ma sono eseguite attraverso perforazioni o prelievi di campioni di limitate dimensioni. Accanto alle tecniche sopra menzionate, ricordiamo, fra le indagini leggermente distruttive, quelle endoscopiche o le prove con i martinetti piatti.

Di seguito sono sinteticamente descritte le tecniche più frequentemente impiegate, sia quelle non distruttive, sia quelle leggermente distruttive.

Infine, le indagini distruttive richiedono il prelievo di campioni, talvolta importanti, da analizzare in laboratorio. Tali indagini, cui si ricorre per valutare le caratteristiche meccaniche della muratura, apportano modifiche irreversibili all'oggetto edilizio, per questo, sono eseguite in precise circostanze, ad esempio, per finalità di ricerca su edifici destinati alla demolizione.

Alcune prove diagnostiche<sup>477</sup> sono molto specifiche e utilizzate per analizzare elementi non strutturali dell'edificio, si rivolgono, ad esempio, al patrimonio artistico, come le

<sup>476</sup> L. Zevi (direttore scientifico), *il Manuale del Restauro Architettonico*, Mancosu Editore, Roma, 2001, Sez. E11, pp.1-7.

<sup>477</sup> AA. VV., *Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica degli edifici, Regione Umbria*, a cura di F. Gurrieri, DEI - Tipografia del Genio Civile, 1999, pp. 194-195.

indagini ecospettrografiche, che sono indicate per valutare il distacco di intonaci dipinti dalle sottostanti pareti. Altre prove, come il radar geofisico, sono state messe a punto per studiare le cavità, sono utili in particolare per la caratterizzazione dei contatti litologici. L'esame è effettuato attraverso il passaggio di onde elettromagnetiche attraverso i terreni. Tale tecnica è stata inizialmente sviluppata in ambito militare e poi applicata per l'analisi delle fondazioni degli edifici, oppure per applicazioni geotecniche ed è stata utilizzata persino nel settore archeologico, per valutare la presenza di oggetti sepolti.

#### 4.1.5.1 Le Termografie

Le indagini termografiche sono considerate sia indagini di tipo passivo, che indagini di tipo attivo<sup>478</sup>. Nel primo caso, sfruttando la capacità dei corpi di emettere calore, lo strumento rileva, nel campo dell'infrarosso, le differenze termiche degli oggetti, invece con opportune eccitazioni termiche, le termografie diventano strumenti di indagine attiva, perché servono a rilevare con maggior efficacia i fenomeni termodinamici.

Negli ultimi anni è sempre più frequente la richiesta di termografie per valutare le dispersioni termiche degli edifici. Queste non sono imputabili esclusivamente alla presenza di ponti termici, solitamente nei nodi tra elementi che hanno coefficienti di trasmissione termica diversa. Tali dispersioni sono dovute anche alle sconessioni presenti nell'apparato murario a seguito della chiusura o apertura di vani oppure dopo eventi sismici che abbiano lesionato le murature. Le termografie possono essere efficacemente utilizzate per valutare l'eterogeneità dei materiali costituenti le murature e per verificare la natura di passati interventi, come quelli di cuci-scuci oppure per valutare il percorso delle cavità, come le canne fumarie o, ancora, il percorso degli impianti. In sostanza, le informazioni che è possibile ottenere attraverso le termografie sono davvero molte e rappresentano un importante fonte per motivare il progetto degli interventi.

Il funzionamento delle termocamere è basato sulla misurazione delle emissioni termiche dei corpi. I materiali che costituiscono un manufatto edilizio hanno diversa inerzia termica, cioè hanno una diversa capacità di conservare l'energia, per questo, per rendere l'esame più efficace, è necessario sfruttare il salto termico che si verifica fra l'oggetto da rilevare e l'ambiente ed è preferibile effettuare la rilevazione nelle ore in cui è massimo il rilascio di calore, solitamente le ore serali sono quelle più adatte. L'esame è condizionato anche da fattori climatici e ambientali: si pensi all'umidità dell'aria. Alla presenza di clima secco e di basse temperature esterne, si possono ottenere delle buone rilevazioni<sup>479</sup>.

L'apparecchiatura è in grado di misurare il flusso termico in un campo compreso fra 2 e 5.6  $\mu\text{m}$  ed è capace di riprodurre in falsi colori fenomeni che non sono percepibili dall'occhio umano. Le immagini così prodotte possono essere montate in sequenza per effettuare confronti a distanze temporali prefissate oppure possono essere assemblate per avere un quadro completo dell'intero edificio e non solo delle singole parti riprese.

#### 4.1.5.2 La Magnetometria o Pacometria

Un'altra indagine di tipo non distruttivo è la magnetometria, che consente di rilevare la presenza di materiali ferromagnetici nascosti, ad esempio sotto gli intonaci. La rilevazione avviene con l'ausilio di un apposito strumento, il pacometro<sup>480</sup>, che sfrutta l'induzione:

---

<sup>478</sup> G. Brunetti, *Tecniche non distruttive per la diagnosi*, in A. Bellini (a cura di), *Tecniche della conservazione*, Franco Angeli, Milano, 1988, p. 235.

<sup>479</sup> AA. VV., *Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica degli edifici, Regione Umbria*, cit., 1999, p. 190.

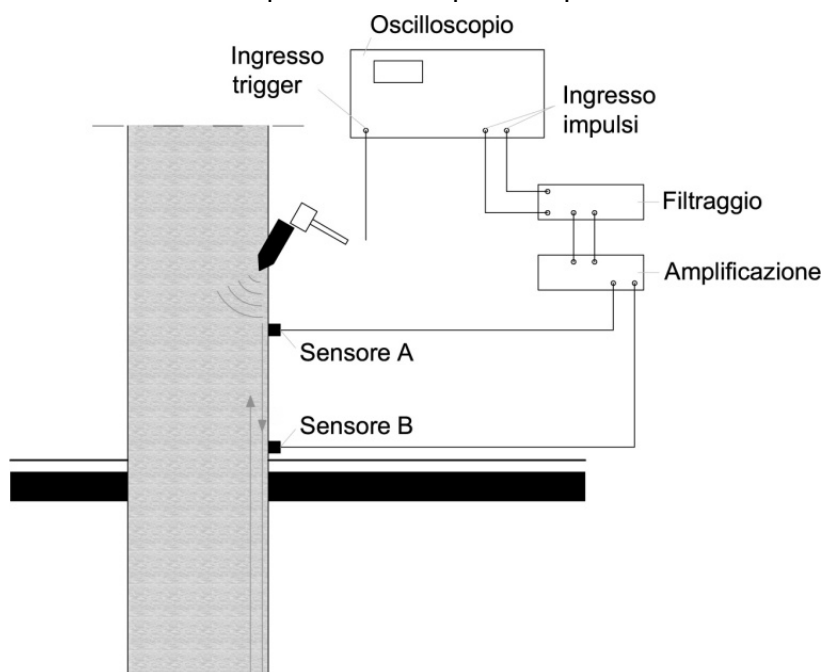
<sup>480</sup> L. Zevi (direttore scientifico), *op. cit.*, Sez. E33, p. 58.

viene creato un campo magnetico e gli elementi metallici intercettati da tale campo modificano il voltaggio della bobina dell'apparecchio, segnalando così la presenza dell'oggetto, ad esempio una tiratura metallica inserita alla quota del solaio. Il rilevamento avviene passando la sonda sulla superficie da analizzare, il contatto dello strumento con la parete non danneggia le superfici. E' interessante evidenziare che il metodo può essere applicato, ancora una volta, per varie finalità: per verificare la presenza di staffe, grappe, chiodi e altri elementi utilizzati in precedenti interventi di restauro oppure per individuare le armature metalliche all'interno del cemento armato, nonché per seguire il percorso delle tubazioni degli impianti.

#### 4.1.5.3 Le Indagini Soniche

La termografia e la magnetometria possono essere integrate con i risultati di altre indagini diagnostiche, come quelle che analizzano la propagazione del suono per valutare lo stato di conservazione dei vari materiali. Si tratta di indagini soniche che ricreano artificialmente vibrazioni nel campo dell'udibile, così da consentire lo studio delle caratteristiche della propagazione delle onde elastiche all'interno di corpi solidi.

L'esame viene effettuato utilizzando una sorgente di onde elastiche, come un martello o un altoparlante. Gli strumenti impiegati sono collegati a una centralina di rilevazione, che rappresenta la parte principale dell'apparecchiatura. Le onde emesse possono essere di compressione o di taglio, altrimenti note come onde primarie e secondarie. Se il mezzo attraversato presenta discontinuità, come rotture o riduzioni di sezione, la dispersione di energia avviene in modo anomalo. Le caratteristiche della propagazione delle onde sono rilevate da un captatore sonico per poi essere registrate. Nell'ambito del restauro tali analisi sono particolarmente vantaggiose per saggiare l'integrità di tiranti o catene<sup>481</sup>, specialmente dopo eventi sismici che abbiano lesionato l'edificio. Un altro ambito applicativo è la misurazione della profondità del piano di posa delle fondazioni<sup>482</sup>.



**Fig. 4.27 Valutazione della profondità del piano di appoggio delle fondazioni  
(Immagine originale in Brunetti, 1988)**

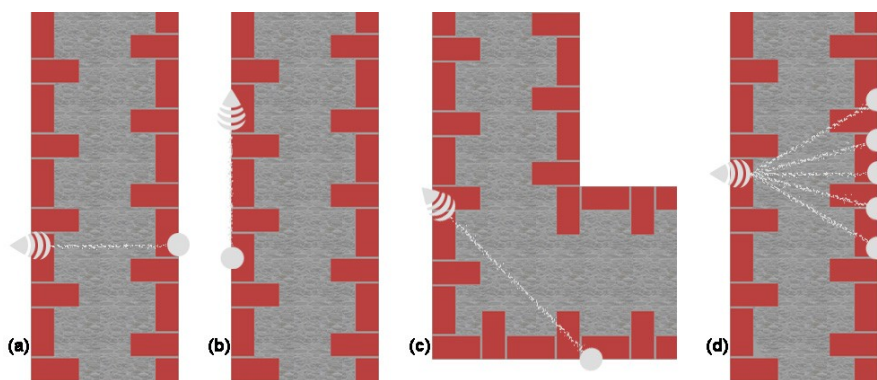
<sup>481</sup> AA. VV., *Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica degli edifici, Regione Umbria*, cit., p. 194.

<sup>482</sup> G. Brunetti, *op. cit.*, pp. 253-255.

L'esame viene effettuato provocando un impulso elastico. L'oscilloscopio inizia a registrare subito tutte le fasi della prova. L'onda raggiunge prima il sensore A e poi il sensore B. Conoscendo il tempo  $t$  necessario a percorrere il tratto AB viene determinata la velocità dell'onda. Questa prosegue il suo percorso raggiungendo l'interfaccia muratura/terreno e viene poi riflessa. Durante il tragitto di ritorno l'onda incontra, questa volta, prima il sensore B e poi il sensore A. Con i dati ottenuti si determina l'ipotetica profondità del piano di appoggio delle fondazioni, anche se è consigliabile effettuare verifiche dirette per avere informazioni più certe.

Le indagini soniche effettuate sulle murature aiutano a individuare la presenza di cavità e lesioni oppure sono utili a verificare la presenza di materiali diversi, intercettati durante la trasmissione dell'onda, grazie alla valutazione della velocità sonica. Tali prove possono essere effettuate anche dopo interventi di consolidamento per verificarne il buon esito.

La misurazione<sup>483</sup> della velocità sonica di una muratura può essere svolta con quattro differenti modalità: diretta o in trasparenza, indiretta o superficiale, semidiretta o radiale, tomografia. Nel primo caso la prova si effettua attraverso l'emissione di un suono su una faccia della muratura, valutando sulla faccia opposta la ricezione dell'onda elastica. Per effettuare l'indagine in modo diretto è necessario che gli ambienti dell'edificio siano accessibili sia all'esterno sia all'interno.



**Fig. 4.28 Prove soniche: (a) diretta, (b) indiretta, (c) semidiretta, (d) tomografia**  
(Immagine originale in Dipartimento Protezione Civile, ReLUIS, AGI, ALGI, ALIG)

Se la prova può essere condotta solo all'esterno, si deve ricorrere alla modalità indiretta. In quest'ultimo caso l'onda viene emessa e recepita sullo stesso lato della muratura. Rispetto alla prima modalità i dati sono utili a valutare solo gli strati più esterni del muro e forniscano informazioni assai limitate sulla sezione della muratura. Al contrario, le tomografie sono davvero significative perché consentono di valutare la ricezione dell'onda in più direzioni così da ottenere una vera «mappatura»<sup>484</sup> delle velocità.

Le tomografie soniche sono state previste anche nel caso della Chiesa di Santa Maria delle Grazie a Pettino (AQ)<sup>485</sup>, che sarà oggetto di approfondimento nella terza parte del presente lavoro. L'indagine era stata predisposta per identificare la tessitura interna delle strutture murarie in elevazione, tuttavia, dopo il sisma dell'aprile 2009, la muratura era molto dissestata e ciò ha inibito il passaggio dell'onda fra i punti di trasmissione e di ricezione posti a maggior distanza. Per questo, nonostante con la prima indagine siano state acquisite ben 102 misurazioni, non è stato possibile calcolare la distribuzione della velocità sonica all'interno della muratura. I dati disponibili sono stati utilmente applicati per l'analisi sonora diretta, considerando, quindi, i soli punti corrispondenti sulle due facce della muratura. Le circostanze hanno suggerito l'idea di eseguire eventualmente le

<sup>483</sup> Dipartimento Protezione Civile, ReLUIS, AGI, ALGI, ALIG, *Linee guida per modalità di indagine sulle strutture e sui terreni per i progetti di riparazione, miglioramento e ricostruzione di edifici inagibili*, in <[http://www.reluis.it/doc/pdf/Linee\\_guida2.pdf](http://www.reluis.it/doc/pdf/Linee_guida2.pdf)>, pp. 21-23.

<sup>484</sup> *Ibid.*, p. 22.

<sup>485</sup> Il Cenacolo S.r.l., *Chiesa di Santa Maria delle Grazie (Pettino - AQ), Indagini diagnostiche preliminari per il progetto di consolidamento statico ed il miglioramento sismico*, Relazione tecnica, elaborato eseguito da K. Bianchi, R. Ginanni Corradini, G. Marghella, F. Mattolin, pp. 42-47.

tomografie dopo gli interventi di consolidamento previsti, in modo da poter verificare l'efficacia delle scelte adottate in fase progettuale. Dalle indagini è stato possibile determinare oltre al valore medio della velocità sonica, anche la deviazione standard, un parametro particolarmente utile per valutare l'omogeneità della muratura. Nel caso specifico il valore della deviazione era abbastanza elevato, indicando una scarsa omogeneità della tessitura muraria, da cui deriva una certa variabilità, da punto a punto, della velocità sonica.

Sfruttando l'emissività acustica<sup>486</sup>, ossia la produzione di onde acustiche che accompagna la deformazione di un corpo solido, soggetto all'azione di una forza, è anche possibile diagnosticare i dissesti in atto negli edifici. La percezione di tali onde può risultare difficile senza l'ausilio della strumentazione giusta, per questo, per monitorare una costruzione, devono essere collocati sull'edificio dei sensori, in numero tale da poter localizzare il punto di emissione dell'onda elastica. Ancora una volta, è fondamentale il ricorso ad una centralina di rilevazione e ad un registratore, in modo da poter valutare il numero degli eventi e lo stato dell'edificio. Possiamo, quindi, evidenziare come le indagini di tipo acustico abbiano un ampio ambito applicativo: dal monitoraggio delle costruzioni, soprattutto quelle di rilevante interesse storico-artistico, alla diagnosi per fini restaurativi, alla verifica progettuale degli interventi messi in atto.

#### 4.1.5.4 Gli Ultrasuoni

Si ricorre, invece, agli ultrasuoni per lo studio di materiali estremamente compatti, come i materiali metallici oppure quelli lapidei oppure per analizzare i calcestruzzi. Il campo dell'ultrasuono non è percepibile dall'orecchio umano e si estende oltre i 20 KHz. Anche in questo caso le onde possono essere sia di compressione sia di taglio. La differenza principale con le onde soniche riguarda l'impossibilità di trasmissione delle onde ultrasoniche nei gas, come l'aria. Nei mezzi solidi entrambe le onde si comportano in modo analogo: alla presenza di discontinuità del materiale, pensiamo all'interfaccia fra materiali diversi oppure ad una fessura, le onde sono riflesse e rifratte. Questa proprietà può essere sfruttata proprio per diagnosticare la presenza di lesioni o vuoti, anche di piccolissime dimensioni. Inoltre, le prove ultrasoniche possono essere utilizzate per valutare il modulo elastico di calcestruzzi e acciai, nonché per verificare l'omogeneità dei materiali.

#### 4.1.5.5 Le Prove Sclerometriche

La scelta delle indagini più utili è relazionata anche ai materiali costituenti l'oggetto di studio, così, ad esempio, per i calcestruzzi e le malte soprattutto, può essere vantaggioso effettuare prove sclerometriche<sup>487</sup>, che servono a saggiare la resistenza del materiale attraverso la misura della durezza superficiale. Attraverso quest'indagine è possibile valutare in situ sia la qualità sia l'uniformità del materiale. La prova si effettua eseguendo una serie di impatti fra una massa battente e la superficie del materiale e misurando le altezze di rimbalzo. L'indice sclerometrico rappresenta, quindi, il rimbalzo medio del numero di battute eseguite nella stessa area di misura. L'indagine è regolata dalla norma UNI EN 12504-2:2001. Per ogni superficie di calcestruzzo dovrebbero essere effettuate almeno nove misurazioni, distanti non meno di 25 mm tra loro e dai ferri d'armatura.

<sup>486</sup> G. Brunetti, *op. cit.*, p. 256.

<sup>487</sup> Dipartimento Protezione Civile, ReLUIS, AGI, ALGI, ALIG, *op. cit.*, p. 10.



L'area da analizzare può essere definita attraverso misure pacometriche, in grado di individuare il reticolo delle armature presenti. Inoltre, lo strumento deve essere perfettamente ortogonale alla parete, per non falsare i risultati della misurazione. La prova è indicata soprattutto per i calcestruzzi giovani, infatti, il fenomeno della carbonatazione rende lo strato superficiale del calcestruzzo più duro, per ovviare il problema, l'indice di rimbalzo medio è ridotto attraverso un coefficiente che è relazionato alla profondità di carbonatazione.

Un caso applicativo dell'analisi sclerometrica e delle prove ultrasoniche sul calcestruzzo è quello della Scuola Media "Fantoni" di Fivizzano (MS)<sup>488</sup>, un complesso costruito alla fine degli anni Cinquanta del Novecento, costituito da tre corpi edilizi in cemento armato. Le indagini si sono concentrate su una parte della scuola, quella che ospita le aule didattiche, oggetto, nel 1977, di una sopraelevazione. Tale parte del plesso scolastico, a seguito delle analisi condotte e delle valutazioni di vulnerabilità, è stata destinata alla demolizione, poiché è stata considerata più vantaggiosa la ricostruzione rispetto ai possibili interventi di adeguamento/miglioramento. Le prove, eseguite su travi e pilastri, prevedevano sia indagini non distruttive, sia il prelievo di carote per le successive prove di compressione, così da poter effettuare considerazioni sui diversi risultati ottenuti. Inoltre, data la disponibilità di varie misurazioni sclerometriche, ultrasoniche e, in alcuni casi, di carotaggi, eseguiti negli stessi punti interessati dalle altre prove, è stato anche applicato il metodo combinato *Sonreb*, per valutare la resistenza a compressione del calcestruzzo delle travi, conoscendo la resistenza a compressione delle carote e i corrispondenti valori dell'indice di rimbalzo e della velocità ultrasonica. Senza approfondire la descrizione del metodo, vogliamo qui evidenziare come le indagini diagnostiche possano essere utilmente applicate per ottenere dati sempre più attendibili sulle caratteristiche dei materiali edili.

#### 4.1.5.6 I Carotaggi

Le indagini soniche o ultrasoniche possono essere combinate anche con tecniche di tipo leggermente distruttivo: i risultati degli esami non distruttivi, infatti, possono allertare e motivare così analisi più approfondite e univoche come i carotaggi. Questi sono indicati, ad esempio, per conoscere la stratigrafia dei suoli, ma, in generale, sono utili a ottenere campioni di materiale da sottoporre eventualmente anche a prove di laboratorio, come quelle di compressione eseguite sui provini di calcestruzzo.

Nel caso della Chiesa di Santa Maria delle Grazie<sup>489</sup>, l'estrazione di carote di lunghezza variabile ha consentito di effettuare osservazioni visive per la caratterizzazione delle strutture murarie.

Ad esempio, in uno dei campioni prelevati, lungo 160 cm, sono stati rilevati elementi di pietra calcarea di forma e dimensioni variabili con interposta malta, all'interno del quale sono stati individuati frammenti di laterizio. Nella parte finale del foro è stato anche riscontrato materiale terrigeno sciolto. Questi dati hanno lasciato supporre che il carotaggio abbia interessato una parte strutturale, forse una volta di sostegno della pavimentazione della chiesa, anche se non erano disponibili altre informazioni a conferma delle ipotesi formulate. Un'altra carota di minor profondità, estratta in un altro punto, ha permesso di individuare ancora una volta una muratura di pietra costituita da elementi irregolari. In questo caso, la presenza di una malta di iniezione di colore marrone ha lasciato pensare a un intervento di consolidamento, messo in atto per migliorare le caratteristiche meccaniche della muratura.

<sup>488</sup> A. Masi, M. Dolce, M. Vona, D. Nigro, G. Pace, M. Ferrini, *Indagini sperimentali su elementi strutturali estratti da una scuola esistente in c.a.*, Atti del XII Convegno ANIDIS 2007 «L'Ingegneria Sismica in Italia», Pisa, 10-14 giugno 2007.

<sup>489</sup> Il Cenacolo S.r.l., *op. cit.*, pp. 35-41.

#### 4.1.5.7 Le Endoscopie

Fra le prove di tipo leggermente distruttivo si collocano anche le indagini endoscopiche nelle quali, l'invasività della prova dipende dalla dimensione della perforazione effettuata, che va da circa 30 mm a circa 100 mm. L'indagine si esegue attraverso un endoscopio corredato di adattatore fotografico o di sonda televisiva per documentare, attraverso immagini e video, la natura del materiale. Le endoscopie sono strumenti talvolta essenziali per conoscere i materiali che compongono una muratura, soprattutto se di notevole spessore. Tali prove, inoltre, sono utili a valutare fenomeni fessurativi in atto e sono altresì importanti per orientare la scelta delle soluzioni progettuali più adatte negli interventi di consolidamento.

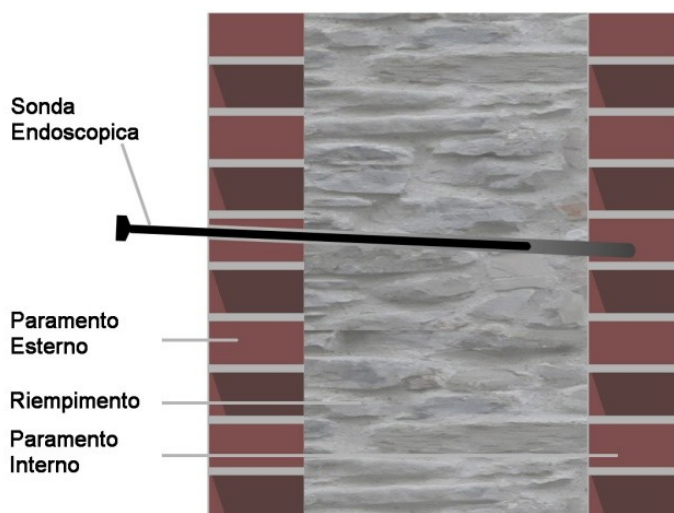


Fig. 4.29 Schema di esame endoscopico (Immagine originale in AA. VV., *Manuale per la riabilitazione la ricostruzione postsismica degli edifici*, 1999)

Ancora una volta, faremo riferimento alle indagini eseguite per la Chiesa di Santa Maria delle Grazie, dove sono stati eseguiti sette esami endoscopici<sup>490</sup>. In particolare, il terzo foro eseguito alla destra dell'altare, ha interessato la parete di confine fra la chiesa e l'abitazione adiacente. Oltre ad evidenziare la tessitura muraria, costituita da conci di pietra calcarea di dimensioni variabili, l'endoscopia è servita a rilevare, alla profondità di 60 cm, la presenza di una cavità, probabilmente ad andamento verticale. Questa informazione lascia spazio alla formulazione di varie ipotesi sulla continuità edilizia degli ambienti, sulla possibile suddivisione in unità diverse, sulla presenza o meno di ammorsamenti fra i due paramenti oppure sulla possibilità che si tratti comunque di un'unica muratura comune. Anche se non ci sono certezze a riguardo, la raccolta di dati, ottenuti con analisi diagnostiche diverse, resta un valido strumento per la conoscenza dell'oggetto indagato o per la valutazione delle ipotesi possibili.

#### 4.1.5.8 I Martinetti Piatti

Le prove con martinetti piatti sono considerate leggermente distruttive, perché, nonostante siano eseguite in situ, senza l'asportazione di grossi campioni di materiale da analizzare in laboratorio, ricorrono a tagli orizzontali nella muratura, per consentire l'introduzione dei martinetti, necessari all'effettuazione della prova.

<sup>490</sup> *Ibid.*, pp. 23-34.

Lo scopo dell'esame è di ottenere i parametri meccanici, quali il modulo elastico o la tensione di rottura a compressione. Le murature, come già evidenziato, sono molto varie per tipo di materiale impiegato, tecniche di assemblaggio, caratteristiche della sezione muraria e, soprattutto negli interventi restaurativi, risulta vantaggioso conoscere i valori dei parametri citati per effettuare le verifiche necessarie a testare l'efficace delle soluzioni proposte.

La prova implica, prima di tutto, l'esecuzione di uno o due tagli paralleli, a seconda del numero di martinetti impiegati. I tagli orizzontali, che dovrebbero interessare i soli giunti di malta, hanno uno spessore di pochi millimetri. Il taglio provoca una redistribuzione delle tensioni e una parziale chiusura della stessa apertura. Con l'inserimento del martinetto, che è messo in pressione, si ripristina la condizione del paramento precedente al taglio. Il valore della pressione all'interno del martinetto sarà quindi pari alla sollecitazione preesistente nella muratura, a meno di una costante introdotta per tener conto del rapporto fra la superficie del martinetto e quella del taglio e a meno di un'altra costante che tiene conto della rigidezza di ogni martinetto.

L'esame con martinetto piatto singolo fornisce lo stato di tensione locale presente nelle murature. La prova con martinetto piatto doppio consiste nell'effettuare cicli ripetuti di carico e scarico per misurare la deformabilità della muratura, l'esame consente anche di determinare la resistenza a compressione della stessa. Le indagini possono essere effettuate secondo le norme ASTM C 1196-09 e 1197-09 e RILEM LUM D3 (1994)<sup>491</sup>.

Nella Chiesa di Santa Maria delle Grazie sono state realizzate entrambe le prove; anche in questo caso, le indagini hanno interessato più punti della costruzione, per valutare l'omogeneità dei materiali costituenti l'edificio e quindi le loro caratteristiche.

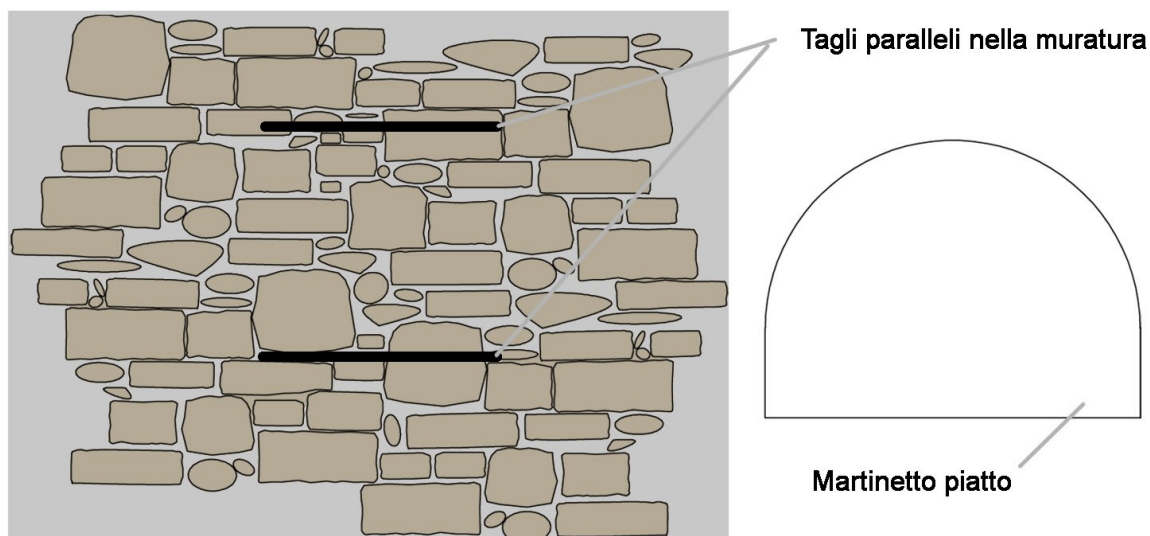


Fig. 4.30 Schema esecutivo della prova ed esempio di martinetto

Le indagini condotte con i martinetti piatti sono anche utili a comprendere le differenze di tensione dovute alla cattiva distribuzione dei carichi agenti, aiutando il progettista a individuare gli interventi migliori.

L'ambito della diagnostica offre ampie possibilità per esaminare, in modo dettagliato e affidabile, architetture, opere d'arte, reperti storici e in generale qualunque bene si intenda tutelare con adeguati interventi restaurativi. Le indagini diagnostiche che possono essere effettuate, non sempre richiedono l'esecuzione di una vera e propria prova, talvolta possono essere utili anche delle sole stonacature, dove possibile e sempreché non siano lesionati affreschi o pitture di interesse artistico, valide per riconoscere le diverse apparecchiature murarie. Analogamente è possibile ricorrere a pozzetti di ispezione per avere informazioni sulle strutture di fondazione.

<sup>491</sup> Dipartimento Protezione Civile, ReLUIS, AGI, ALGI, ALIG, *op. cit.*, pp. 25-27.

Nella Chiesa di Santa Maria delle Grazie a Pettino (AQ), dove l'analisi diagnostica ha assunto un ruolo molto significativo nella fase di studio del manufatto architettonico, sono state applicate la maggior parte delle tecniche che abbiamo riepilogato, da quelle considerate non distruttive, a quelle che sono leggermente distruttive, fino alle osservazioni dirette.

## 4.2 LO STUDIO DEI CINEMATISMI MURARI

Gli edifici storici in muratura non rispettano sempre le modalità costruttive proprie della regola dell'arte, di conseguenza, non esibiscono un adeguato comportamento "scatolare", come invece imposto dalle prescrizioni delle NTC<sup>492</sup>. Questo significa che i collegamenti fra le strutture verticali e gli orizzontamenti non sono efficaci, così come possono non essere adeguati i collegamenti fra le pareti ortogonali.

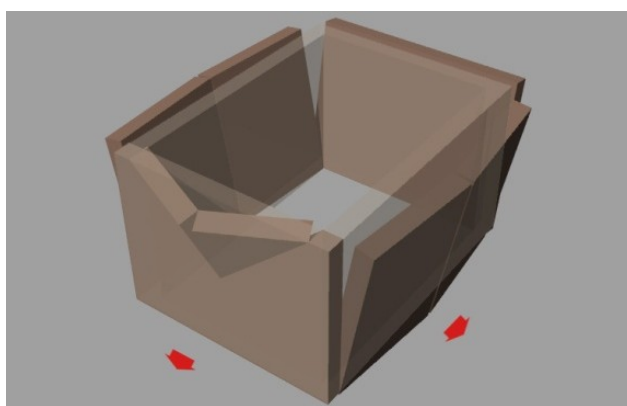


Fig. 4.31 Possibili rotazioni della pareti costituenti la scatola muraria verso l'esterno

Se le pareti della scatola muraria sono soggette a fenomeni di ribaltamento (Fig. 4.31) e il problema è amplificato dalla spinta di archi, volte, solai particolarmente pesanti e coperture, l'edificio incorre nei cosiddetti meccanismi di collasso. Tali fenomeni sono favoriti da altri fattori inerenti le caratteristiche costruttive delle murature a più paramenti, che sono spesso prive di collegamenti trasversali o sono realizzate con materiali diversi per forma e tipologia, come precedentemente evidenziato. Le lesioni più o meno gravi e i crolli, nei casi peggiori, sono conseguenza degli effetti che un terremoto può produrre.

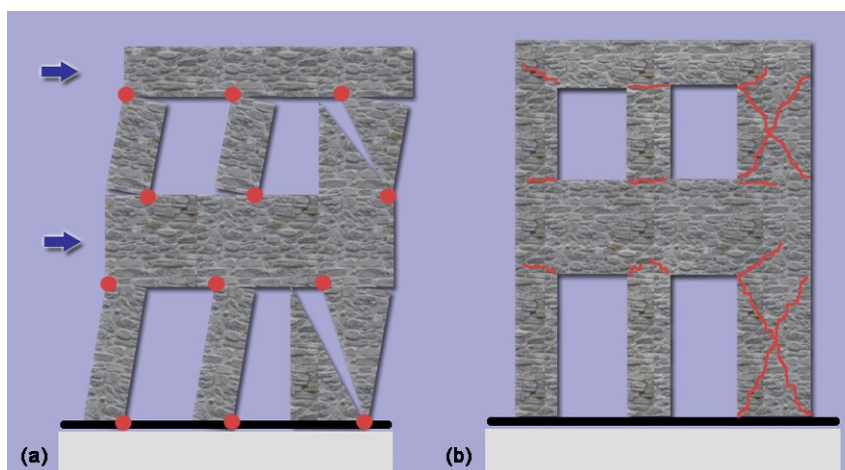
I danneggiamenti subiti dalle costruzioni storiche in muratura possono essere ricondotti a due fondamentali gruppi<sup>493</sup>: meccanismi di danno del primo modo e meccanismi di danno del secondo modo. La distinzione appena proposta è relazionata alla direzione dell'azione sismica rispetto al piano della parete. Per quanto riguarda i meccanismi del primo modo si fa riferimento a tutti quei cinematismi che sono innescati da una rotazione della parete fuori dal suo piano, causati da azioni sismiche ortogonali alla parete stessa. Tali meccanismi producono i danni più pericolosi per gli edifici, per questo, è necessario intervenire preventivamente, con sistemi che possano migliorare il comportamento dei manufatti, conferendo loro la monoliticità necessaria a contrastare tali fenomeni. I meccanismi definiti del secondo modo, invece, sono attivati da azioni che agiscono parallelamente al piano della parete. In questo caso, se la muratura è di buona qualità i danni possono essere di entità limitata. Nelle situazioni reali il terremoto produce sia l'uno sia l'altro tipo di danno, i meccanismi si combinano e il quadro fessurativo che emerge dopo l'evento dipende dalle azioni sismiche intervenute e della risposta delle strutture sollecitate.

<sup>492</sup> Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, par. 4.5.4 *Organizzazione strutturale*.

<sup>493</sup> AA. VV., *Manuale delle murature storiche*, Volume I, cit., pp. 357-358.

Quando lo studio dei cinematismi è condotto a posteriori, l'individuazione dei meccanismi attivati è facilitata dalla lettura delle lesioni provocate dal sisma. L'analisi inizia proprio con l'osservazione e il riconoscimento delle parti interessate dai danneggiamenti; lo studio può essere efficacemente condotto con il supporto di un rilievo geometrico e strutturale dell'edificio.

Gli eventi sismici avvenuti nel passato hanno messo in luce le principali carenze costruttive delle costruzioni storiche, dove si riscontra spesso l'assenza di cordoli in corrispondenza della tesa ribaltante oppure dove sono del tutto assenti presidi che possano contrastare le spinte di volte e coperture. In sostanza, nella prima fase di studio, il quadro fessurativo è associato alle condizioni di vincolo presenti, in modo da chiarire le criticità del sistema costruttivo. L'attenta valutazione delle lesioni osservate consente di individuare la natura delle fratture e dei distacchi, distinguendo quelli dovuti alla rotazione dei macroelementi, che sono assimilati a corpi rigidi, dalle lesioni relazionate a fenomeni di taglio.



**Fig. 4.32 (a) Rotazione dei macroelementi, (b) Lesioni ad andamento diagonale nei maschi murari e lesioni ad andamento pressoché orizzontale in testa o al piede dei maschi murari**

Lo studio può proseguire ricorrendo all'analisi limite dell'equilibrio, «secondo l'approccio cinematico, che si basa sulla scelta del meccanismo di collasso e la valutazione dell'azione orizzontale che attiva tale cinematismo»<sup>494</sup>. L'iter metodologico da seguire, per ogni meccanismo locale attivabile, così come indicato dalla normativa, è il seguente:

- trasformazione di una parte della costruzione in un sistema labile (catena cinematica), attraverso l'individuazione di corpi rigidi, definiti da piani di frattura ipotizzabili per la scarsa resistenza a trazione della muratura, in grado di ruotare o scorrere tra loro (meccanismo di danno e collasso);
- valutazione del moltiplicatore orizzontale dei carichi  $\alpha_0$  che comporta l'attivazione del meccanismo (stato limite di danno);
- valutazione dell'evoluzione del moltiplicatore orizzontale dei carichi  $\alpha$  al crescere dello spostamento  $d_k$  di un punto di controllo della catena cinematica, usualmente scelto in prossimità del baricentro delle masse, fino all'annullamento della forza sismica orizzontale;
- trasformazione della curva così ottenuta in curva di capacità, ovvero in accelerazione  $a^*$  e spostamento  $d^*$  spettrali, con valutazione dello spostamento ultimo per collasso del meccanismo (stato limite ultimo), definito in seguito;
- verifiche di sicurezza, attraverso il controllo della compatibilità degli spostamenti e/o delle resistenze richieste alla struttura<sup>495</sup>.

<sup>494</sup> Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, par. C8A.4. *Analisi dei meccanismi locali di collasso in edifici esistenti in muratura.*

<sup>495</sup> *Ibid.*

La determinazione del coefficiente di collasso,  $\alpha_0$ , che attiva il meccanismo considerato, è stimata considerando: «i pesi propri dei blocchi, applicati nel loro baricentro; i carichi verticali portati dagli stessi (pesi propri e sovraccarichi dei solai e della copertura, altri elementi murari non considerati nel modello strutturale); un sistema di forze orizzontali proporzionali ai carichi verticali portati, se queste non sono efficacemente trasmesse ad altre parti dell'edificio; eventuali forze esterne (ad esempio quelle trasmesse da catene metalliche); eventuali forze interne (ad esempio le azioni legate all'ingranamento tra i conci murari)»<sup>496</sup>.

Abbiamo già evidenziato come ai fini della stima del coefficiente cercato, possa essere applicato il principio dei lavori virtuali, la stessa normativa evidenzia che  $\alpha_0$  è ottenuto «uguagliando il lavoro totale eseguito dalle forze esterne ed interne applicate al sistema in corrispondenza dell'atto di moto virtuale»<sup>497</sup>:

$$\alpha_0 \left( \sum_{i=1}^n P_i \delta_{x,i} + \sum_{j=n+1}^{n+m} P_{ij} \delta_{x,j} \right) - \sum_{i=1}^n P_i \delta_{y,i} - \sum_{h=1}^o F_h \delta_h = L_{fi}$$

in cui:

- $n$  è il numero di tutte le forze peso applicate ai diversi blocchi della catena cinematica;
- $m$  è il numero di forze peso non direttamente gravanti sui blocchi le cui masse, per effetto dell'azione sismica, generano forze orizzontali sugli elementi della catena cinematica, in quanto non efficacemente trasmesse ad altre parti dell'edificio;
- $o$  è il numero di forze esterne, non associate a masse, applicate ai diversi blocchi;
- $P_i$  è la generica forza peso applicata (peso proprio del blocco, applicato nel suo baricentro, o un altro peso portato);
- $P_j$  è la generica forza peso, non direttamente applicata sui blocchi, la cui massa, per effetto dell'azione sismica, genera una forza orizzontale sugli elementi della catena cinematica, in quanto non efficacemente trasmessa ad altre parti dell'edificio;
- $\delta_{x,i}$  è lo spostamento virtuale orizzontale del punto di applicazione dell' $i$ -esimo peso  $P_i$ , assumendo come verso positivo quello associato alla direzione secondo cui agisce l'azione sismica che attiva il meccanismo;
- $\delta_{x,j}$  è lo spostamento virtuale orizzontale del punto di applicazione dell' $j$ -esimo peso  $P_j$ , assumendo come verso positivo quello associato alla direzione secondo cui agisce l'azione sismica che attiva il meccanismo;
- $\delta_{y,i}$  è lo spostamento virtuale verticale del punto di applicazione dell' $i$ -esimo peso  $P_i$ , assunto positivo se verso l'alto;
- $F_h$  è la generica forza esterna (in valore assoluto), applicata ad un blocco;
- $\delta_h$  è lo spostamento virtuale del punto dove è applicata la  $h$ -esima forza esterna, nella direzione della stessa, di segno positivo se con verso discorde;
- $L_{fi}$  è il lavoro di eventuali forze interne.

In alternativa, per determinare il moltiplicatore di collasso, è possibile imporre l'equilibrio alla rotazione rispetto all'ipotetica cerniera, che solitamente è assunta nello spigolo esterno della parete soggetta a ribaltamento. Determinando il momento sollecitante o ribaltante,  $M_R$ , e calcolando il momento resistente o stabilizzante,  $M_S$ , è possibile determinare il valore di  $\alpha_0$  dalla condizione di equilibrio limite  $M_R = M_S$ .

A questo punto, facendo sempre riferimento alle indicazioni della Circolare 2 febbraio 2009, n. 617<sup>498</sup>, possiamo determinare il valore del moltiplicatore dei carichi non solo nella

<sup>496</sup> Ibid., par. C8A.4.1 *Analisi cinematica lineare*.

<sup>497</sup> Ibid..

<sup>498</sup> Ibid., par. C8A.4.2 *Analisi cinematica non lineare*.



configurazione iniziale, ma anche nelle configurazioni variate della catena cinematica, descritte dallo spostamento  $d_k$  di un punto di controllo del sistema. In definitiva, l'analisi prosegue finché la struttura non raggiunge il collasso, a cui corrisponde l'annullamento del moltiplicatore  $\alpha$ , in corrispondenza dello spostamento  $d_{k,0}$ . L'analisi, inoltre, può essere condotta sia per via grafica, individuando le configurazioni assunte dal sistema, sia per via analitico - numerica, assumendo una successione di rotazioni virtuali finite.

Nel caso in cui i carichi agenti siano mantenuti costanti durante l'evoluzione del cinematismo, la curva sarà pressoché lineare, per cui è possibile valutare soltanto lo spostamento  $d_{k,0}$ . La curva assume l'espressione<sup>499</sup>:

$$\alpha = \alpha_0(1 - d_k / d_{k,0})$$

Per ottenere tale configurazione, è possibile assumere la geometria di una generica configurazione variata, relazionata alla rotazione finita  $\theta_{k,0}$ , e ricorrendo ancora al principio dei lavori virtuali, per  $\alpha = 0$ , si ricavare l'incognita  $\theta_{k,0}$ .

La Circolare precisa anche che la curva può essere considerata lineare a tratti, se si tiene conto della variazione delle azioni agenti con l'evoluzione del cinematismo. In questa ipotesi, la curva è valutata in corrispondenza degli spostamenti, dovuti ad eventi significativi, come lo snervamento o la rottura di una catena.

Conoscendo l'andamento del moltiplicatore dei carichi  $\alpha$  in relazione allo spostamento  $d_k$  del punto di controllo della struttura, «deve essere definita la curva di capacità dell'oscillatore equivalente, come relazione fra l'accelerazione  $a^*$  e lo spostamento  $d^*$ »<sup>500</sup>. I valori dell'accelerazione spettrale,  $a^*$ , e dello spostamento spettrale,  $d^*$ , si ottengono come segue:

$$a_0^* = \frac{\alpha_0 \sum_{i=1}^{n+m} P_i}{M^* FC} = \frac{\alpha_0 g}{e^* FC}$$

dove:

-  $g$  è l'accelerazione di gravità;

-  $e^* = gM^* / \sum_{i=1}^{n+m} P_i$  è la frazione di massa partecipante della struttura;

-  $FC$  è il fattore di confidenza. Nel caso in cui per la valutazione del moltiplicatore  $\alpha$  non si tenga conto della resistenza a compressione della muratura, il fattore di confidenza da utilizzare sarà comunque quello relativo al livello di conoscenza LC1.<sup>501</sup>

Per la determinazione dell'accelerazione spettrale è necessario conoscere il valore della massa  $M^*$ , che partecipa al cinematismo, e la stessa Circolare indica come ottenere tale valore:

$$M^* = \frac{(\sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i})^2}{g \sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}^2}$$

dove:

-  $n+m$  è il numero delle forze peso  $P_i$  applicate le cui masse, per effetto dell'azione sismica, generano forze orizzontali sugli elementi della catena cinematica;

-  $\delta_{x,i}$  è lo spostamento virtuale orizzontale del punto di applicazione del  $i$ -esimo peso  $P_i$ .

<sup>499</sup> Ibid., par. C8A.4.2.1 Relazione fra il moltiplicatore  $\alpha$  e lo spostamento.

<sup>500</sup> Ibid., par. C8A.4.2.2 Valutazione della curva di capacità (oscillatore equivalente).

<sup>501</sup> Come precisato nel precedente par. 2.1, i livelli di conoscenza, individuati dalla normativa vigente, per gli edifici esistenti in muratura, sono tre. Il livello LC1 si riferisce a verifiche e indagini "limitate".



Lo spostamento spettrale dell'oscillatore equivalente, può essere così determinato:

$$d^* = d_k \frac{\sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}^2}{\delta_{x,k} \sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}}$$

dove  $n$ ,  $m$ ,  $P_i$ ,  $d_{x,i}$  sono definiti come sopra e  $d_{x,k}$  è lo spostamento virtuale orizzontale del punto  $k$ , assunto come riferimento per la determinazione dello spostamento  $d_k$ .

Ancora una volta, viene anche considerato il caso in cui la curva assume andamento pressoché lineare, che si verifica quando le azioni agenti sono costanti, in tale ipotesi la curva di capacità è espressa dalla seguente espressione:

$$\alpha^* = \alpha_0^* (1 - d^*/d_0^*)$$

dove  $d_0^*$  è lo spostamento spettrale equivalente corrispondente allo spostamento  $d_{k,0}$ .

Mentre, se i carichi esterni sono variabili, la curva sarà considerata lineare a tratti.

Sulla curva di capacità è possibile valutare la resistenza e la capacità di spostamento allo Stato Limite di Danno, SLD, e allo Stato Limite di salvaguardia della Vita, SLV:

- SLD: dalla accelerazione spettrale  $a_0^*$ , corrispondente all'attivazione del meccanismo di danno;
- SLV: dallo spostamento spettrale  $d_u^*$ , corrispondente al minore fra gli spostamenti così definiti: a) il 40% dello spostamento per cui si annulla l'accelerazione spettrale  $a^*$ , valutata su una curva in cui si considerino solamente le azioni di cui è verificata la presenza fino al collasso; b) lo spostamento corrispondente a situazioni localmente incompatibili con la stabilità degli elementi della costruzione (ad esempio, sfilamento di travi), nei casi in cui questo sia valutabile.

Sono state già indicate le definizioni, fornite dalle attuali norme, degli *stati limite* (§ 2.1). Si precisa qui che le NTC<sup>502</sup> distinguono all'interno degli stati limite di esercizio:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Invece, negli stati limite ultimi sono individuati:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

<sup>502</sup> D. M. 14 gennaio 2008, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, Par. 3.2.1 Stati limite e relative probabilità di superamento.

**Tabella 4.7 - Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato**

Stati Limite		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Per quanto riguarda le verifiche di sicurezza<sup>503</sup>, per gli edifici esistenti in muratura, la Circolare richiamata distingue, ancora una volta, la verifica nei confronti dello Stato Limite di Danno, da quella relativa allo Stato Limite di salvaguardia della Vita. Nel primo caso, la verifica di sicurezza «è soddisfatta qualora l'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo sia superiore all'accelerazione di picco della domanda sismica»<sup>504</sup>. Tuttavia, viene evidenziato nella stessa Circolare che nell'analisi dei meccanismi locali di collasso in edifici esistenti in muratura, lo Stato Limite di Danno corrisponde all'insorgere di lesioni localizzate, che interessano solo una parte della struttura e «anche in considerazione delle giustificate esigenze di conservazione, pur essendo auspicabile il soddisfacimento di questo stato limite, la sua verifica non è richiesta».<sup>505</sup>

Le verifiche allo Stato Limite di salvaguardia della Vita dei meccanismi locali, secondo la citata Circolare può essere effettuate con due diverse modalità. La prima alternativa è rappresentata dalla «verifica semplificata con fattore di struttura  $q$  (analisi cinematica lineare)».

Se la verifica è riferita ad un elemento isolato o una porzione della costruzione comunque sostanzialmente appoggiata a terra, allora deve essere soddisfatta la disuguaglianza:

$$a_0^* \geq \frac{a_g(P_{VR})S}{q}$$

dove  $a_0^*$  è l'accelerazione spettrale che attiva il meccanismo,  $a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima al sito<sup>506</sup>,  $P_{VR}$  indica la probabilità di superamento nel periodo di riferimento,  $q$  è il fattore di struttura, che è assunto pari a 2.0 ed  $S$  è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente<sup>507</sup>:

$$S = S_S \cdot S_T$$

in cui  $S_S$  è il coefficiente di amplificazione stratigrafica ed  $S_T$  è il coefficiente di amplificazione topografica, entrambi forniti dalla norma in base rispettivamente alle tabelle 3.2.V e 3.2.VI.

Se la verifica riguarda una porzione della costruzione posta ad una certa quota, allora è necessario tener conto che l'accelerazione risulterà amplificata rispetto a quella al suolo, per questo, oltre alla precedente, deve essere soddisfatta anche la disuguaglianza:

$$a_0^* \geq \frac{S_s(T_1) \cdot \psi(Z) \cdot \gamma}{q}$$

<sup>503</sup> Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, par. C8A.4.2.3 Verifiche di sicurezza.

<sup>504</sup> Ibid..

<sup>505</sup> Ibid..

<sup>506</sup> DM 14 gennaio 2008, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, Par. 3.2 Azione sismica.

<sup>507</sup> Ibid., Par. 3.2.3.2.1 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali.

Come indicato nella Circolare:

- $S_e(T_1)$  è lo spettro elastico definito nel § 3.2.3.2.1 delle NTC, funzione della probabilità di superamento dello stato limite scelto (in questo caso 63%) e del periodo di riferimento  $V_R$  come definiti al § 3.2. delle NTC, calcolato per il periodo  $T_1$ ;
- $T_1$  è il primo periodo di vibrazione dell'intera struttura nella direzione considerata;
- $\psi(Z)$  è il primo modo di vibrazione nella direzione considerata, normalizzato ad uno in sommità all'edificio; in assenza di valutazioni più accurate può essere assunto  $\psi(Z)=Z/H$ , dove  $H$  è l'altezza della struttura rispetto alla fondazione;
- $Z$  è l'altezza, rispetto alla fondazione dell'edificio, del baricentro delle linee di vincolo tra i blocchi interessati dal meccanismo ed il resto della struttura;
- $\gamma$  è il corrispondente coefficiente di partecipazione modale (in assenza di valutazioni più accurate può essere assunto  $\gamma = 3N/(2N+1)$ , con  $N$  numero di piani dell'edificio).

La seconda alternativa è rappresentata dalla «verifica mediante spettro di capacità (analisi cinematica non lineare)». L'approccio prevede il confronto fra la capacità di spostamento ultimo,  $d_u^*$ , del meccanismo locale e la domanda di spostamento. Questa è data dallo spettro di spostamento in corrispondenza del periodo secante  $T_S$ . Come indicato dalla Circolare, noti lo spostamento  $d_s^*=0.4 d_u^*$  e l'accelerazione  $a_s^*$ , individuata sulla curva di capacità, e corrispondente allo spostamento  $d_s^*$ , il periodo secante è dato

$$\text{da: } T_S = 2\pi \sqrt{\frac{d_s^*}{a_s^*}}$$

Se la verifica interessa un elemento isolato o una porzione della costruzione comunque sostanzialmente appoggiata a terra, allora dovrà essere soddisfatta la disuguaglianza:

$$d_u^* \geq S_{De}(T_S)$$

in cui  $S_{De}$  indica lo spettro di risposta elastico, definito secondo le NTC<sup>508</sup>.

Mentre, se il meccanismo locale interessa una porzione della costruzione posta ad una certa quota, oltre a verificare che sia soddisfatta la precedente relazione, deve essere anche verificata la seguente:

$$d_u^* \geq S_{De}(T_1) \cdot \psi(Z) \cdot \gamma \frac{\left(\frac{T_S}{T_1}\right)^2}{\sqrt{\left(1 - \frac{T_S}{T_1}\right)^2 + 0.02 \frac{T_S}{T_1}}}$$

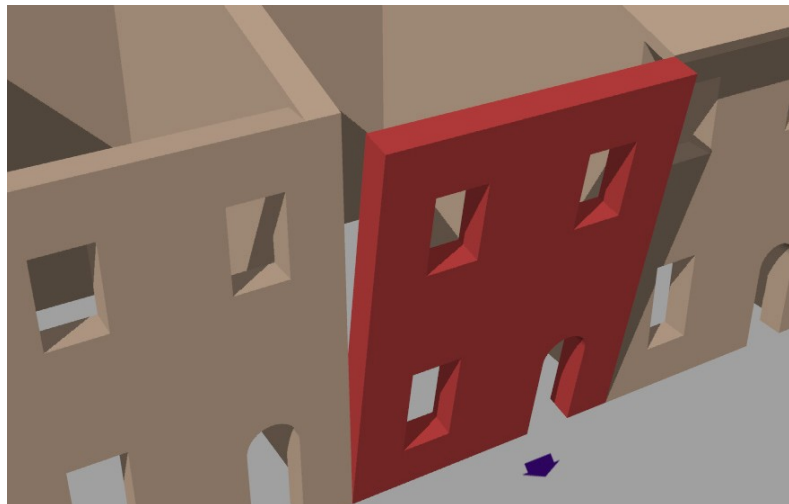
#### 4.2.1 I Meccanismi del Primo Modo

Sulla base delle osservazioni condotte in diversi centri abitati, dopo eventi sismici in alcuni casi devastanti, possiamo distinguere, all'interno dei meccanismi del primo modo o fuori dal piano, i seguenti quattro casi<sup>509</sup>: ribaltamento semplice, ribaltamento composto, flessione verticale e flessione orizzontale.

<sup>508</sup> *Ibid.*, Par. 3.2.3.2.3 Spettro di risposta elastico in spostamento delle componenti orizzontali.

<sup>509</sup> Regione Marche, Consiglio Nazionale delle Ricerche - I.T.C., Università degli Studi dell'Aquila, *Repertorio dei meccanismi di danno, delle tecniche di intervento e dei relativi costi negli edifici in muratura*, Tipografia Grafiche Scarponi, Osimo (AN), 2007, p. 135.

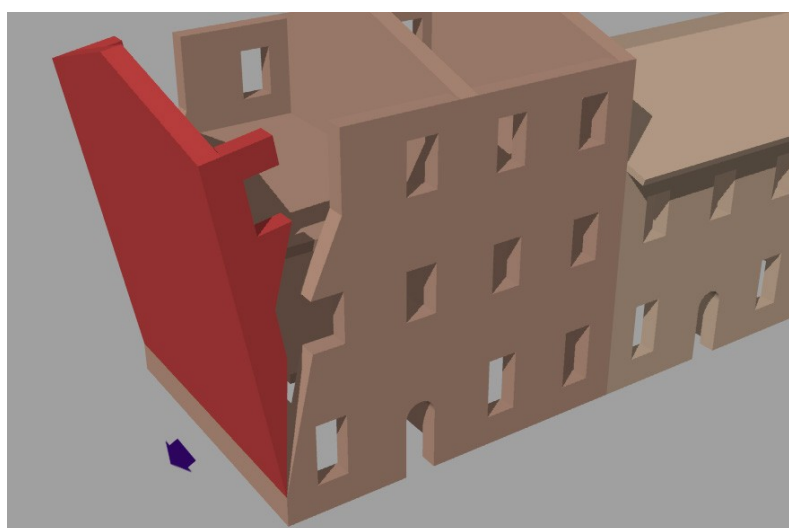
Il ribaltamento semplice si verifica quando una parete subisce una rotazione rigida attorno ad una cerniera cilindrica orizzontale, posta alla base della stessa parete. Tale rotazione è attivata dall'azione sismica che sollecita il solido murario. Se le pareti non sono adeguatamente ammorsate e sono assenti dispositivi, quali cordoli o catene, l'edificio ha una maggiore propensione a subire i danni prodotti dal terremoto, infatti, non essendo ben vincolate, le pareti sono indotte al ribaltamento; così come, se i solai non risultano adeguatamente incastrati, possono verificarsi sfilamenti delle travi.



**Fig. 4.33 Ribaltamento semplice**

Il meccanismo descritto si manifesta attraverso la presenza di fuori piombo e la conseguente formazione di fessure verticali in corrispondenza dell'incrocio fra la tesa ribaltante e le pareti ad essa ortogonali. Negli edifici a più livelli, il ribaltamento può interessare tutta la parete nella sua altezza oppure soltanto una parte, ad esempio uno o più piani dell'edificio, in base ai vincoli esistenti ai vari livelli, quindi anche la posizione della cerniera andrà opportunamente considerata ai fini della determinazione del moltiplicatore di collasso. Inoltre, la geometria dell'elemento che tende a ribaltare è relazionata alla presenza di aperture, alla loro forma e soprattutto alle modalità costruttive attraverso le quali sono state realizzate.

Il caso del ribaltamento composto si verifica, invece, quando negli edifici d'estremità, porzioni di muratura, ortogonali alla parete che subisce il ribaltamento, sono trascinate dalla rotazione. Il problema si presenta quando le connessioni fra le murature risultano sufficientemente adeguate, ma sono assenti vincoli sulla sommità delle pareti, efficaci contro il ribaltamento delle stesse.



**Fig. 4.34 Ribaltamento composto**

Il meccanismo descritto non è tipico delle cellule edilizie nate come completamento di un aggregato esistente, al contrario, si osserva nelle unità strutturali realizzate per prime, che magari hanno un buon ammassamento fra le pareti ortogonali. Nei centri storici è sempre utile, ove possibile, ricostruire la storia evolutiva degli aggregati: in questo modo è più facile individuare le carenze strutturali esistenti e prevedere i meccanismi attivabili.

Ancora una volta, come per il ribaltamento semplice, quello composto assume una geometria variabile in relazione sia al tipo di vincolo esistente fra i solai e le pareti perimetrali, che alla presenza di aperture. Il cosiddetto «*cuneo di distacco*»<sup>510</sup> è disegnato da lesioni diagonali ed è fortemente influenzato dalla qualità muraria. Si è più volte evidenziato come le diverse modalità di posa in opera dei materiali costituenti la muratura, influenzino il comportamento delle pareti alle sollecitazioni sismiche e di conseguenza la natura delle fessure è piuttosto mutevole e varia.

La flessione verticale si osserva negli edifici in cui le pareti sono ben collegate con quelle adiacenti e la sommità dell'edificio è ben vincolata, ad esempio grazie alla presenza dei cordoli, l'unica parte che è libera di ruotare è quella centrale, come in Figura 4.35.

Una situazione di questo tipo può presentarsi quando un solaio intermedio fra due livelli non è saldamente incastrato nella muratura. Tuttavia, il meccanismo può verificarsi, anche se tutti i solai sono ben collegati, in tal caso, saranno le porzioni di parete comprese fra due solai a crollare per instabilità verticale, sotto l'effetto di un'azione sismica. Quest'ultima forma di ribaltamento avviene con una certa facilità nelle murature realizzate a sacco, in quelle che non presentano elementi di collegamento trasversale oppure in quelle realizzate con malte che hanno scarsa resistenza a trazione, soprattutto a seguito di interventi di consolidamento, che hanno migliorato soltanto i collegamenti fra le pareti e fra queste e i solai.

Con la flessione verticale le pareti manifestano un evidente spanciamento e in generale i fuori piombo rappresentano i segnali premonitori del meccanismo in atto. La geometria del macroelemento che subisce il fenomeno è relazionata oltre che ai vincoli presenti, anche alle aperture disposte nella parete, nonché alla qualità della muratura e al sistema costruttivo con cui è stata messa in opera.

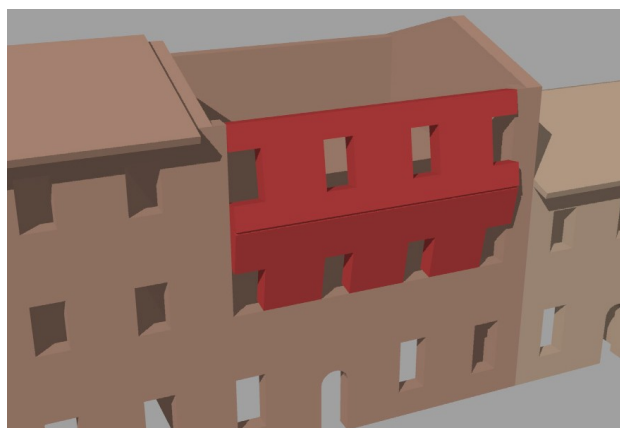
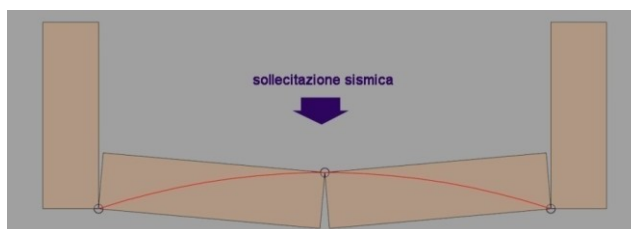


Fig. 4.35 Flessione verticale

Analoga alla flessione verticale, quella orizzontale avviene quando la scatola muraria, pur presentando pareti ben ammassate, non è dotata di vincoli in sommità ed è soggetta all'«*effetto arco orizzontale*»<sup>511</sup>. Il meccanismo è attivato dall'azione sismica ortogonale alla parete ed è stato osservato come la spinta di solai e coperture contribuisca in maniera significativa al ribaltamento del macroelemento interessato. La presenza di tiranti costituisce un valido strumento di prevenzione, anche se negli edifici storici non è frequente riscontrare presidi in grado di migliorare il comportamento dei pannelli murari.

<sup>510</sup> *Ibid.*, pag. 137.

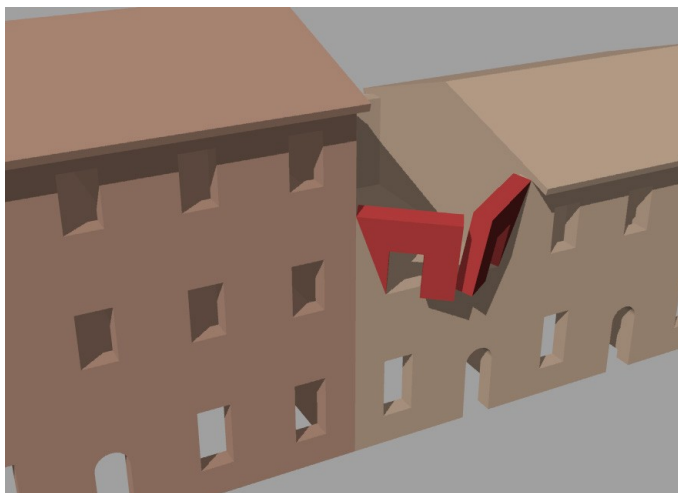
<sup>511</sup> *Ibid.*, pag. 138.



**Fig. 4.36 Effetto arco orizzontale**

Con l'attivazione del meccanismo si formano tre cerniere, di cui una in mezzeria e due laterali, all'incrocio fra la parete che subisce il ribaltamento e quelle a essa ortogonali, come in Figura 4.36. Il meccanismo si innesca quando sono proprio le pareti laterali a non sopportare le spinte dovute, ad esempio, all'azione di archi e volte o coperture pesanti. Nelle schiere, se dette spinte sono adeguatamente contrastate dalle pareti contigue, è più difficile riscontrare fenomeni di flessione orizzontale.

Sembra utile osservare che le pareti di minor spessore, realizzate per lasciar posto a impianti tecnologici e canne fumarie predispongono il pannello murario al meccanismo descritto. In relazione alla presenza di cavedii e di aperture cambia la forma e la dimensione del macroelemento interessato dal ribaltamento. Inoltre, nelle murature composte di più paramenti è possibile assistere al ribaltamento della sola cortina esterna. Durante un evento sismico, quindi, una muratura, che ha scarsa monoliticità e insufficiente resistenza degli elementi costituenti, esibisce chiaramente le mancanze legate alle caratteristiche costruttive. Si ribadisce che la qualità della muratura riveste un ruolo determinante nel contrastare i meccanismi potenzialmente attivabili.



**Fig. 4.37 Flessione orizzontale**

#### 4.2.2 I Meccanismi del Secondo Modo

I meccanismi di danno nel piano della parete determinano la formazione di lesioni variabili per estensione e forma. Tali lesioni possono interessare sia i maschi murari, sia le fasce di piano, che entrambe gli elementi. Inoltre, si possono riscontrare danni anche in corrispondenza di aperture o cavedii impiantistici. Nel *Manuale* delle schede AeDES<sup>512</sup> sono stati individuati ben dodici diversi tipi di lesioni:

<sup>512</sup> Dipartimento della Protezione Civile, *Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AeDES)*, Roma, 2009, p. 57.



- 1: lesioni ad andamento pressoché verticale sulle architravi di apertura;
- 2: lesioni ad andamento diagonale nelle fasce di piano (parapetti di finestre, architravi);
- 3: lesioni ad andamento diagonale in elementi verticali (maschi murari);
- 4: schiacciamento locale delle armatura con o senza espulsione di materiale;
- 5: lesioni ad andamento pressoché orizzontale in testa e/o al piede di maschi murari;
- 6: lesioni ad andamento pressoché verticale in corrispondenza di incroci fra muri;
- 7: come 6 ma passanti;
- 8: espulsione di materiale in corrispondenza degli appoggi di travi dovuta a martellamento;
- 9: formazione di cuneo dislocato in corrispondenza della intersezione fra due pareti ad angolo;
- 10: rottura di catene o sfilamento di ancoraggio;
- 11: lesioni ad andamento orizzontale in corrispondenza dei solai o sottotetto;
- 12: distacco di uno dei paramenti di un muro a doppio paramento.

Le lesioni “tipo” sopraelencate sono state riscontrate frequentemente nel caso del comune di Arsita (TE). Di seguito sono rappresentati alcune delle relsioni rilevate.



Fig. 4.38 Danneggiamenti nel piano riscontrati nell'edificio di Arsita (TE) (Fotografie: ENEA C. R. Bologna)



Le cause dei danni prodotti dal sisma sono riconducibili alle azioni taglianti e/o flettenti che si innescano negli edifici durante il terremoto. Inoltre, l'azione ciclica del sisma non ha gli stessi effetti su tutti i manufatti edilizi: gli aspetti geologici, nonché quelli costruttivi hanno una notevole incidenza. Il quadro fessurativo che si presenta immediatamente dopo l'evento mette in luce proprio le carenze che, come più volte evidenziato, riguardano, in particolare, la qualità della muratura e le modalità di messa in opera degli elementi strutturali.

#### 4.2.3 L'Analisi Locale: c-Sisma

Il calcolo e le verifiche dei meccanismi che interessano le pareti degli edifici in muratura possono essere condotte con l'ausilio di software specifici. Fra questi, si considera qui il c-Sisma 3.0 Pro<sup>513</sup>, sviluppato dall'Università degli Studi di Padova, da C. Modena, M. R. Valluzzi, M. Zenere, con i contributi di G. Benincà, E. Barbetta, M. Munari.

Una volta individuati i meccanismi attivabili, il software è in grado di determinare il moltiplicatore delle masse inerziali  $c=a/g$ , per ogni cinematismo; nella versione Pro è possibile effettuare l'analisi per venti meccanismi fuori piano per strisce verticali. Il programma individua il valore minimo fra i meccanismi considerati e svolge le verifiche di sicurezza, secondo l'attuale normativa. L'elenco dei meccanismi «di tipo 1» comprende:

- 1.1 Parete un piano semplicemente appoggiata;
- 1.2 Parete un piano doppia cortina semplicemente appoggiata;
- 1.3 Parete due piani semplicemente appoggiata;
- 1.4 Parete un piano connessa alla muratura ortogonale;
- 1.5 Parete un piano trattenuta superiormente da tirante;
- 1.6 Parete due piani trattenuta da tiranti;
- 1.7 Parete trattenuta superiormente da cordolo;
- 1.8 Parete un piano trattenuta superiormente da cordolo assimilato a tirante;
- 1.9 Parete tre piani semplicemente appoggiata;
- 1.10 Parete tre piani trattenuta da tiranti;
- 1.11 Parete tre piani ribaltamento globale (Vulnus\*);
- 1.12 Parete tre piani rottura per trazione dell'ultimo piano (Vulnus\*);
- 1.13 Parete due piani ribaltamento globale (Vulnus\*);
- 1.14 Parete due piani rottura per trazione dell'ultimo piano (Vulnus\*);
- 1.15 Parete tre piani ribaltamento globale con coefficiente d'attrito e di compenetrazione;
- 1.16 Parete due piani ribaltamento globale con coefficiente d'attrito e di compenetrazione;
- 1.17 Parete con solai non allineati;
- 1.18 Parete trattenuta superiormente da cordolo;
- 1.19 Parete quattro piani semplicemente appoggiata;
- 1.20 Parete quattro piani trattenuta da tiranti.

\* Vulnus versione '99

---

<sup>513</sup> Università degli Studi di Padova, Facoltà di Ingegneria, Dipartimento di Costruzioni e Trasporti, *Manuale d'uso del Programma c-Sisma 3.0 PRO*, programma di C. Modena, M. R. Valluzzi, M. Zenere, con i contributi di G. Benincà, E. Barbetta, M. Munari, novembre 2009.

Il primo form da compilare riguarda, dunque, la scelta dei tipi di vincoli riferiti alla striscia unitaria di parete in esame. Per facilitare la comprensione delle opzioni proposte è possibile far riferimento alla «Descrizione meccanismi», in cui sono esemplificati i casi contemplati dal programma, rappresentati in Figura 4.39, che trovano riscontro nelle situazioni reali dei centri storici. Questo primo passaggio è molto importante per impostare le fasi di elaborazione dati e di conseguenza per l'esito finale dei risultati.

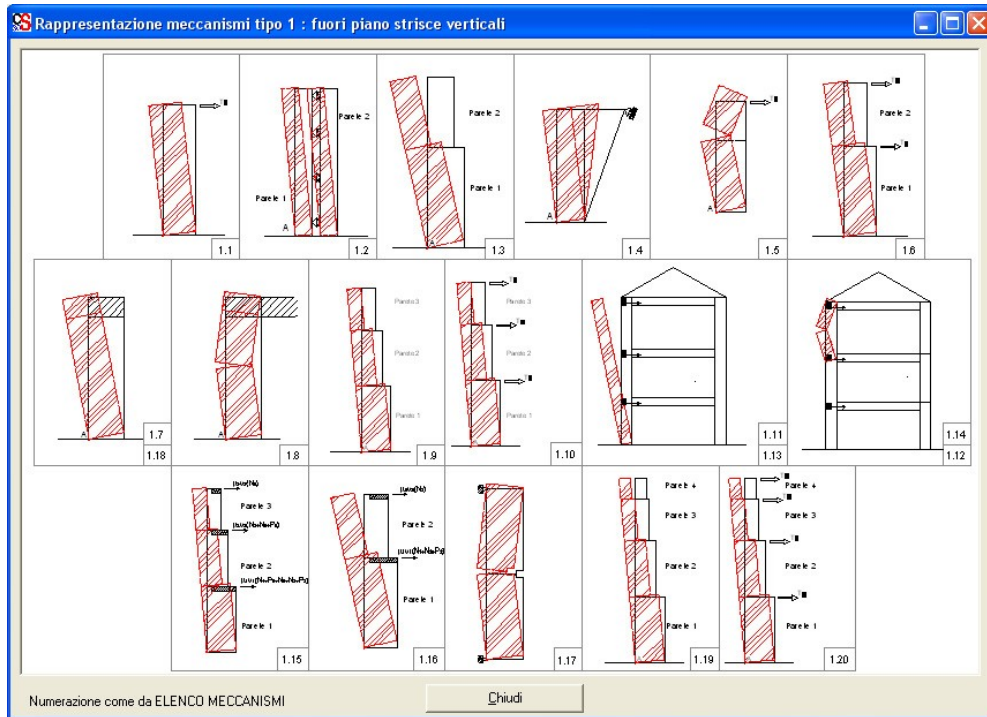


Fig. 4.39 Rappresentazione meccanismi tipo 1 (Finestra del software c-Sisma)

In seguito, il software permette di definire le «variabili» necessarie, quali i dati geometrici della parete considerata, il materiale costituente, che può essere selezionato dall'apposito elenco, i carichi agenti. Se nell'archivio non è presente il materiale della parete oggetto d'analisi è anche possibile inserire manualmente i valori dei parametri utili, quali la resistenza a compressione, quella a trazione e la densità specifica. Il programma, ancora una volta, fornisce validi schemi per chiarire quali sono le variabili che occorre definire, come quello di Figura 4.40, riferito al meccanismo 1.1.

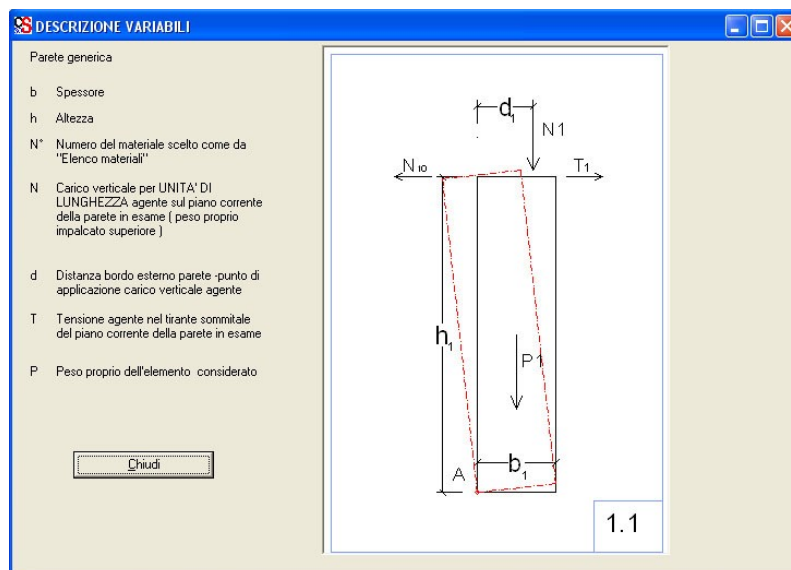


Fig. 4.40 Descrizione variabili (Finestra del software c-Sisma)

Per quanto riguarda i carichi, invece, questi sono considerati per metro lineare e le verifiche allo stato limite in considerazione sono effettuate per la seguente combinazione dell'azione sismica con le altre azioni<sup>514</sup>:

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_j(\psi_{2j} Q_{kj})$$

In c-Sisma i valori dei pesi propri di solaio,  $G_k$ , sono inseriti nell'apposito spazio «Carichi agenti»  $N_i$  ai vari piani; mentre nella sezione «Combinazioni di carico» possono essere inseriti sia i dati sul «Sovraccarichi accidentale» che quelli relativi all'«Area di carico», pertanto in questa sezione sono espresse le azioni variabili ai vari piani,  $Q_k$ , e le relative aree di influenza. Il programma considera i carichi agenti sulle pareti ai diversi piani e i carichi accidentali del solaio secondo due diverse combinazioni, che si differenziano in base ai coefficienti  $\psi_{2i}$ , definiti dalle NTC in tabella 2.5.I - *Valori dei coefficienti di combinazione*.

Come spiegato nel *Manuale*<sup>515</sup> del software, le combinazioni di carico disponibili sono due. La prima ricorre a valori predefiniti dei coefficienti di combinazione  $\psi_{2i}$ :

$\psi_{2i} = 0,3$  per gli impalcati intermedi (categoria A - ambienti ad uso residenziale)

$\psi_{2i} = 0,2$  per l'impalcato di copertura ultimo piano (neve a quota >1000 m s.l.m.)

La combinazione 1 si basa sulla seguente formula:

$$G_k + \sum_i (0.3 \cdot Q_{k,es,i}) + 0.2 \cdot Q_{k,n}$$

dove  $Q_{k,es,i}$  sono i carichi accidentali degli i-esimi piani e  $Q_{k,n}$  è l'eventuale carico di neve.

La seconda combinazione di carico utilizza i valori dei coefficienti di combinazione  $\psi_{2i}$  definiti dall'utente e si basa sulla seguente formula:

$$\psi_1 G_k + \sum_i (\psi_2 \cdot Q_{k,es,i}) + \psi_3 \cdot Q_{k,n}$$

in cui  $\psi_1$  indica il coefficiente di combinazione dei carichi permanenti definito dall'utente,  $\psi_2$  è il coefficiente di combinazione dei sovraccarichi accidentali degli i-esimi piani e  $\psi_3$  è il coefficiente di combinazione dell'eventuale carico di neve.

Infine, nello stesso form è possibile selezionare l'opzione riguardante la parzializzazione delle sezioni reagenti. Nella realtà, infatti, la cerniera cilindrica attorno alla quale si verifica la rotazione non corrisponde allo spigolo esterno della parete, ma la cerniera è posta in un punto più interno dello spessore murario. Ciò è dovuto alla cattiva connessione dei conci d'angolo oppure alla friabilità del materiale. Selezionando il campo «Parete parzializzata alla base», l'equilibrio dei momenti sarà calcolato riducendo i bracci dei carichi agenti.

<sup>514</sup> DM 14 gennaio 2008, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, Par. 3.2.4 *Combinazione dell'azione sismica con le altre azioni*.

<sup>515</sup> Università degli Studi di Padova, *Manuale d'uso del Programma c-Sisma 3.0 PRO*, op. cit., pp. 59-60.

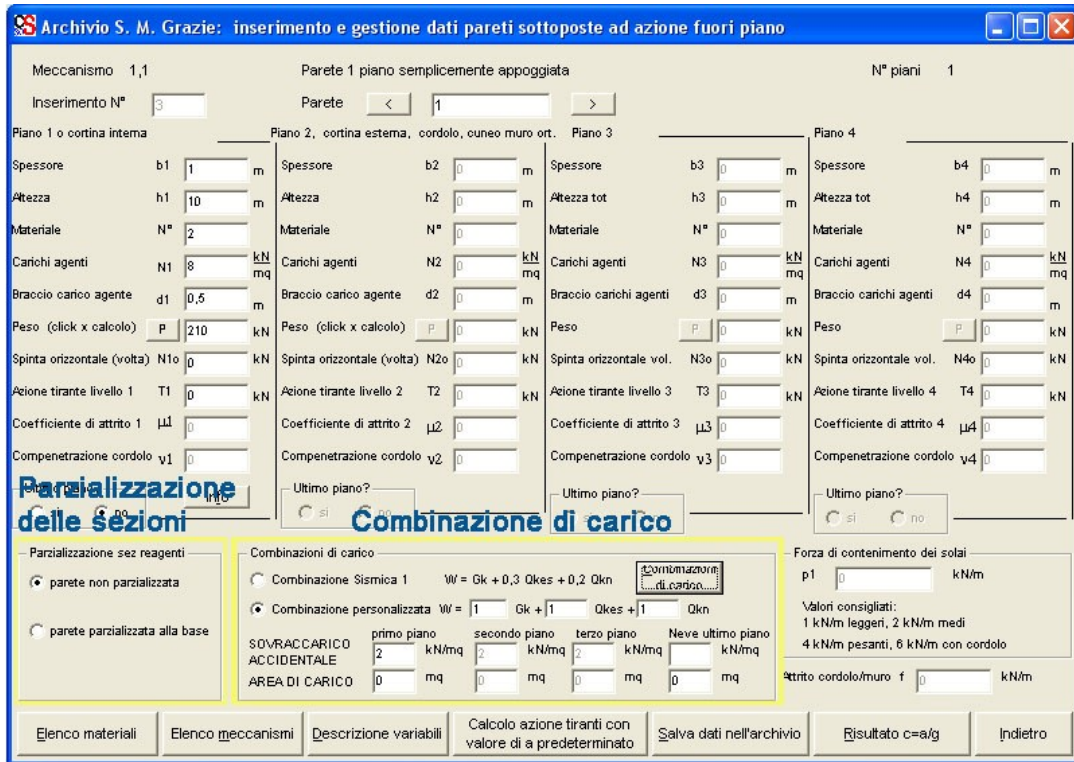


Fig. 4.41 L’inserimento dei dati (Finestra del software c-Sisma)

Oltre ai dati finora considerati, come stabilito dalle NTC, è anche necessario definire le informazioni riguardanti l’«Azione Sismica»<sup>516</sup>. Per questo, dal Menù principale, selezionando l’apposita voce, è possibile accedere alle sezioni: «Caratteristiche del Sito» e «Fattore di Confidenza». Nel form concernente le caratteristiche del sito si inseriscono, oltre all’altezza dell’edificio in esame, anche le seguenti informazioni sull’azione sismica in relazione al tempo di ritorno  $T_R$  considerato e allo Stato Limite di riferimento:

- Accelerazione orizzontale massima al sito  $a_g$ ,
- Fattore amplificazione spettrale massima  $F_o$ ,
- Periodo inizio tratto velocità costante Spettro  $T^*_c$ ,
- Fattore di smorzamento viscoso  $\eta$ ,
- Fattore di struttura  $q$ ,
- Categoria di suolo di fondazione,
- Coefficiente di amplificazione topografica.

Il fattore di confidenza è relazionato ai diversi livelli di conoscenza<sup>517</sup> dell’edificio, ai quali abbiamo fatto riferimento nel Capitolo 2, e può essere sia definito dall’utente, sia stabilito sulla base delle indicazioni delle Linee Guida per il patrimonio culturale<sup>518</sup>. Secondo queste, il fattore di confidenza può essere determinato considerando i fattori parziali  $F_{Ck}$  ( $k=1,4$ ) sulla base dei coefficienti della tabella 4.8 contenuta nelle Linee Guida.

$$F_C = 1 + \sum_{k=1}^4 F_{Ck}$$

<sup>516</sup> D. M. 14 gennaio 2008, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, Par. 3.2 Azione sismica.

<sup>517</sup> Per edifici in muratura si fa riferimento alla Tabella C8A.1.1 della Circolare n. 617 del 02/02/2009.

<sup>518</sup> Ministero per i Beni e le Attività Culturali, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, Gangemi Editore, Roma, 2006, pp. 35-36.

**Tabella 4.8 - Definizione dei livelli di approfondimento delle indagini sui diversi aspetti della conoscenza e relativi fattori parziali di confidenza**

Rilievo geometrico	Rilievo materico e dei dettagli costruttivi	Proprietà meccaniche dei materiali	Terreno e fondazioni
rilievo geometrico completo $F_{C1}=0.5$	limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi $F_{C2}=0.12$	parametri meccanici desunti da dati già disponibili $F_{C3}=0.12$	limitate indagini sul terreno e le fondazioni, in assenza di dati geologici e disponibilità d'informazioni sulle fondazioni $F_{C4}=0.06$
rilievo geometrico completo, con restituzione grafica dei quadri fessurativi e deformativi $F_{C1}=0$	esteso rilievo materico e degli elementi costruttivi $F_{C2}=0.06$	limitate indagini sui parametri meccanici dei materiali $F_{C3}=0.06$	disponibilità di dati geologici e sulle strutture fondazionali; limitate indagini sul terreno e le fondazioni $F_{C4}=0.03$
	esaustivo rilievo materico e degli elementi costruttivi $F_{C2}=0$	estese indagini sui parametri meccanici dei materiali $F_{C3}=0$	estese o esaustive indagini sul terreno e le fondazioni $F_{C4}=0$

Con l'inserimento di tutti i dati necessari è possibile ottenere il valore di  $c$ . Il software automaticamente individua il coefficiente di attivazione  $c$  minimo, confrontando i risultati ottenuti per i diversi meccanismi considerati.

Il successivo passaggio è rappresentato dalle verifiche di sicurezza. Ancora una volta è necessario compilare l'apposito form del programma, che comprende alcuni dati già noti dai precedenti passaggi, come quelli riguardanti la parete e la definizione dell'azione sismica e altri dati non ancora considerati come la quota d'imposta del meccanismo e il numero totale di piani dell'edificio. Inoltre, in questa fase è ancora possibile modificare alcune informazioni, in particolare quelle sulle caratteristiche del sito, mentre non possono essere cambiati i dati geometrici o i carichi agenti sulla parete in esame. Le verifiche di sicurezza eseguite dal software, come prescritto dalla normativa vigente, sono svolte mediante analisi cinematica lineare allo Stato Limite di Danno e allo Stato Limite Ultimo oppure mediante analisi cinematica non lineare le verifiche di sicurezza possono essere svolte allo Stato Limite Ultimo.

#### 4.2.4 L'Analisi degli Aggregati: Vulnus

Nei centri storici, la presenza di aggregati edilizi, più o meno estesi, rende utile valutare l'interazione che ogni unità intrattiene con quelle contigue. Ciascuna cellula si sviluppa, all'interno dell'aggregato, secondo diverse logiche compositive: talvolta, occupando i vuoti interclusi fra cellule già esistenti, altre volte, affiancandosi a quelle, altre ancora andando a occupare gli incroci fra le strade, disponendosi in testa a un aggregato già formato. La storia dei processi evolutivi della morfologia del costruito risulta, senza dubbio, uno strumento validissimo per conoscere le fasi di formazioni degli aggregati e i mutui legami fra le unità strutturali che li compongono.

Nel tentativo di studiare l'interazione fra i vari corpi edilizi, l'Università di Padova, già nella seconda metà degli anni Ottanta del Novecento ha elaborato una procedura per valutare la vulnerabilità sismica di edifici in muratura isolati oppure parte di nuclei più complessi interagenti. La metodologia, chiamata Vulnus<sup>519</sup>, è stata originariamente proposta da A. Bernardini, R. Gori, C. Modena e nel corso degli anni è stata oggetto di revisioni e approfondimenti, attualmente è disponibile la versione Visual Basic<sup>®</sup> 4.0 del 2009 di M. R. Valluzzi, con i contributi di G. Benincà, E. Barbetta e M. Munari.

<sup>519</sup> Università degli Studi di Padova, Facoltà di Ingegneria, Dipartimento di Costruzioni e Trasporti, *Manuale d'uso del Programma Vulnus 4.0*, programma originario di A. Bernardini, R. Gori, C. Modena, versione Vb a cura di M. R. Valluzzi, con i contributi di G. Benincà, E. Barbetta, M. Munari, dicembre 2009.

Vulnus è nato parallelamente a c-Sisma per completare lo studio dei centri storici con valutazioni di vulnerabilità. Il programma, infatti, è in grado di determinare tre indici chiamati  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ , che, opportunamente combinati, consentono di formulare un giudizio sulla vulnerabilità sismica delle singole unità strutturali oppure dell'intero aggregato edilizio, consentendo, infine, di ottenere la vulnerabilità di un intero nucleo urbano. Inoltre, con questa procedura è possibile calcolare il valore atteso del danno, ricorrendo a curve di fragilità, e confrontare il risultato finale con la scala di intensità macrosismica EMS98. Gli indici sono così definiti:

- *I1: il rapporto fra la somma della resistenza a taglio del piano medio delle pareti fra di loro parallele nella direzione più debole tra le due principali dell'edificio ed il peso totale dell'edificio, eventualmente corretto per tener conto di irregolarità in pianta ed in altezza che possono innescare effetti rotazionali e disuniformi distribuzioni delle tensioni normali e tangenziali. Tale parametro adimensionale assume il significato di rapporto critico fra accelerazione media delle masse ( $A$ ) e accelerazione di gravità ( $g$ ). Il calcolo esige una stima della resistenza media al taglio per trazione diagonale, che può essere ottenuta da dati sperimentali di laboratorio su tipologie analoghe.*

- *I2: rapporto adimensionale fra accelerazione media di attivazione di meccanismi fuori del piano nelle condizioni più critiche e accelerazione di gravità. Sono valutate separatamente, tramite analisi limite di diversi modelli cinematici elementari alternativi, le resistenze di pannelli verticali di muratura delle pareti esterne dell'edificio, vincolati ai solai tramite forze di confinamento, e di pannelli orizzontali, vincolati ai muri trasversali nelle zone nodali; nel caso di strisce verticali. L'accelerazione locale ai diversi piani è stimata assumendo una distribuzione proporzionale all'altezza. È richiesta una valutazione della resistenza a trazione e compressione della muratura ed inoltre delle forze di contenimento che si possono sviluppare a livello dei solai, sia per presenza di vere e proprie catene metalliche, sia per altri meccanismi resistenti, anche di tipo attritivo (ad esempio nello sfilamento di travi di solai lignei inserite nelle pareti portanti). L'analisi delle sole pareti esterne è in accordo con le osservazioni empiriche sul danneggiamento degli edifici colpiti da sisma: in setti interni oppure perimetrali a contatto con altri edifici di altezza maggiore non si attivano meccanismi di collasso fuori dal piano per strisce verticali di muratura.*

- *I3: somma pesata dei punteggi dei fattori parziali di vulnerabilità considerati nella scheda G.N.D.T. di Il livello: tale valore viene normalizzato fra 0 (edificio a regola d'arte o costruito in accordo con normative antisismiche) ed 1. È un parametro empirico che tiene conto di fattori qualitativi non considerati dai parametri di calcolo e che richiama l'indice di vulnerabilità definito da (Benedetti e Petrini, 1984), peraltro scartando quei parametri implicitamente valutati tramite i precedenti due indici.<sup>520</sup>*

#### 4.2.4.1 La Scheda di Rilievo

Il programma si basa sulle informazioni raccolte attraverso un'apposita scheda di rilievo, in Figura 4.42, analoga a quelle presentate nel precedente capitolo, ma elaborata per effettuare le analisi offerte dal software. I dati acquisiti sono impiegati, prima di tutto, per determinare gli indici  $I_1$  e  $I_2$ , necessari per le valutazioni di vulnerabilità.

La scheda è divisa nelle cinque sezioni evidenziate. La prima di queste, in alto a sinistra, riporta i dati identificativi dell'oggetto di studio, quali Comune, Provincia, numero di scheda, utile anche a individuare l'edificio in esame, la data, la squadra di rilevatori. La seconda sezione, in alto a destra, raccoglie le informazioni catastali: se l'edificio comprende più unità edilizie, diverse per epoca di costruzione, volumetria, materiali, tecniche costruttive, fondazioni, tali unità devono essere considerate singolarmente, tenendo conto dell'interazione delle pareti comuni.

<sup>520</sup> *Ibid.*, p. 6.





Nella sezione dedicata alle caratteristiche generali dell'edificio (4) si considerano: il materiale delle pareti, lo stato di conservazione del materiale, il numero di piani dell'edificio, la tipologia dei solai, la regolarità dell'edificio in pianta, l'altezza, la superficie, l'orditura dei solai, la regolarità degli impalcati, il contenimento delle pareti.

Per quanto riguarda il materiale, si assume quello predominante, nell'ipotesi che la disuniformità sia limitata, in caso contrario si considera il materiale meccanicamente inferiore e nel caso le pareti siano di materiale diverso, in base ai piani, si può assumere quello del livello considerato. Il *Manuale* del software fornisce i valori della resistenza a compressione e a trazione, nonché quelli della densità specifica di cinque tipologie di materiali, tuttavia nell'ipotesi che l'oggetto di studio sia realizzato con materiali differenti, è anche possibile aggiungere dei nuovi valori.

Lo stato di conservazione del materiale è valutato dai rilevatori attraverso una scala di giudizio che offre tre possibilità: buono, mediocre, scadente. A queste valutazioni si affianca anche quella «non identificato». In base alla scelta effettuata le caratteristiche meccaniche del materiale sono moltiplicate per una grandezza adimensionale, anche questa indicata dalle tabelle del *Manuale*.

Il numero di piani è conteggiato escludendo eventuali piani completamente interrati su tutti i lati. Inoltre, se l'edificio non ha un numero di piani uniforme, è necessario tralasciare eventuali sopraelevazioni e considerare il numero di piani dominante.

La tipologia dei solai è individuata in relazione al peso per unità di superficie, considerando anche la quota del sovraccarico permanente, alla rigidità nel piano e all'ammorsamento fra il solaio e le pareti. Anche in questo caso, è necessario tener conto della tipologia di solaio dominante, nel caso in cui all'interno della stessa unità siano presenti più tipologie. Comunque, per effettuare una valutazione a favore di sicurezza, si tiene conto della situazione più sfavorevole, quindi, si fa riferimento ai solai che hanno minori possibilità di contrastare efficacemente l'azione sismica. Il *Manuale* di Vulnus propone la seguente tabella<sup>521</sup> per classificare le tipologie di solai.

**Tabella 4.9 - Classificazione delle tipologie di solaio**

CARICO PERMANENTE SOLAI		
1) non identificato		$G + Q = 3.7 \text{ kN/m}^2$
2) molto leggero ( $1.5 \text{ kN/m}^2$ )	legno (anche irrigidito) putrelle e tavelloni	$G + Q = 2.2 \text{ kN/m}^2$
3) leggero ( $3.0 \text{ kN/m}^2$ )		$G + Q = 3.7 \text{ kN/m}^2$
4) medio ( $4.5 \text{ kN/m}^2$ )	laterocemento	$G + Q = 5.2 \text{ kN/m}^2$
5) pesante ( $6.0 \text{ kN/m}^2$ )		$G + Q = 6.7 \text{ kN/m}^2$
6) molto pesante ( $7.5 \text{ kN/m}^2$ )		$G + Q = 8.2 \text{ kN/m}^2$

Per stabilire la regolarità o meno in pianta dell'unità in esame, nella scheda di rilievo di Vulnus, è necessario tener conto delle forature presenti e della distribuzione delle masse. Nel *Manuale* si precisa anche che se l'edificio è parte di un nucleo di edifici, bisogna classificare la pianta come irregolare. Durante le successive fasi di calcolo, Vulnus si avvale di tale informazione per ridurre l'area di pareti e pilastri.

Per l'altezza dell'edificio si considerano valide le stesse precisazioni espresse a riguardo del numero di piani.

Nella misurazione della superficie dell'edificio è necessario considerare il perimetro esterno delle pareti.

L'orditura dei solai è classificata in base alla direzione prevalente degli orizzontamenti, pertanto, accanto all'opzione «non identificato», occorre scegliere fra la direzione X, quella Y oppure entrambe.

<sup>521</sup> *Ibid.*, p. 14.

Lo spazio dedicato alla regolarità degli impalcati serve a indicare la presenza di impalcati spingenti o eventuali sovrappesi. Per questo parametro le opzioni di scelta della scheda sono: non identificata, regolare, inattivo al piano ( ) sui muri paralleli alla direzione X, inattivo al piano ( ) sui muri paralleli alla direzione Y, inattivo al piano ( ) sui muri paralleli alla direzione X e Y, sovrappeso al piano ( ). Attraverso queste informazioni si tiene conto del collegamento fra gli impalcati e le pareti, indispensabile per garantire alla costruzione un buon comportamento scatolare.

Il parametro sul contenimento delle pareti rappresenta la continuità fra solaio e pareti e definisce la forza di contenimento esercitata proprio dai solai sui muri. Questo parametro è influenzato da tre grandezze, che devono essere definite nella scheda di rilievo: il coefficiente di attrito solai-pareti parallele alle direzioni X e Y, il numero di catene sulle pareti parallele alle direzioni X e Y, la lunghezza del prospetto nelle direzioni X e Y. La prima grandezza ha un valore variabile fra 0.3 e 0.6, secondo gli studi effettuati dal G.N.D.T. su alcuni materiali e edifici in muratura di Catania, dopo il terremoto del 1990. La seconda grandezza introdotta serve a considerare la presenza di catene negli edifici storici in muratura, che hanno lo scopo di favorire il comportamento scatolare dell'edificio, aumentando le forze di contenimento. L'ultima grandezza, infine, è indispensabile solo in presenza di catene, in caso contrario, il software utilizza il valore 100 cm, che in fase di calcolo non è preso in considerazione.

L'ultima sezione della scheda di rilievo (5) di Vulnus è dedicata all'individuazione delle caratteristiche delle pareti.

Il primo parametro considerato è l'indice della parete, che serve a individuare un tratto di muratura che collega due pareti ortogonali. Non è necessario che lo spessore del muro sia costante, perché la parete può essere poi divisa in setti di varie dimensioni, a loro volta individuati da due nodi.

L'angolo della parete consente, invece, di indicare l'angolo, espresso in gradi, fra la direzione positiva dell'asse X e la direzione della parete orientata dal nodo iniziale a quello finale.

E' necessario inoltre indicare altri tre parametri, implicitamente già definiti nelle precedenti descrizioni: il nodo iniziale di un setto, il numero dei setti all'interno della parete, il nodo finale del setto.

Altri tre parametri sono di tipo dimensionale: lo spessore del setto, individuato al piano terra, che deve essere espresso in centimetri; la lunghezza del setto, cioè la distanza fra nodo iniziale e nodo finale; la lunghezza dei fori, che rappresenta la somma delle lunghezze delle aperture presenti nel setto.

Per quanto riguarda la definizione delle spalle di estremità, con questo parametro si intendono fornire informazioni circa la possibilità che le aperture presenti nel setto possano indebolire uno o entrambi i nodi d'estremità. La scheda di rilievo, con riferimento alle NTC, considera un nodo indebolito, nel caso la larghezza della spalla fra il foro e il nodo sia più piccola della metà della luce dell'apertura. Anche la mancanza di ammorsamenti o la presenza di canne fumarie, come già evidenziato, contribuisce a indebolire il nodo. Secondo la scheda le opzioni di scelta, in merito alle spalle di estremità, possibili sono: non identificate, spalle regolari, spalla iniziale non regolamentare, spalla finale non regolamentare, spalle non regolamentari.

I successivi elementi di valutazione, sempre all'interno della sezione sulle caratteristiche delle pareti, riguardano lo spessore del setto dell'ultimo piano e il numero di piani dell'edificio contiguo. Quest'ultimo parametro serve a capire se un setto è condiviso o meno con l'unità edilizia adiacente oppure se questo è interno o perimetrale. Se non ci sono setti contigui oppure se i setti perimetrali sono isolati, si attribuisce il valore 0 al parametro, in caso contrario si assegna il punteggio -1.

## 4.2.4.2 Meccanismi di Rottura e Forze di Contenimento

Abbiamo classificato i meccanismi di rottura in due gruppi: quelli che avvengono fuori dal piano della parete e quelli che si verificano nel piano. I primi sono relazionati all'efficienza delle connessioni, i secondi sono fortemente influenzati dalla resistenza del materiale.

Anche in Vulnus è fatta la stessa distinzione. Per quanto riguarda i meccanismi di rottura nel piano, il software si basa sulle seguenti ipotesi: la distribuzione delle masse è uniforme lungo l'altezza dell'edificio, la distribuzione dell'accelerazione è proporzionale all'altezza, le pareti parallele alla direzione del sisma sono soggette a tutta l'azione orizzontale a esse trasferita attraverso i meccanismi di resistenza flessionale dalle pareti ortogonali collegate attraverso i solai.

Il programma calcola automaticamente, per entrambe le direzioni principali dell'edificio, il rapporto fra il taglio alla base e il peso totale dell'edificio, che rappresenta il rapporto fra l'accelerazione orizzontale media sulle masse dell'edificio e l'accelerazione di gravità. Come precisato nel *Manuale*, è applicata la seguente formula<sup>522</sup>:

$$\frac{V}{W} = \frac{\left( \frac{f_t}{1.5} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_t}} \cdot F_t \cdot \frac{k_1}{k_2} \right)}{W}$$

dove:

- $f_t$  è la resistenza media a trazione della muratura (circa uguale a  $1.5 \tau_k$ );
- $F_t$  è la superficie totale della muratura in pianta, depurata dai fori, in corrispondenza al piano terra;
- $k_1$  è il rapporto tra la superficie dei muri paralleli alla direzione del sisma e la superficie totale  $F_t$ ;
- $k_2$  è il coefficiente di amplificazione della sollecitazione tangenziale dipendente dagli effetti di eccentricità delle masse rispetto alla distribuzione in pianta dei muri, ovvero anche dalle disuniformità collegate ai meccanismi di redistribuzione delle forze orizzontali tra le varie pareti: viene assunto pari a 1.0 per edifici essenzialmente regolari e pari a 1.1 per edifici dei quali si è classificata la pianta come irregolare;
- $\sigma_0$  è la tensione media verticale sui muri paralleli alla direzione del sisma:

$$\sigma_0 = \frac{W}{F_t} = \gamma_s \cdot h \cdot n \cdot \left( \frac{F_t''}{F_t} + \frac{q}{\gamma_s \cdot h \cdot f_i} \right)$$

dove:

- $n$  è il numero dei piani;
- $q$  è il carico per unità di superficie del solaio nella situazione sismica;
- $f_i$  è il rapporto tra la superficie dei muri  $F_t$  e la superficie utile coperta in pianta dall'edificio;
- $\gamma_s$  è il peso specifico della muratura;
- $h$  è il valore medio dell'altezza di piano;
- $F_t''$  è il valore medio della superficie totale delle murature, depurata dai fori.

Nel *Manuale* del software è proposta anche una formulazione parametrica, che consente di distinguere gli effetti geometrici legati alla forma della pianta dell'edificio, dall'effetto collegato al numero di piani.

L'indice  $I_1$  di Vulnus, sarà il minore fra i due valori di  $V/W$  determinati per le due sezioni principali dell'edificio.

<sup>522</sup> *Ibid.*, p. 19.

$$I_1 = \min \left( I_{1x} = \frac{V_x}{W}; I_{1y} = \frac{V_y}{W} \right)$$

Negli aggregati edilizi, i setti condivisi da due unità contribuiscono alla resistenza a taglio di entrambe le unità e si assume che questo avvenga in proporzione al numero di piani, per questo si riduce lo spessore delle pareti contigue di edifici della stessa altezza o di minore altezza, proporzionalmente ai carichi di competenza.

Lo spessore del setto condiviso è determinato, ai fini della verifica a taglio, attraverso le seguenti formule, essendo  $s$  ed  $s'$  rispettivamente lo spessore modificato al piano terra e lo spessore modificato al piano ultimo:

$$s = \frac{n \cdot st}{nc + n} \quad s' = \frac{st'}{2 + nc - n}$$

in cui  $st$  e  $st'$  indicano lo spessore totale della parete alla base e all'ultimo piano di un setto di un edificio;  $n$  è il numero di piani in comune con un'altra unità di  $nc$  piani.

Se l'unità contigua è più bassa di quella in esame, il programma automaticamente svolge la riduzione degli spessori al piano terra, mentre all'ultimo piano si assume  $s' = st'$ .

Per quanto attiene ai meccanismi di rottura fuori del piano, nel programma sono presenti una serie di cinematismi, individuati sia per le fasce verticali sia per quelle orizzontali di muratura e per ognuna di queste è disponibile il rapporto fra l'accelerazione media orizzontale che attiva il meccanismo e l'accelerazione di gravità. Dato che una parete può essere intesa con insieme di strisce verticali e orizzontali di muratura, in Vulnus i due contributi di resistenza sono sommati. Con l'indice  $I_2'$  si considera la resistenza di strisce verticali di muratura larghe 1 m appoggiate sulla fondazione e sui muri trasversali o vincolate ai solai, mentre con  $I_2''$  si considera la resistenza ad arco o a trave di strisce orizzontali vincolate alle pareti trasversali, quelle dunque parallele alla direzione del sisma. L'indice  $I_2$  che rappresenta la resistenza fuori piano è il minore delle somme  $I_2' + I_2''$  determinate per le varie pareti.

Anche per i cinematismi fuori del piano sono assunte alcune ipotesi, sia sulla distribuzione delle masse sia sulle accelerazioni. In particolare, le masse, comprese quelle dei solai, sono considerate uniformemente distribuite lungo l'altezza. Il peso specifico equivalente è stimato come:

$$\gamma_s = \gamma_s \cdot (1 - p_f) + \frac{q}{h \cdot f_i}$$

dove  $p_f$  è la percentuale di foratura delle pareti (parametro valutato per ogni setto sulla base delle lunghezze di foratura rilevate al piano inferiore o critico e del valore assunto per l'altezza dei fori, generalmente metà dell'altezza di interpiano  $h$ , supponendo inoltre costante la percentuale di foratura ai vari piani)<sup>523</sup>;

Le accelerazioni, invece, sono considerate proporzionali alla quota rispetto al piano di campagna.

Le verifiche a rottura, per ogni parete, dipendono dai seguenti parametri adimensionali:

$$c_1 = \frac{f_t}{\gamma_s \cdot h} \quad c_2 = \frac{f_c}{\gamma_s \cdot h}$$

<sup>523</sup> *Ibid.*, p. 21.

dove  $f_c$  ed  $f_t$  sono i valori medi della resistenza a trazione e a compressione della muratura, eventualmente ottenibile mediante prove sperimentali<sup>524</sup>.

In Vulnus i meccanismi considerati sono divisi in due categorie: quelli globali e quelli locali. I primi interessano una parete di altezza pari a quella dell'edificio, i meccanismi globali sono attivati quando le forze di contenimento, che conferiscono alla costruzione comportamento scatolare, sono abbastanza deboli e quindi non sufficienti a evitare i fenomeni di ribaltamento. I meccanismi locali sono così definiti perché interessano strisce verticali di parete alte quanto un piano dell'edificio e avvengono nel caso in cui i collegamenti fra gli orizzontamenti e le pareti sono adeguati a contrastare il ribaltamento globale della parete. I cinematismi locali si attivano per lo più all'ultimo piano dell'edificio, che all'interno del programma, è considerato come il livello soggetto alla massima intensità delle forze sismiche.

Nell'ultima versione di Vulnus sono stati apportati dei miglioramenti nella definizione delle forze di contenimento. Inizialmente, l'azione di solai e di eventuali incatenamenti era fatta corrispondere a forze di contenimento applicate al livello di ogni impalcato, di valore medio  $pc$  per unità di lunghezza, variabile linearmente con l'altezza dell'impalcato. Il valore ottenuto sulla base dei dati rilevati, era poi ridotto al valore di  $p'$  per tener conto delle eventuali spinte sulle murature, dovute ad azioni verticali, oppure per considerare la presenza di livelli di impalcato senza diaframma. La riduzione  $pc - p'$  è stimata in funzione della forza destabilizzante  $F$ , uguagliando i momenti alla rotazione della parete:

$$F \cdot i \cdot h = (pc - p') \cdot n \cdot \frac{2}{3} nh \Rightarrow (pc - p') = F \cdot \frac{3 \cdot i}{2 \cdot n^2} \Rightarrow p' = pc \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot i}{2 \cdot n^2}\right)$$

dove:

$F$  è la forza di contenimento  $pc$ , modificata in funzione della regolarità degli impalcati;

$i$  è il piano  $i$ -esimo al quale è applicata la forza  $F$ , cioè il piano con irregolarità;

$h$  è il valore medio dell'altezza di piano;

$n$  è il numero dei piani dell'edificio.

Il contenimento attribuibile all'azione dei tiranti è dato dal prodotto della forza resistente media di ogni tirante, assunto pari a 16 kN, per il numero di tiranti, rapportato alla lunghezza del prospetto e al numero di piani dell'edificio; mentre le forze di contenimento esercitate dai solai sono valutate in base alla direzione di tessitura dei solai. I valori erano definiti dall'utente, sia per la direzione parallela all'asse X, che per quella parallela all'asse Y. Quindi i contributi delle azioni considerate venivano sommati:  $pc = pc^{tiranti} + pc^{solai}$ .

Nella successiva versione del software, sono stati presi in considerazione anche altri meccanismi resistenti. In particolare, è stato considerato il caso delle pareti trattenute al ribaltamento globale attraverso la presenza dei cordoli. La presenza di una corona completa può conferire all'edificio l'effetto scatolare utile a contrastare l'azione del sisma al ribaltamento delle pareti. L'azione di contenimento si trasmette alla muratura attraverso l'attrito. Tale forza ha una distribuzione inversamente proporzionale all'altezza dell'edificio, perché il peso dei carichi diminuisce al crescere dell'altezza: si avrà il valore maggiore a ridosso del primo impalcato,  $P_{max}$ , e il valore minore a ridosso dell'ultimo,  $P_{min}$ . In generale, sia i tiranti, che l'azione contenitiva esercitata dai cordoli o quella degli stessi solai sono soggetti a deformazioni maggiori alle alte quote rispetto al piano di campagna e quindi rispondono all'azione sismica con forze maggiori. Il comportamento di risposta avrà dunque un andamento lineare crescente. Il contributo complessivo  $pc$  sarà dato dalla

<sup>524</sup> Ibid..

somma dei contributi di ogni azione presente, ossia tiranti e solai oppure tiranti e cordoli. Quindi, come nella versione precedente, il software determina la differenza  $pc - p'$ .

*Grazie all'introduzione di questo modello è possibile calcolare non solo la forza prodotta dalla presenza del cordolo, ma anche quella dovuta all'interazione solaio-muratura, nel caso di assenza di cordolo. Precedentemente, tale forza di contenimento solaio - parete non era calcolata, ma era un valore dato in input, inserito dall'utente, un elemento puntuale costante (uguale in ogni piano) e proporzionale solo alle reazioni che il peso del solaio presente generava<sup>525</sup>.*

Nella versione aggiornata del software è moltiplicato il coefficiente d'attrito  $\mu$  per la forza gravante sulla sezione in esame, dovuta al peso degli elementi costruttivi sovrastanti. Precisamente, alla presenza di cordoli si assume in automatico  $\mu = 0.6$ , in caso contrario,  $\mu = 0.3$  per la direzione principale di orditura e  $\mu = 0.1$  per quella secondaria. In sostanza, si è tenuto conto, come parametro discriminante, della direzione di orditura prevalente dei solai, analogamente a quanto avveniva nella precedente versione. Se non è nota l'orditura è possibile assumere un coefficiente di attrito uguale per le due direzioni. Nel *Manuale* sono contemplate, in particolare, due situazioni: quella in cui l'edificio è di un solo piano e il caso in cui i cordoli non siano presenti in ogni piano. Nella prima situazione l'unica azione, eventualmente da considerare, è rappresentata dalla presenza dei cordoli. Tale forza sarà sommata agli incatenamenti, se presenti. Il secondo caso si risolve ricorrendo a una correzione del coefficiente d'attrito, considerando una redistribuzione trapezoidale «fittizia», assumendo quindi che i cordoli siano presenti in ogni piano. Il coefficiente d'attrito sarà stimato moltiplicando  $\mu = 0.6$  per il rapporto fra il numero di cordoli e il numero di piani dell'edificio. Se i cordoli sono presenti solo nella metà dei piani, basta dimezzare il valore di  $\mu$ , quindi si considera  $\mu = 0.3$ .

#### 4.2.4.3 La Determinazione degli Indici $I_1$ , $I_2$ , $I_3$

Prima della determinazione degli indici, è necessario definire i cinematismi elementari fuori piano, sia per strisce verticali profonde 1 m, sia per strisce orizzontali alte 1 m, per tutti i setti. Nel *Manuale* del programma sono schematizzati tutti i cinematismi considerati. Quelli riferiti alle strisce verticali comprendono: il ribaltamento globale del muro, il ribaltamento o rottura a flessione del muro all'ultimo piano. Invece, i cinematismi riferiti alle strisce orizzontali comprendono: il meccanismo di rottura a flessione all'ultimo piano, il meccanismo di rottura a compressione dell'arco all'ultimo piano, il meccanismo di rottura per ribaltamento delle spalle dell'arco, il meccanismo di rottura per ribaltamento o per flessione delle spalle dell'arco all'ultimo piano, il meccanismo di distacco della parete trasversale all'ultimo piano.

Per il calcolo di  $I_2$ , alcuni meccanismi non sono considerati dal software come attivabili e quindi non concorrono nella stima dell'indice. Per questo motivo, nel calcolo dell'indice  $I_2'$  sono considerate solo le pareti esterne non in comune con altri edifici. Mentre, nella determinazione di  $I_2''$  è necessario stabilire qual è la tipologia di nodo di riferimento, fra quelle presenti all'interno di Vulnus<sup>526</sup>, in modo da capire anche quali sono i cinematismi per strisce orizzontali attivabili, fra quelli considerati dal software, sopra citati. Inoltre, il calcolo dell'indice  $I_2$  è influenzato dal numero di piani,  $nc$ , dell'eventuale edificio contiguo.

Durante la restituzione dei risultati, è utile che gli indici siano stimati per ogni singolo edificio, così da rendere i dati confrontabili anche con altre metodologie di valutazione della vulnerabilità del costruito.

---

<sup>525</sup> *Ibid.*, p. 24.

<sup>526</sup> Nodo a croce, nodo a T intermedio, nodo a T estemale, nodo a L.  
*Ibid.*, pp. 35-36.

Vulnus non consente soltanto di determinare gli indici  $I_1$  e  $I_2$ , ma presenta anche un quadro riassuntivo, per ogni edificio del campione in esame, in cui sono raccolti tutti i dati rilevati: il numero dell'edificio all'interno del campione, la tipologia di muratura, lo stato di conservazione, la resistenza a compressione e a trazione, la densità specifica equivalente della muratura, il numero di piani dell'edificio, la tipologia dei solai, il livello di regolarità della pianta, l'altezza dell'edificio misurata fino alla linea di gronda, il numero di catene eventualmente presenti, i valori delle forze di contenimento per unità di lunghezza applicate alle pareti parallele alle direzioni X e Y.

Il programma, attraverso la funzione «calcola indici per ciascun setto» fornisce anche i coefficienti di collasso dei meccanismi attivati per uno specifico caso di studio.

Con gli indici ottenuti è possibile svolgere, inoltre, un'analisi statistica del campione considerato. A tal fine, devono essere impostati i dati per il calcolo dell'azione sismica. Vulnus, oltre a conservare i vecchi archivi che fanno riferimento al D. M. 16/01/1996, consente di impostare i livelli di accelerazione, in base alle disposizioni dell'Ordinanza n. 3274 del 2003. Se si immette il valore 0 alla voce «Altezza degli edifici» il programma esegue l'analisi statica con il valore  $a/g$  base; se invece si conosce la categoria del suolo di fondazione, si può fissare un'altezza media significativa degli edifici del campione e si sceglie il fattore di struttura  $q$ , così da calcolare l'azione sismica secondo lo spettro di progetto per lo stato limite ultimo. Infine, è anche possibile salvare dei valori determinati attraverso analisi geologiche e sismiche del territorio.

Le analisi statistiche permettono di ricavare i valori massimo, minimo e medio di entrambe gli indici  $I_1$  e  $I_2$ , nonché lo scarto quadratico medio e il coefficiente di variazione. Possono essere poi determinate le percentuali di sopravvivenza del campione considerato, in base alle diverse zone sismiche, infine è possibile ottenere un'indicazione di rottura prevalente. Tutte le indagini condotte attraverso Vulnus sono rappresentate sotto forma di istogrammi.

Per determinare l'indice  $I_3$ , introdotto nella procedura Vulnus per tener conto di fattori non ancora considerati fra i meccanismi resistenti, si utilizzano gli esiti delle schede G.N.D.T. di II livello, elaborate sempre attraverso un rilievo speditivo, come illustrato nel precedente capitolo. Nel programma sono considerati soltanto sette degli undici parametri raccolti dalla scheda, perché sono scartati quelli già considerati nel calcolo degli indici  $I_1$  e  $I_2$ . Nella sottostante tabella<sup>527</sup> si riportano i valori dei punteggi assegnati a ciascun parametro all'interno di Vulnus.

**Tabella 4.10 - Parametri per il calcolo dell'indice  $I_3$**

PARAMETRI	RELAZIONE CON $I_1$ E $I_2$	PESO $I_3$
Tipo ed organizzazione del sistema resistente	$I_1$	0.00
Qualità del sistema resistente	Parzialmente $I_1$ e $I_2$	0.15
Resistenza convenzionale	$I_1$	0.00
Posizione edificio e fondazioni	No	0.75
Orizzontamenti	Parzialmente $I_2$	0.50
Configurazione planimetrica	$I_1$	0.00
Configurazione in elevazione	Parzialmente $I_2$	0.50
Distanza massima fra le murature	$I_2$	0.00
Copertura	Parzialmente $I_2$	0.50
Elementi non strutturali	No	0.25
Stato di fatto	Parzialmente $I_1$ e $I_2$	0.50

L'indice  $I_3$  è determinato utilizzando la formula:

<sup>527</sup> *Ibid.*, p. 47.



$$I_3 = \sum_{i=1}^{11} \left( \frac{w_i \cdot s_i}{3.15 \cdot 45} \right)$$

dove  $w_i$  è il peso relativo all' $i$ -esimo parametro e  $s_i$  è un valore correlato allo stesso parametro secondo la Tabella 4.2.

**Tabella 4.11 - Tabella 4.2 - Giudizi sulle classi dei parametri della scheda G.N.D.T. di II livello**

GIUDIZIO	VALORE DI $s_i$
A	0
B	15
C	30
D	45

L'indice  $I_3$  è un valore compreso fra 0 e 1, indica il livello di criticità del sistema strutturale di un edificio, pertanto, se assume valore 0, significa che l'edificio rispetta pienamente le norme antisismiche e denota un buon stato di conservazione.

#### 4.2.4.4 Le Valutazioni di Vulnerabilità

Una volta noti i valori degli indici è possibile analizzare la vulnerabilità del campione di edifici considerato. I tre indicatori sono trasformati in sottoinsiemi sfuocati del loro intervallo di definizione, in modo da tener conto dell'incertezza nella stima di alcune grandezze che non sono state misurate direttamente: si pensi alla profondità delle fondazioni oppure alla variabilità delle caratteristiche dei materiali costituenti gli edifici, si consideri, inoltre, la possibilità di commettere errori di rilevazione.

Grazie alla teoria degli insiemi sfuocati è possibile considerare aspetti che non possono essere valutati entro confini esatti, al contrario, il passaggio dalla condizione di appartenenza o meno ad un insieme di ciascun elemento è graduale. La vulnerabilità è stimata attraverso un modello deterministico, applicato a grandezze sfuocate, per calcolare la probabilità di sopravvivenza  $f_s$  ovvero la probabilità di collasso  $Vu$ . La funzione iperbolica<sup>528</sup> che descrive tale modello è la seguente:

$$f_s = 1 - Vu = \begin{cases} 1 - (1 - u)^{\frac{1}{a+1}} & \rightarrow \text{se } 0 < u < 1 \\ 0 & \rightarrow \text{se } u < 1 \\ 1 & \rightarrow \text{se } u \geq 1 \end{cases}$$

dove:

$$u = \frac{c_3 + c_1 - c_2 + \sqrt{\left(\frac{I_1}{A} - c_1\right) \cdot \left(\frac{I_2}{A} - c_1\right)}}{2 \cdot c_3 + a \cdot c_4}$$

-  $A = a/g$  è il rapporto tra l'accelerazione media di risposta applicata alle masse dell'edificio e l'accelerazione di gravità;

-  $a = f(I_3)$  fattore dipendente, tramite una fuzzy relation, da  $I_3$ ;

-  $c_1, c_2, c_3, c_4$  sono costanti che definiscono la funzione di stato limite. In particolare esse assumono particolari significati:  $c_1$  e  $c_2$  definiscono la posizione degli asintoti dell'iperbole equilatera di stato limite e la posizione del limite centrale di separazione tra la zona sicura e insicura nel caso di zona fuzzy tendente a zero;  $c_3$  e  $c_4$  definiscono l'estensione minima e massima della zona fuzzy di transizione e sono legati agli effetti di incertezza del modello e delle informazioni disponibili per l'edificio.

<sup>528</sup> *Ibid.*, pp. 48-49;

A. Bernardini (a cura di), *La vulnerabilità degli edifici: valutazione a scala nazionale della vulnerabilità sismica degli edifici ordinari*, CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti - Roma, 2000, 175 pp. + CD-ROM allegato, pp. 33-35.

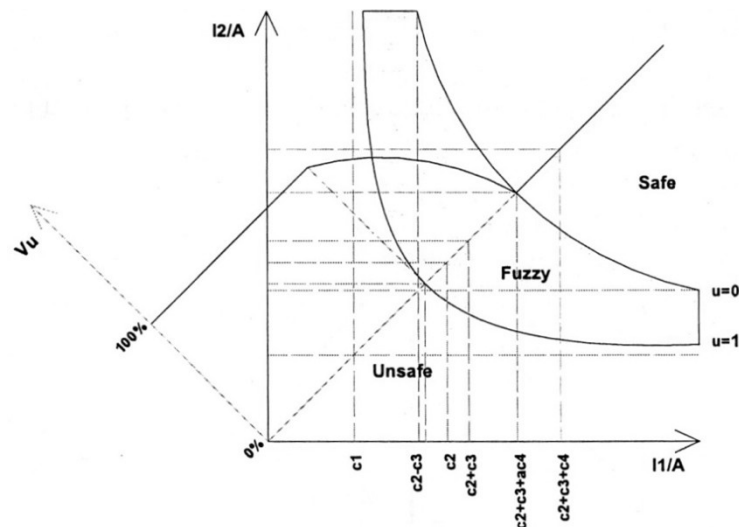


Fig. 4.43 La funzione vulnerabilità

(in Università degli Studi di Padova, *Manuale d'uso del Programma Vulnus 4.0*, 2009)

Come mostra il grafico della vulnerabilità in Figura 4.43, il piano cartesiano è diviso in due parti distinte: con  $V_u = 0$  si individua la «zona certamente sicura», mentre la «zona certamente insicura» è quella con  $V_u = 1$ . La zona in cui  $V_u$  assume valori compresi fra 0 e 1 è proprio quella in cui l'edificio considerato ha una certa probabilità di collassare, in relazione ai valori di  $I_1$ ,  $I_2$  e  $A$ . In questa zona la previsione non è deterministica e la funzione  $V_u$  serve a valutare il grado di appartenenza della previsione al sottoinsieme sfuocato che nel grafico è detto *Unsafe*. L'ampiezza dell'area interclusa fra la zona sicura a quella insicura è condizionata dal parametro «a», dato che riassume diversi fattori qualitativi dell'edificio, presi in considerazione dalle schede G.N.D.T. di II livello. Questo parametro è relazionato all'indice  $I_3$  attraverso una relazione sfuocata  $R$ , che corrisponde a un'identità di tipo linguistico, come la seguente<sup>529</sup>:

- se  $I_3$  è molto piccolo allora  $a$  è molto piccolo
- se  $I_3$  è piccolo allora  $a$  è piccolo
- se  $I_3$  è medio allora  $a$  è medio
- se  $I_3$  è grande allora  $a$  è grande
- se  $I_3$  è molto grande allora  $a$  è molto grande.

dove «molto piccolo», «piccolo», «medio», «grande» o «molto grande» sono i giudizi qualitativi prescelti cui corrispondono opportuni sotto-insiemi sfuocati (fuzzy subsets) dell'intervallo  $[0, 1]$ .

Non intendiamo qui descrivere il metodo applicato, che si basa sulla teoria dei fuzzy set, quanto evidenziare come, grazie a tale teoria, Vulnus possa determinare la funzione vulnerabilità per ogni edificio, assegnata l'accelerazione  $A$ , dovuta al sisma. Con modalità di analisi analoghe, è possibile estendere lo studio di vulnerabilità a un numero  $n$  di edifici,

stimando la vulnerabilità media  $V_{\bar{E}} = \sum_{j=1}^n V_{u_j} / n$ .

All'interno del sottoinsieme sfuocato  $V_u$ , attraverso una partizione sfuocata dell'intervallo di variazione, ogni risultato è associato a un giudizio linguistico e, a questo punto, è possibile dare alla vulnerabilità un significato probabilistico sui danneggiamenti gravi o sui collassi attesi. La vulnerabilità di un edificio o di un insieme di edifici è espressa dai limiti inferiore, superiore e centrale *White* della «fragilità attesa»<sup>530</sup>. La fragilità è intesa proprio come la probabilità di superare un prefissato livello di danno. Le curve di fragilità, dunque, indicano il valore atteso di danno grave per ogni valore di PGA. In seguito, è anche

<sup>529</sup> Università degli Studi di Padova, *Manuale d'uso del Programma Vulnus 4.0*, op. cit., p. 52.

<sup>530</sup> *Ibid.*, p. 55.

possibile confrontare i valori attesi *White* della probabilità di danno grave ottenuti con *Vulnus*, per il caso in esame, con gli stessi valori dedotti dalle definizioni linguistiche della scala EMS98 per gli edifici di classe di vulnerabilità A, B, C, D, in relazione all'intensità macrosismica.

#### 4.3 OBIETTIVI DEGLI INTERVENTI NEGLI EDIFICI IN MURATURA

Per garantire la sicurezza e la conservazione dell'edilizia storica, per preservare il costruito dagli effetti dannosi dei terremoti, per rendere l'edificio più resiliente e invulnerabile agli eventi è necessario definire opportuni interventi di prevenzione. Tali interventi in alcuni casi sono limitati alle sole opere di manutenzione, in altri casi comportano delle vere e proprie opere di consolidamento. Rivolgeremo l'attenzione proprio a queste ultime, che spesso sono realizzate soltanto dopo eventi sismici distruttivi. Gli interventi di consolidamento possono interessare sia le fondazioni degli edifici, sia le strutture verticali sia quelle orizzontali e le coperture: in sostanza, si rivolgono a tutti gli elementi edilizi. L'argomento è molto ampio, infatti, nel corso degli anni sono state sperimentate varie soluzioni che ormai possono essere considerate tradizionali e a queste si sono aggiunte nuove proposte che sempre più spesso ricorrono alla ricerca di materiali e tecnologie innovative, si pensi ai materiali compositi (FRP). Pertanto, non analizziamo le singole tecniche, che meriterebbero un'approfondita trattazione, ma evidenziamo quali sono gli obiettivi che attualmente sono perseguiti nella progettazione degli interventi.

Nelle opere di consolidamento delle fondazioni, ad esempio, il fine che è perseguito non è soltanto quello di aumentare la capacità portante della fondazione, ricorrendo magari alla realizzazione di una sottofondazione. I terremoti che hanno danneggiato le costruzioni, a volte irrimediabilmente, hanno dimostrato che il fine della prevenzione può essere perseguito se si applicano, in concomitanza con le tecniche tradizionali, anche quelle che migliorano il comportamento dinamico delle strutture. Per questo, negli ultimi anni sono stati sviluppati importanti studi sull'isolamento sismico e sulla dissipazione energetica degli edifici, citati nell'introduzione assieme ad alcuni casi applicativi.

Gli interventi proposti, invece, per le strutture verticali sono stati finora condotti ricorrendo, in alcuni casi, alle sole opere di cucitura delle lesioni, in altri, adottando misure in grado di migliorare le caratteristiche meccaniche delle murature e, in altri ancora, prediligendo soluzioni per il miglioramento complessivo dell'organismo strutturale. Le cuciture delle lesioni, realizzate sostituendo delle porzioni di muratura attraverso interventi di scuci - cucì<sup>531</sup>, sono impiegate soltanto per ripristinare la continuità delle murature lesionate, soprattutto se sono presenti lesioni passanti, che interessano l'intero spessore della parete.



Fig. 4.44 Arsita (TE): danneggiamenti alle strutture verticali

<sup>531</sup> AA. VV., *Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica degli edifici, Regione Umbria*, cit., 1999, p. 241.

Per migliorare le prestazioni delle murature, in particolare in previsione di futuri eventi sismici, si adottano misure finalizzate all'incremento della resistenza del pannello murario, in questo modo è aumentata la rigidità complessiva del muro<sup>532</sup>. Le classiche iniezioni a base di malta cementizia<sup>533</sup> e le iniezioni armate<sup>534</sup>, che prevedono l'inserimento, all'interno delle perforazioni, di un reticolo di barre metalliche, sono adottate proprio con questo scopo. Analogamente, se le murature sono ampiamente decoese e gravemente lesionate è possibile ricorrere alla tecnica dell'incamiciamento<sup>535</sup> armato della muratura, che prevede la messa in opera di una rete elettrosaldata sulle due facce del muro, ricoperta ancora una volta con malta cementizia o betoncino o gunite applicate a spruzzo. Con questa tecnica la muratura è rivestita da una nuova parete verticale che ha certamente una maggiore capacità resistente rispetto alla muratura originaria.

Tuttavia, possiamo osservare come le tecniche citate in realtà siano abbastanza invasive e se l'edificio storico da consolidare è addirittura affrescato, tali interventi rischiano di compromettere le opere artistiche del manufatto, rinnovando i dibattiti sulla realizzazione degli interventi. Come abbiamo evidenziato nel Capitolo 2 sono numerose le posizioni che si sono susseguite in materia di restauro, per questo le attuali tendenze cercano di raggiungere più ragionevoli compromessi, seguendo le indicazioni delle *Linee Guida*<sup>536</sup> del Ministero per i Beni e le Attività Culturali. Queste, riguardo al progetto degli interventi per il miglioramento dei beni culturali tutelati, considerano «opportuno» assicurare che i nuovi elementi introdotti siano compatibili con quelli originari, che i materiali impiegati siano durevoli nel tempo e che gli elementi strutturali abbiano massima duttilità.

Per aumentare la duttilità delle costruzioni è possibile, ad esempio, ricorrere all'impiego di tiranti o catene metalliche, per esercitare uno stato di presollecitazione orizzontale e verticale. A questi interventi si affiancano quelli basati sull'intelaiatura delle murature con cordoli capaci di assicurare un buon comportamento scatolare e quindi un complessivo miglioramento dell'organismo edilizio, ad esempio, attraverso travi di legno, vincolate con chivarde o capichiave alle pareti murarie.



Fig. 4.45 Arsita (TE): i capochiavi testimoniano la presenza di tirantature (Fotografie: ENEA C. R. Bologna)

La tecnica dell'incatenamento<sup>537</sup> è molto utile a contenere gli spostamenti che si verificano durante il sisma e le rotazioni delle pareti sollecitate ortogonalmente al loro piano. Se le murature sono molto deteriorate, l'impiego dei tiranti può aumentare, tuttavia, il dissesto presente, a causa dell'incremento della pressione orizzontale che i tiranti andrebbero a

<sup>532</sup> M. L. Scillone, M. Di Segni, *Tecniche antisismiche per il recupero strutturale di fabbricati in muratura tradizionale*, Edizioni Kappa, Roma, 2000, pp. 27-30.

<sup>533</sup> *Ibid.*, pp. 45-50.

<sup>534</sup> *Ibid.*, pp. 55-58.

<sup>535</sup> *Ibid.*, pp. 71-76.

<sup>536</sup> Ministero per i Beni e le Attività Culturali, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, cit., 2006, p. 25.

<sup>537</sup> M. L. Scillone, M. Di Segni, *op. cit.*, pp. 87-95.



esercitare proprio sulla muratura. Per questo, è sempre indicato valutare preliminarmente la condizione complessiva dell'edificio ed eventualmente consolidare le murature decoese con gli interventi in precedenza citati. Queste precauzioni sono valide anche per i tiranti verticali post-testi<sup>538</sup>, il cui impiego è considerato come un intervento «“attivo”», perché induce una presollecitazione utile a ricentrare carichi eccentrici, oppure in grado di assorbire le azioni sismiche.

Nell'edilizia storica è anche possibile riscontrare cordonature realizzate in cemento armato<sup>539</sup> più recentemente. Tali interventi devono essere progettati con molta attenzione, per evitare che la diversa rigidità degli elementi assemblati possa causare gravosi danni e persino crolli durante un evento sismico. Un'alternativa altrettanto valida è rappresentata dall'impiego dei cordoli in muratura armata<sup>540</sup>. Questi sono realizzati al livello delle coperture al fine di confinare l'edificio e ripartire le sollecitazioni delle orditure sulla muratura, evitando lo sfilamento delle travi in corrispondenza degli appoggi. Il cordolo è preparato alternando agli strati di laterizio un'armatura metallica o in materiale composito, infine, l'elemento è messo in opera dopo aver consolidato la sottostante muratura, ma se questa è di eccellente qualità tale provvedimento può essere evitato. L'aderenza del cordolo con la muratura è affidata alla malta cementizia. Dato che la sua realizzazione prevede lo smontaggio di almeno cinquanta cm della muratura sommitale, il cordolo in muratura armata non è consigliato per i solai intermedi. In quest'ultimo caso è preferibile intervenire con cordoli metallici<sup>541</sup>.

Le tecniche menzionate, che certamente non esauriscono l'esteso tema delle tecniche di intervento, applicabili per il consolidamento degli edifici in muratura, dimostrano come l'obiettivo principale, attualmente perseguito, sia quello di ottenere il minimo impatto sul manufatto edilizio, preferendo tecniche più compatibili con i criteri della conservazione. Questo non significa che debba essere limitata la sicurezza e la durabilità dell'intervento, anzi nelle citate *Linee Guida*<sup>542</sup> sono catalogate cinque strategie che si basano proprio sul miglioramento delle caratteristiche costruttive degli edifici:

- *rinforzo di parte o di tutti gli elementi resistenti, al fine di aumentarne selettivamente la resistenza, la rigidità, la duttilità o una combinazione di esse (ponendo sempre estrema attenzione alle modifiche indotte allo schema strutturale);*
- *inserimento di nuovi elementi, compatibili con quelli esistenti, al fine di eliminare la vulnerabilità locale di alcune parti della costruzione e migliorare il funzionamento complessivo in termini di resistenza o duttilità;*
- *introduzione di una protezione passiva mediante strutture di controvento dissipative e/o isolamento alla base (considerando accuratamente tutte le possibili ricadute sulla conservazione, ed in particolare la presenza di substrati archeologici);*
- *riduzione delle masse (con le dovute precauzioni);*
- *limitazione o cambiamento della destinazione d'uso dell'edificio (in questo caso sarà obbligatoria una verifica di compatibilità alle trasformazioni urbanistiche previste nei piani attuativi e nei cambi di destinazione d'uso degli edifici).*

Tali strategie guidano anche le realizzazioni di tutti quegli interventi che non hanno finalità strutturali, si pensi agli adeguamenti impiantistici, ma che interagiscono con parti strutturali dell'edificio.

---

<sup>538</sup> AA. VV., *Manuale delle murature storiche*, Vol. 2, direttore scientifico A. Borri, a cura di C. Donà, A. De Maria, D.E.I. tipografia del Genio Civile, Roma, 2011, pp. 205-2011.

<sup>539</sup> *Ibid.*, pp. 180-187.

<sup>540</sup> *Ibid.*, pp. 188-194;

A. Giuffrè (a cura di), *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso Ortigia*, Editori Laterza, Bari, 2006, p. 204.

<sup>541</sup> AA. VV., *Manuale delle murature storiche*, Vol. 2, cit., pp. 195-199.

<sup>542</sup> Ministero per i Beni e le Attività Culturali, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, cit., 2006, pp. 53-61.

Inoltre, dalle indicazioni fornite sembra che il progetto degli interventi debba interessare l'edificio nel suo insieme invece che proporre soluzioni locali. In questo modo le carenze costruttive, messe in luce durante il processo di conoscenza e di rilievo dell'organismo edilizio, sono affrontate e risolte con interventi in grado di migliorare le prestazioni complessive dell'edificio. In pratica, l'invito è quello ad andare oltre le sole tecniche di scuci - cuci spesso messe in atto senza risolvere le vere criticità del sistema strutturale.

Anche le *Linee Guida* offrono alcuni richiami agli interventi che possono essere attuati per favorire il miglioramento dei singoli elementi costruttivi, ma viene anche precisato che la rassegna delle tecniche proposte non può considerarsi esaustiva e conclusiva, sono bensì ben accolte tutte le proposte individuate come risposta di specifiche problematiche. Questo lascia sottintendere che l'individuazione delle scelte più idonee debba essere intrapresa caso per caso, così che per ogni *paziente* sia individuata una cura personalizzata.

## Parte Terza

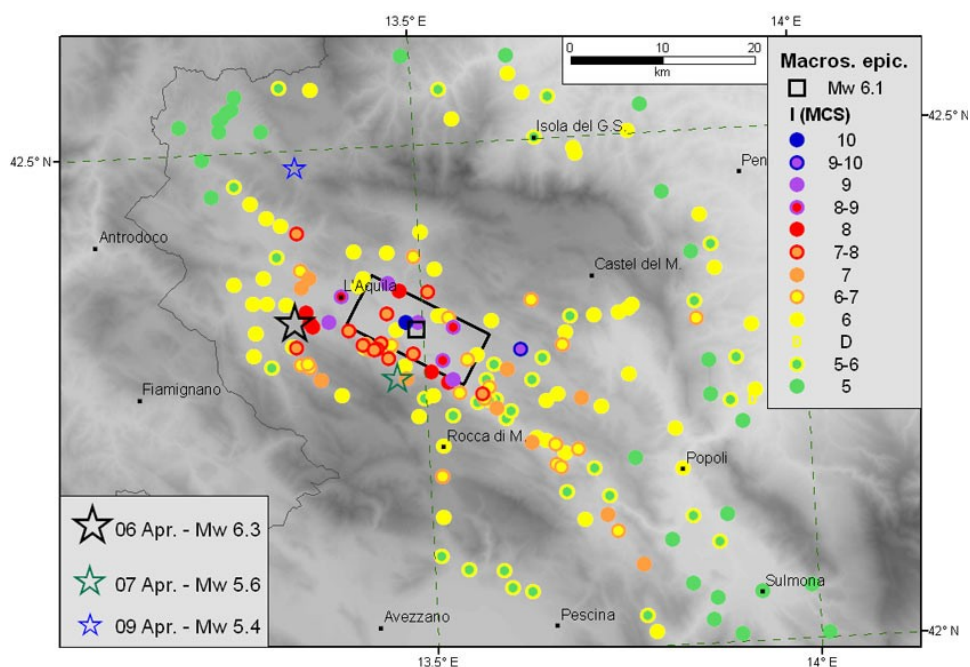


## 5. IL COMUNE DI ARSITA (TE)

### 5.1 CENNI SUL TERREMOTO IN ABRUZZO DEL 2009

L'evento sismico di magnitudo  $M_w = 6.3$ , che il 6 aprile 2009 alle ore 3:32 ha colpito l'Abruzzo<sup>543</sup>, ha danneggiato 90 comuni causando 308 vittime, circa 1500 feriti e un numero considerevole di sfollati. Il terremoto ha provocato ingenti danni al patrimonio edilizio dei centri storici e alle infrastrutture, soprattutto nei comuni in cui è stata raggiunta l'intensità macrosismica del IX-X grado MCS (Scala Mercalli-Cancani-Sieberg). Fra gli edifici lesionati o parzialmente crollati si annoverano anche monumenti storici di epoche diverse, realizzati dal medioevo in poi, come chiese, palazzi, biblioteche e musei. Ai danni del patrimonio edilizio sono seguiti la perdita di servizi pubblici, di funzioni amministrative e direzionali, nonché la perdita di attività produttive fondamentali per l'economia degli insediamenti e delle popolazioni.

L'area interessata dal sisma è stata piuttosto estesa, infatti, dall'elenco dei centri abitati danneggiati<sup>544</sup> si osserva come i comuni colpiti appartengano non solo alla provincia de L'Aquila, ma anche a quelle di Teramo, Chieti, Pescara, Rieti, con intensità locali variabili fra 9.5 e 4.5 gradi MCS. Nei giorni successivi all'evento principale è stato avviato un sistema di monitoraggio delle località interessate, con rilievi più approfonditi per alcune di queste, soprattutto il capoluogo aquilano.



**Fig. 5.1** Mappa degli effetti del terremoto del 6 aprile 2009 e relativa box sismogenetica (INGV - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, in <http://www.bo.ingv.it/indagini-terremoto-del-06042009-in-abruzzo-laquila.html>), 30/11/2014)

<sup>543</sup> *Terremoto in Abruzzo 2009*, nel Sito del Dipartimento della Protezione Civile - Presidenza del Consiglio dei Ministri: [http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/emergenza\\_abruzzo.wp](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/emergenza_abruzzo.wp).

<sup>544</sup> Galli P. e Camassi R. (eds.), 2009. *Rapporto sugli effetti del terremoto aquilano del 6 aprile 2009*, Rapporto congiunto DPC-INGV, in [http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Elenco\\_centri\\_abitati\\_danneggiati.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Elenco_centri_abitati_danneggiati.pdf).

La stima dei danni non è stata semplice, sia perché era considerevole il numero di edifici da ispezionare, sia perché nel territorio urbanizzato colpito sono state rilevate tipologie edilizie diverse, in alcuni casi erano presenti anche nuclei già in stato di abbandono, in altri sono stati individuati edifici di più recente edificazione, realizzati quindi con modalità costruttive e materiali diversi da quelli dell'edilizia storica. I danni maggiori sono stati riscontrati lungo l'asse NO-SE, le situazioni più gravi interessano le località aquilane di Tempera e Villa Sant'Angelo.

Le informazioni storiche<sup>545</sup> sulla sismicità del territorio non sono molte, sia per perdita di documenti storici, sia per mancanza di ricerche. L'aquilano è stato colpito da eventi sismici già nella metà del IV secolo d.C. nell'antico centro urbano di Peltuinum, che oggi è localizzato presso Prata d'Ansidonia, un nucleo sorto sul tracciato di un antico tratturo che raggiungeva la Puglia. Durante gli scavi archeologici del 1988 sono stati rinvenuti i resti delle coperture voltate di grandi cisterne nell'area del Foro e il teatro. Già nel IV secolo il terremoto causò gravi conseguenze sociali, anche se, non è considerato la causa dell'abbandono del sito. Quel sisma è stato collegato al terremoto del Sannio del 346, ma non ci sono elementi che induco a credere che il centro abitato di Peltuinum possa aver subito gli effetti di quel terremoto.

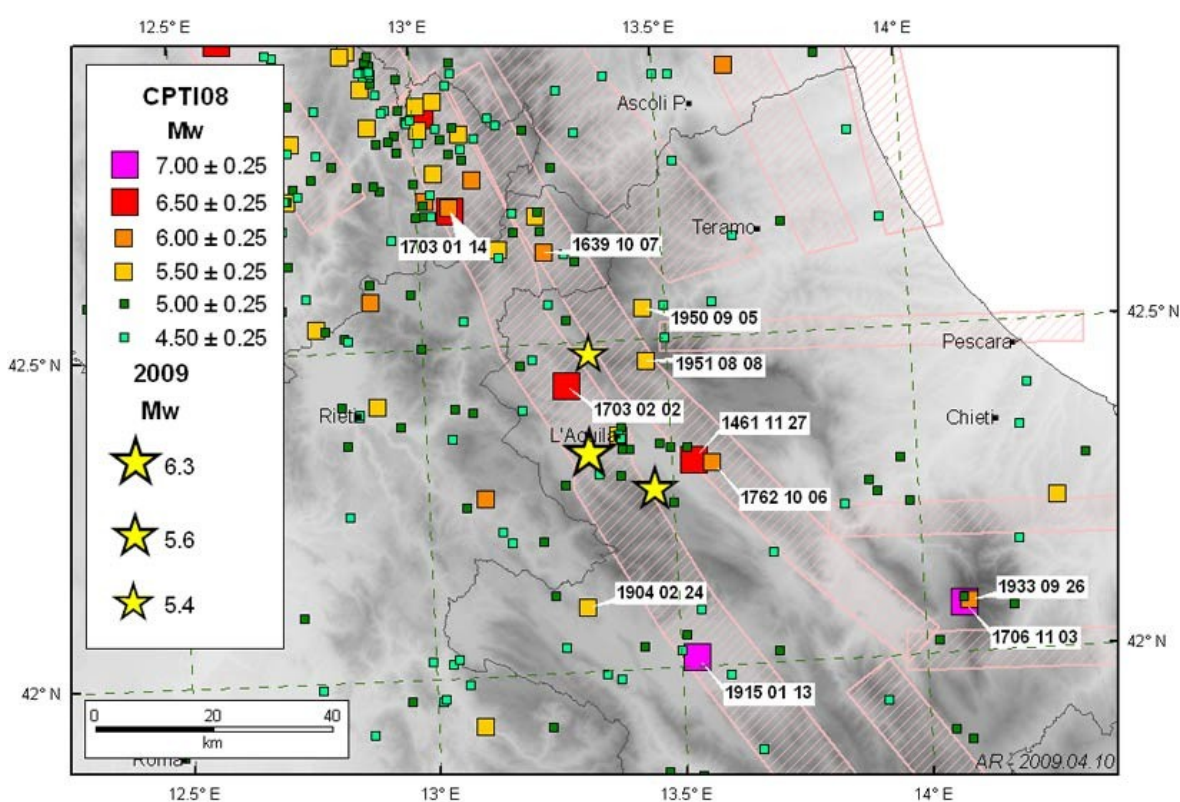


Fig. 5.2 Terremoti storici nell'area abruzzese (INGV - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, in <<http://www.bo.ingv.it/indagini-terremoto-del-06042009-in-abruzzo-laquila.html>>, 21/01/2015)

Non si hanno altre notizie sulla sismicità dell'area fino al 1315. In quell'anno, come testimonia un documento istituzionale del Regno di Napoli, rinvenuto nel 1995, si verificò un grande terremoto, di cui tuttavia non conosciamo l'epicentro. Questo è stato ipotizzato nel baricentro dell'area dei castelli dominata dalla città de L'Aquila. Nello stesso secolo, precisamente nel 1349, l'Italia centrale è stata colpita da alcuni eventi sismici, se ne contano almeno quattro. Entro settembre di quell'anno è stata devastata dai terremoti tutta la zona dell'aquilano e del sulmonese, il Lazio meridionale e il Molise settentrionale.

<sup>545</sup> E. Guidoboni, *I terremoti storici dell'area aquilana: preziose informazioni con qualche ombra*, in «Geoitalia», N. 28 - settembre 2009, pp. 30-35.

M. Indirli, 1A\_01, *Relazione di inquadramento generale*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.





### 5.1.1 Il caso di Arsita

Per il Comune di Arsita, l'intensità locale, registrata durante il sisma del 6 aprile 2009, è stata pari al VI grado MCS (Scala Mercalli-Cancani-Sieberg), analogamente ai Comuni di Castelli, Colledara, Montorio al Vomano, Fano Adriano, Penna Sant'Andrea, Tossicia, Pietracamela, appartenenti alla stessa provincia.

Nelle fasi immediatamente successive al sisma, l'abitato è stato sottoposto alle valutazioni di agibilità delle squadre incaricate della Protezione Civile. Tali valutazioni si basano sull'esito delle Schede AeDES. Nel 2011 le schede compilate sono state verificate ed eventualmente completate dagli esperti del team del P.d.R.: in caso di dati mancanti o contraddittori, sono stati attribuiti a tutte le schede degli esiti certi, dopo successivi sopralluoghi e approfondimenti. L'elaborato seguente, realizzato con l'ausilio del GIS, rappresenta gli esiti dell'agibilità del centro storico.

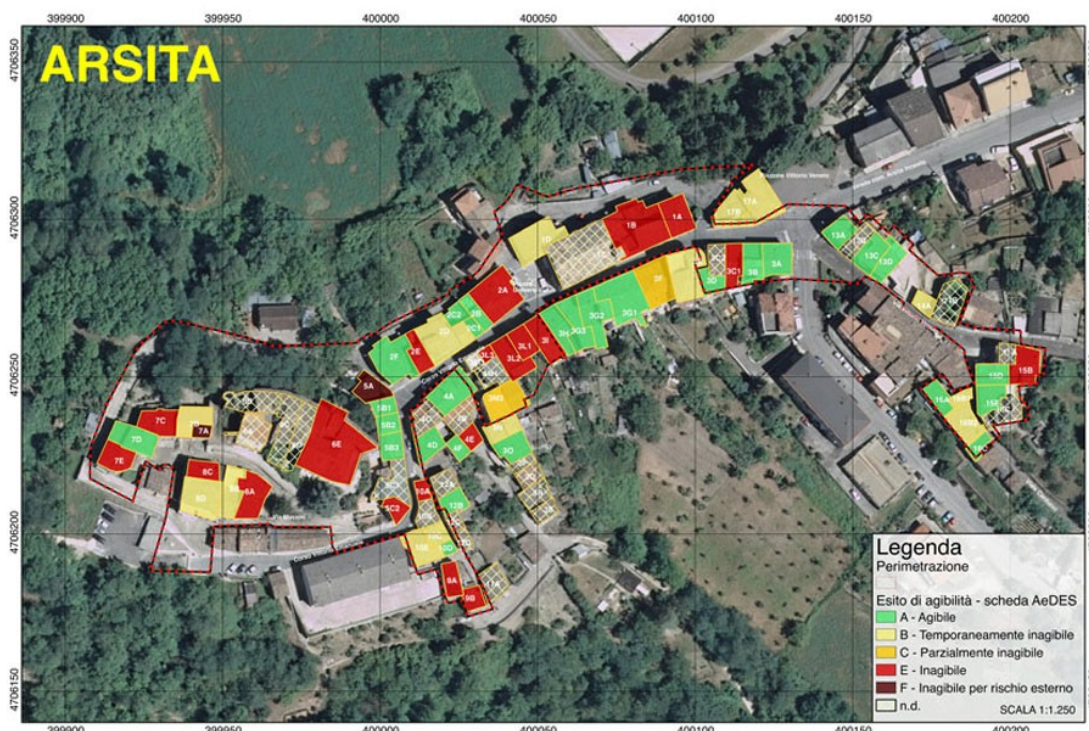


Fig. 5.4 Esiti di agibilità – Schede AeDES (Mappa: ENEA C. R. Bologna)

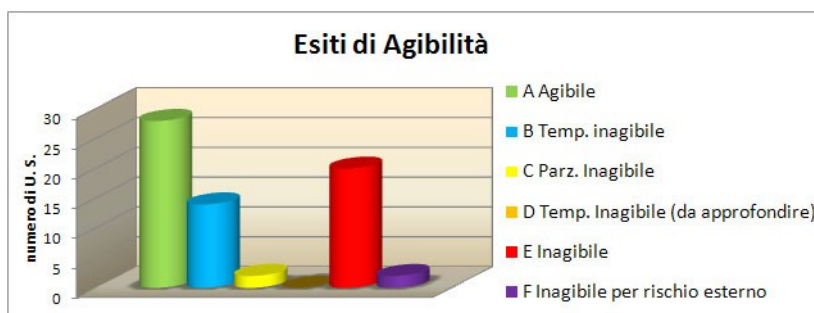


Fig. 5.5 Istogramma degli esiti di agibilità di Arsita

Delle unità edilizie rilevate, sono risultate agibili il 42% del totale, del restante 58% gli edifici inagibili sono pari al 31%, il resto si divide fra gli edifici temporaneamente inagibili, il 21% delle unità, gli edifici parzialmente inagibili, il 3%, e quelli inagibili per rischio esterno, un altro 3%. Gli esiti ottenuti hanno dimostrato l'inefficienza strutturale del costruito alle azioni sismiche; questi risultati hanno evidenziato, inoltre, la necessità di analizzare le cause dell'inagibilità temporanea, parziale e completa per definire le misure d'intervento

più adatte. Tali esigenze hanno indotto gli esperti dell'ENEA e degli atenei che hanno collaborato alla redazione del Piano di Ricostruzione di Arsita, a compiere più approfonditi studi sulla vulnerabilità del centro storico, per questo, sono stati applicati tutti i modelli schedografici descritti nel Capitolo 3.

L'edificato storico, a causa del terremoto del 2009, ha subito danneggiamenti di varia entità. Durante la fase conoscitiva, l'applicazione della Scheda Urbanistico – Architettonica del costruito ha permesso di classificare il grado di danno delle unità edilizie, assumendo come riferimento i cinque livelli della scala EMS98.

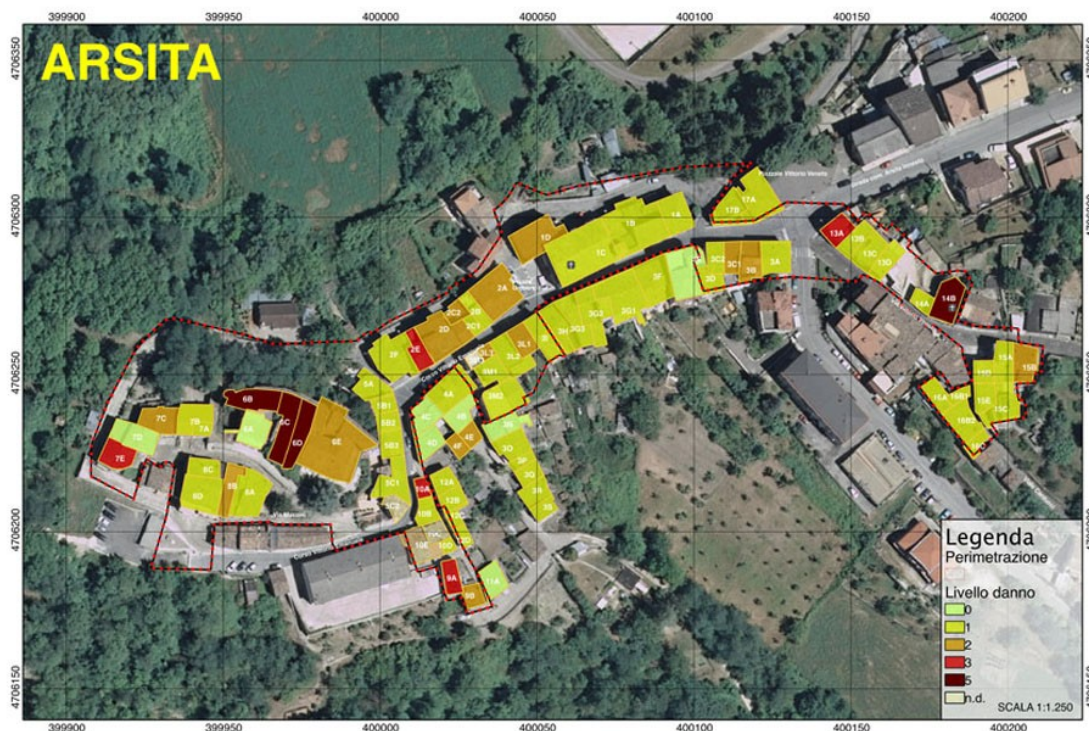


Fig. 5.6 Livello del danno riscontrato ad Arsita (Mappa: ENEA C. R. Bologna)

L'elaborato, eseguito ancora una volta col GIS, indica che i soli edifici cui sia stato attribuito il livello di danno massimo sono quelli che erano già in stato di abbandono, pari al 4,65% del totale. L'assenza di opportuni interventi di manutenzione ha reso questi edifici ancor più vulnerabili, come mostreranno gli esiti delle indagini svolte. Si tratta delle unità che appartengono alla cosiddetta *Rocca*, nella parte più antica del nucleo urbano, oltre all'edificio, un tempo a uso religioso, localizzato verso Est, all'ingresso del centro storico. A parte una bassa percentuale di edifici, il 9,30% del totale, per il quale non sono stati riscontrati danni strutturali, la gran maggioranza degli edifici, pari al 62,79%, ha subito un danno moderato, per il 17,44% i danni sono stati più rilevanti e per il 5,81% è stato accertato un danno molto rilevante.

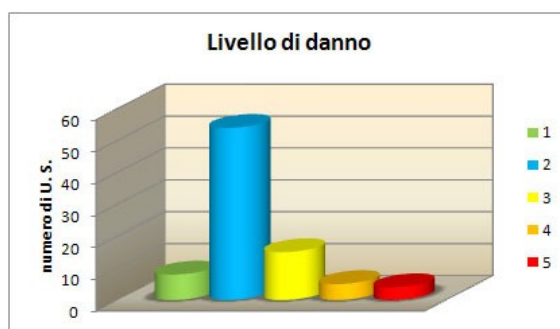


Fig. 5.7 Istogramma del livello di danno riscontrato ad Arsita

## 5.2 IL PIANO DI RICOSTRUZIONE DI ARSITA (TE)

Il Piano di Ricostruzione (P.d.R.) di Arsita, elaborato in attuazione della Legge 24/06/2009, n. 77, in favore delle popolazioni colpite dal sisma dell'aprile 2009, stabilisce gli obiettivi della pianificazione, coerentemente alle *Linee di indirizzo strategico per la riqualificazione del territorio*, di cui all'art. 1 del Decreto del Commissario delegato per la Ricostruzione del 09/03/2010, n. 3. Gli obiettivi individuati sono i seguenti:

- definizione delle tipologie d'intervento;
- riqualificazione dell'abitato;
- rilancio socio - economico del Comune.

L'individuazione dei criteri d'intervento è stata preceduta da un'approfondita fase analitica, che ha interessato più ambiti. Sono stati indagati aspetti geografici, geologici, storici, ambientali, architettonici, urbani, affrontando con particolare attenzione lo studio della vulnerabilità del costruito. Tali argomenti sono brevemente richiamati in questo paragrafo.

Il Piano di Ricostruzione è stato elaborato dall'ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile), con la collaborazione dell'Università di Chieti – Pescara "*Gabriele D'Annunzio*", dell'Università di Napoli "*Federico II*" e dell'Università degli Studi di Ferrara. Il Piano è stato strutturato in tre parti:

1. nelle Prima Fase, definita *preliminare*, sono stati perimetrati gli ambiti da sottoporre al P.d.R. La prima parte documenta i dati acquisiti sul territorio comunale e il materiale cartografico reso disponibile dal Comune di Arsita;
2. la Seconda Fase, considerata *propedeutica alla formazione del P.d.R.*, rappresenta la fase conoscitiva del piano, descrive l'individuazione degli aggregati e degli interventi pubblici;
3. la Terza Fase presenta la *formazione del P.d.R.*, indicando i criteri e le modalità d'intervento. La terza parte descrive le linee di indirizzo definite per aumentare la sicurezza del costruito, per riqualificare l'insediamento urbano, per rilanciare la comunità e sviluppare le potenzialità emerse.

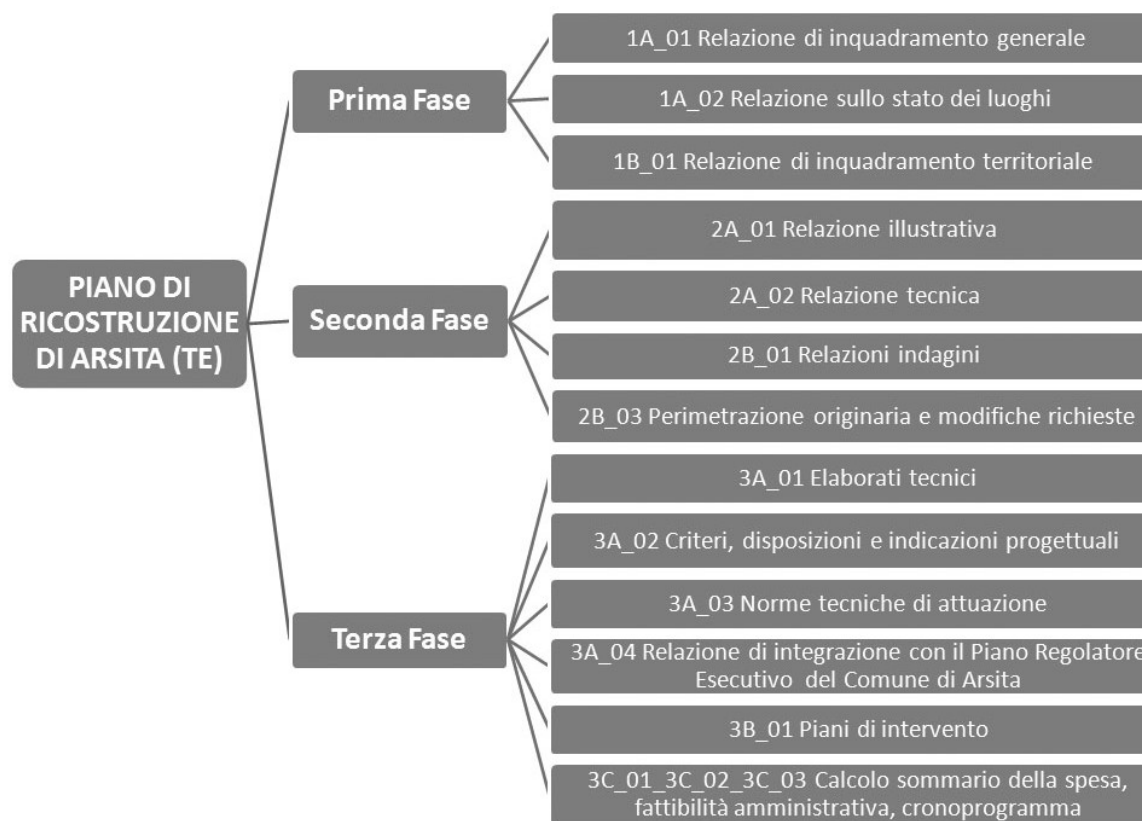


Fig. 5.8 Schema del Piano di Ricostruzione (Documenti in: <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it>>, 27/01/2015)



### 5.2.1 Inquadramento Territoriale

Il piccolo comune del teramano<sup>547</sup> sorge a circa 470 m sul livello del mare, disposto nella fascia collinare pedemontana nella catena meridionale del Gran Sasso. Arsita fa parte della Comunità Montana del Vomano, Fino e Piomba, la parte meridionale del territorio comunale è compresa nel Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga. Il comune si distingue, dunque, per i caratteri paesaggistici e per lo stretto rapporto fra il territorio antropizzato e il contesto naturalistico.

L'insediamento urbano è circondato da ampie aree destinate alle colture estensive e da una folta vegetazione boschiva con prevalenza di querce. In prossimità del centro abitato sono presenti dei caratteristici orti urbani, simbolo del forte legame dell'insediamento con la componente agricola.



Fig. 5.9 L'insediamento urbano di Arsita (Ortofoto 2007: ENEA C. R. Bologna)

Il territorio comunale può essere diviso in due parti: quella centro settentrionale, che comprende circa i due terzi del comune, in arenaria e/o argilla, con altimetrie non superiori agli 800 m s.l.m., e la parte meridionale, in cui le colline lasciano il posto ai rilievi montani. In questa parte di territorio, dove prevalgono i calcari, le dolomie e le marne, il bosco è sempre più fitto e si raggiungono anche altimetrie di 2000 m s.l.m.

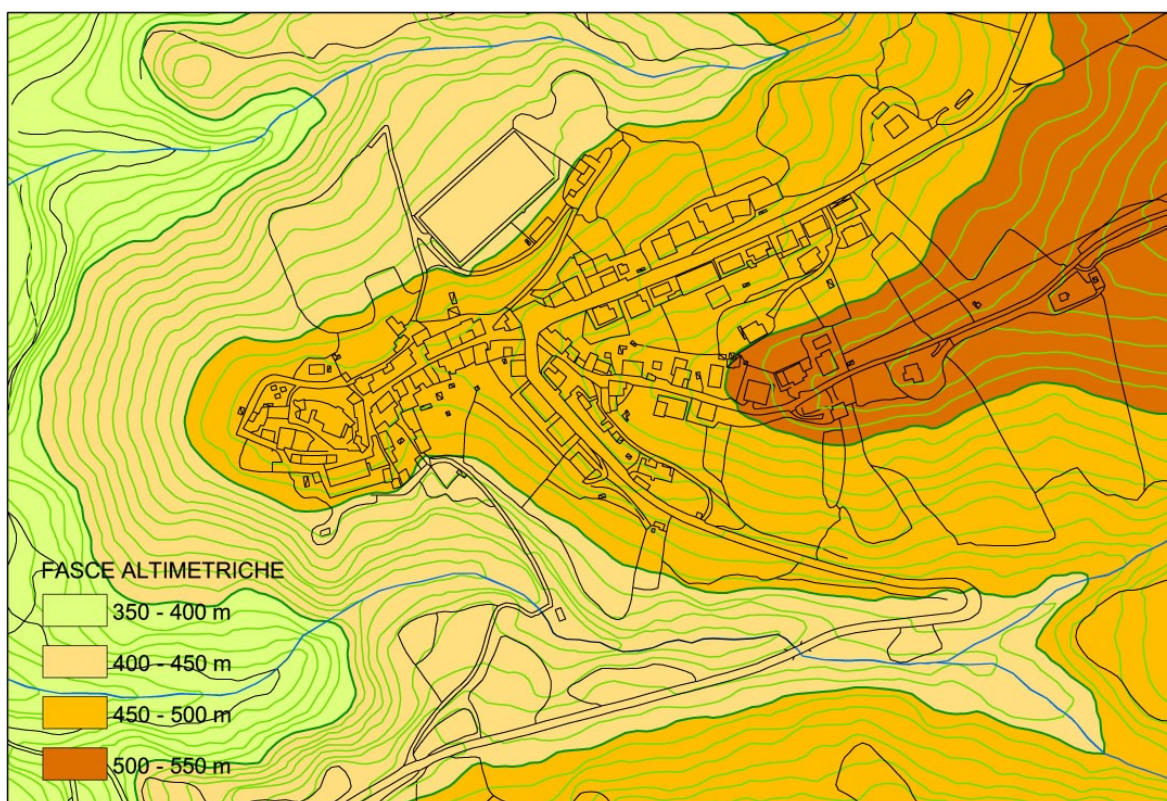
Il centro abitato<sup>548</sup>, che si colloca nella parte più a Nord del comune, si sviluppa nella fascia altimetrica compresa fra i 450 m e i 500 m s.l.m., gli edifici più recenti, costruiti verso Est, appartengono alla successiva fascia altimetrica compresa fra 500 m e 550 m s.l.m.. In base agli studi sull'acclività del territorio, parte del Piano di Ricostruzione (P.d.R.) del Comune, elaborato a seguito dell'evento sismico del 6 aprile 2009, la

<sup>547</sup> M. Indirli, 1A\_02, *Relazione sullo stato dei luoghi*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>

<sup>548</sup> E. Miccadei, C. Vaccaro, M. Indirli, 3A\_01\_a1, *Relazione illustrativa - Aspetti geologici, geomorfologici e idrogeologici*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.



pendenza media dei versanti su cui sorge il centro storico è compresa nelle fasce 0 - 15% e 15% - 30%, tipiche delle aree collinari. L'antico castello di Arsita sorgeva nel punto più alto del rilievo orografico, dal quale è ancora possibile apprezzare il suggestivo scenario paesaggistico offerto dalle alture del Gran Sasso.



**Fig. 5.10** Mappa delle fasce altimetriche in cui si colloca il centro urbano di Arsita  
(Base cartografica – Carta Tecnica Regionale: ENEA C. R. Bologna)

Il principale corso d'acqua del territorio è il Fiume Fino, che fiancheggia la parte terminale occidentale del versante su cui sorge il centro abitato di Arsita. Il bacino idrografico del fiume, in prossimità del nucleo urbano, ha un reticolo angolato, con direzione prevalente Est – Ovest.

Sembra che l'area in esame sia interessata da processi gravitativi in atto. Gli studi geologici, geomorfologici e idrogeologici, che all'interno del Piano di Ricostruzione sono stati condotti in maniera approfondita, sono risultati indispensabili per definire il grado di pericolosità idrogeologica dell'area.

A tal fine, è stato consultato anche il Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI). Secondo la carta geomorfologica, allegata al PAI, l'abitato non è interessato da dissesti, questa evidenza «la presenza di un orlo di scarpata con influenza strutturale con andamento NW-SE che attraversa il centro storico, e una serie di fenomeni puntuali legate ai processi gravitativi; a Est del paese sono presenti versanti interessati da deformazioni superficiali lente, in stato quiescente; a Ovest, i fenomeni cartografati, legati alla dinamica fluviale del Fiume Fino, sono riferibili a scarpate fluviali, sia in stato di attività che di quiescenza»<sup>549</sup>.

Incrociando più dati, è stato evidenziato come l'area in esame ricada in una zona priva di pericolosità, per le aree poste a Est dell'abitato è stata riscontrata una pericolosità elevata, mentre a Ovest e a Nord del centro urbano è stata evidenziata una pericolosità da scarpata. In conclusione, l'abitato non è interessato da fenomeni riconducibili a una classe di rischio.

<sup>549</sup> *Ibid.*, p. 35.

I vincoli vigenti nell'area considerata sono elencati nella *Carta dei vincoli* del Piano Regionale Paesistico<sup>550</sup>, aggiornato al 2004. Il territorio di Arsita ricade in due aree: per la parte Ovest la categoria indicata è la A2 - *Conservazione parziale* - riferita a quelle aree il cui valore è considerato «molto elevato» per almeno uno dei tematismi esaminati e «elevato» in riferimento all'ambiente naturale e agli aspetti percettivi del paesaggio. Questa categoria è assegnata a tutte quelle aree per le quali è prevista la possibilità di apportare trasformazioni che garantiscano comunque la conservazione degli aspetti caratteristici. L'area Est del territorio comunale ricade invece nelle categorie C1 – C2 - *Trasformabilità condizionata* - assoggettate a specifiche prescrizioni per le modalità di progettazione, attuazione e gestione degli interventi di trasformazione per usi compatibili con i valori delle varie componenti territoriali.

Attraverso gli studi sugli aspetti geologici del comune di Arsita, compiuti con l'ausilio di rilevamenti di dettaglio, sono state individuate le litologie principali e l'assetto tettonico dell'area. È stata prodotta anche la *Carta degli Ambienti Geologici Omogenei*, contenuta nel Piano di Ricostruzione. Questa sintetizza i due principali ambienti individuati: quello marino con prevalenza di processi gravitativi e quello continentale fluviale. Il centro storico nonché la parte urbanizzata più recentemente verso Est ricadono nel primo dei due ambienti considerati, così come anche le fasce perimetrali all'abitato.

Per quanto riguarda il rischio sismico del patrimonio abitativo comunale, nel P.d.R. di Arsita si richiama uno studio condotto dal Dipartimento della Protezione Civile<sup>551</sup> nel 1996. Gli esiti dello studio fanno riferimento ai dati sulla pericolosità estratti dai cataloghi dei terremoti, ai dati del censimento ISTAT 1991 e alla rappresentazione della vulnerabilità (matrici di probabilità di danno) basata sui dati raccolti dopo il terremoto del 1980. La metodologia applicata è stata sviluppata dal Servizio Sismico Nazionale. Nonostante i riscontri, le stime ottenute, secondo, lo stesso Gruppo di Lavoro, sono affette da notevoli incertezze, causate non solo dalla complessità del problema, ma anche dalla limitata disponibilità di dati sulla vulnerabilità. In base a tali risultati, l'ammontare atteso dei danni relativi al solo patrimonio abitativo, espresso in percentuale della superficie abitativa, è compreso nell'intervallo 0.40 - 0.80; mentre la percentuale annua attesa di popolazione coinvolta in crolli ad Arsita è compresa nell'intervallo 0.000 – 0.005.

## 5.2.2 Cenni Storici

Arsita è un comune di antichissime origini, sorge nei pressi di un sito archeologico romano<sup>552</sup> di cui restano alcune tracce di tombe, databili dall'VIII al I secolo a.C., corredi, monili e resti della cinta muraria, come emerso dagli scavi archeologici del 1985. I primi ritrovamenti risalgono tuttavia al 1886, quando furono rinvenuti una fibula di bronzo e arette fittili, uscite dalle stesse matrici da cui erano state tratte quelle delle necropoli dell'Esquilino. Furono ritrovate anche urne cinerarie, vasi lacrimali, lucerne, pavimenti, monete romane della città di Cerbolongo, citata da Tito Livio e distrutta nel basso impero.

Il comune è nato come insediamento di confine, infatti, sorge al lato del Fiume Fino che nel periodo alto-medioevale era indicato come *In Fluvio Fine*, ossia fiume del confine. Nel periodo italico Arsita era il territorio di confine fra le terre dei Vestini e quelle dei Petruzi. Quest'ultimo è il nome originario dell'attuale Abruzzo.

<sup>550</sup> L.R. 12 aprile 1983, n. 18, art. 6.

<sup>551</sup> *Principali studi del rischio sismico condotti sul territorio nazionale dal Dipartimento di Protezione Civile (DPC), Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT), Servizio Sismico Nazionale (SSN) e Istituto Nazionale Di Geofisica (ING)*, in <[http://www.provincia.teramo.it/aree-tematiche/sicurezza-e-prevenzione/protezione-civile/protezione-civile-e-difesa-del-suolo/Rel\\_Gen\\_Def1.pdf/at\\_download/file](http://www.provincia.teramo.it/aree-tematiche/sicurezza-e-prevenzione/protezione-civile/protezione-civile-e-difesa-del-suolo/Rel_Gen_Def1.pdf/at_download/file)>, pp. 46-48.

<sup>552</sup> M. Indirli, 1A\_01, *Inquadramento generale*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.

Il primo nome del comune era *Bacucco*, appellativo derivante dall'omonimo castello, di cui oggi restano pochi ruderi. Il nome Bacucco è rimasto in uso fino al 1905, come risulta dai documenti storici. Il termine significa *castelletto* o *insediamento di capanne di frasche*, tuttavia, l'appellativo potrebbe anche derivare dalla forma ovale del primo insediamento oppure dal nome del dio Bacco o anche dall'arabo *bakok* o *burqu*, ossia il panno che si avvolge sulla testa e sul volto.



Fig. 5.11 (a) Ruderi del castello, (b) Vista panoramica dal castello

L'appellativo *Arsita*, invece, indica un luogo arso e bruciato dal sole. Sembra che sia stato utilizzato per la prima volta in un documento del 1084, relativo alla cessione di tre castelli al monastero di Montecassino. Il nome ricorre, accanto a quello di Bacucco, anche nel diploma concesso ad Alife da Carlo I D'Angiò del 1273. Le decime vaticane del 1324 fanno riferimento sia a *Bacucco* che all'*ecclesia S. Iohannis de Arsita*. Probabilmente i due insediamenti erano vicini e complementari l'un l'altro: il primo corrispondeva all'attuale incastellamento, il secondo era riferito alla Cima della Rocca, posta a quota 923 m s.l.m. e alla sottostante chiesa di San Giovanni, che si trova sull'omonimo colle, a un'altitudine di 729 m s.l.m..

Nel Rinascimento era parte dell'insediamento di Bacucco anche la vicina Roccafinadamo o *Rocca Filiorum Adami*. Il centro urbano fu dominato da Alessandro Sforza, entrando a far parte nel demanio reale nel 1474. Il re Ferdinando nel 1481 la donò all'Università di Civiltà di Penne come ricompensa per i danni subiti per essere stata fedele al Re delle Due Sicilie. In seguito lo stesso Ferdinando aggregò l'insediamento al contado di Sanvalentino, posseduto dalla famiglia degli Acquaviva. Nel 1507 il territorio entrò in possesso di Cola Gentile; nel 1600 passò nelle mani della famiglia di Renuccio Farnese. Nel 1669 ci fu un nuovo cambio di proprietà: il Duca di Parma, che aveva nell'odierno territorio arsitano alcune abitazioni, entrò in possesso dell'intera comunità.

Nell'Ottocento l'abitato di Bacucco fu coinvolto nel fenomeno del brigantaggio: i briganti, che avevano formato una vera e propria banda sulle montagne di Farindola, erano gli insorti contro l'invasione francese. Nel 1807 i briganti saccheggiarono il centro abitato di Bacucco, nonché le vicine località, portando via anche molti giovani, per arruolarli nel gruppo. Nello stesso anno uno dei briganti, Antonio Priore uccise l'arciprete di Bacucco, Vieti. Intanto l'Università di Bacucco, rimasta indipendente per molti secoli, nel 1806 era stata unita al Circondario di Penne.



### 5.2.3 Evoluzione delle Strutture Insediative

Il Comune si estende per 34,11 chilometri quadrati e confina con i Comuni di Bisenti (TE), Castelli (TE), Castel del Monte (AQ), Farindola (PE) e Penne (PE). Il territorio comunale comprende diversi insediamenti sparsi e alcuni aggregati urbani minori (Bivio Arsita, Colle dei Cerri, Colle Mesole e Pantane), testimonianza della sua vocazione agricola. Il centro abitato ha invece un prevalente sviluppo longitudinale, questo dista 16 chilometri dalla strada statale n. 81 Piceno-Aprutina.

Sebbene i primi incastellamenti, nel territorio, risalgano all'827, non abbiamo notizie sul numero e la localizzazione degli insediamenti, l'unica testimonianza è rappresentata dai resti delle mura del castello e da una torre angolare circolare, risalenti al XII secolo<sup>553</sup>.

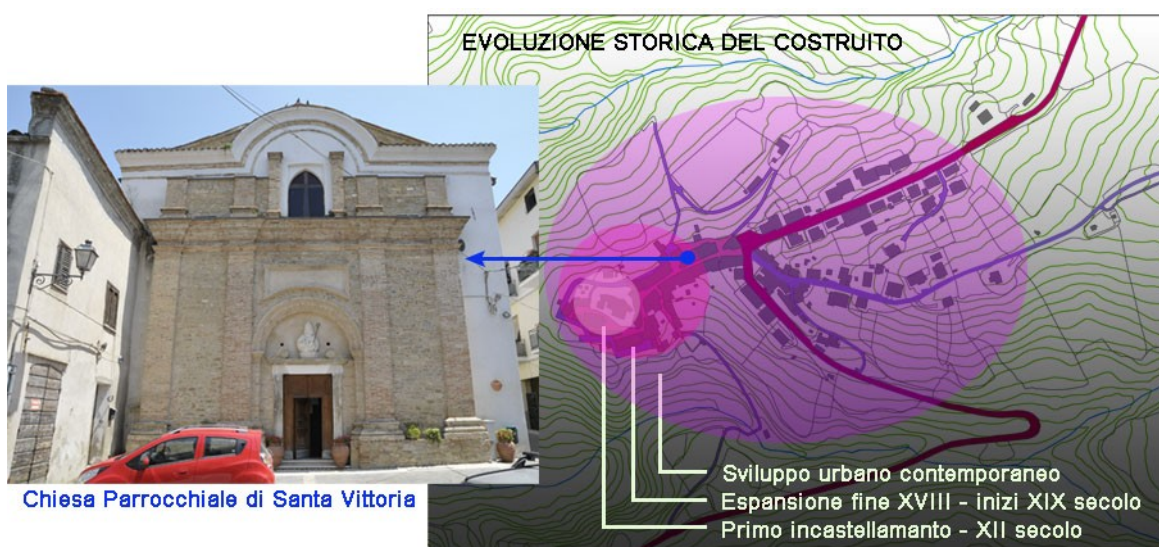


Fig. 5.12 Evoluzione delle strutture insediative (Fotografia: ENEA C. R. Bologna)

Nel 1173 Bacucco era un feudo «di due soli soldati a cavallo, vale a dire abitata da circa quarantotto famiglie»<sup>554</sup>, come scrive l'Antinori e null'altro sappiamo sull'estensione dell'abitato dei secoli successivi, fino al 1532, anno in cui, come riportato dal Giustiniani<sup>555</sup>, il numero dei fuochi sale a 50, saranno 67 nel 1545, 73 nel 1561, 81 nel 1595, 89 nel 1648 e scenderanno a 78 nel 1669.

Nella seconda metà del XVI secolo, quando il territorio di Arsita fu incluso nello Stato Farnesiano d'Abruzzo, sembra che il castello sia stato oggetto di alcuni ampliamenti, nella stessa epoca venne costruita la Chiesa di Santa Maria dell'Assunta.

Ubicato in località Colli, l'edificio religioso è stato danneggiato dalle scosse telluriche dell'8 agosto e del 1° settembre 1951 e dal ciclone abbattutosi nella notte fra l'11 e il 12 giugno 1956, come indica la relazione di perizia conservata presso l'Archivio del Comune. Anche nota come Chiesa di Santa Maria D'Aragona, è una costruzione cinquecentesca, recentemente riaperta al culto, dopo alcuni interventi di restauro. A protezione dell'ingresso principale, l'edificio presenta un piccolo portico, realizzato probabilmente in epoca successiva. La chiesa custodiva un'antica statua della Madonna con Bambino in grembo, in terracotta dipinta, risalente al 1531, restaurata fra Ottocento e Novecento: la particolarità della statua è rappresentata dalle mani snodabili e dal corpo mobile.

<sup>553</sup> T. Gambatesa, M. Indirli, 3A\_01\_c, *Cenni storici ed evoluzione delle strutture insediative*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.

<sup>554</sup> A. L. Antinori, *Corografia storica degli Abruzzi e de' luoghi circonvicini*, manoscritto della Biblioteca Provinciale "M. Delfico" di Teramo.

<sup>555</sup> L. Giustiniani, *Dizionario geografico ragionato del Regno di Napoli*, tomi 13, Napoli, 1796-1816, ristampa anastatica Forni Editore, Bologna, 1969.



Fig. 5.13 Chiesa di Santa Maria D'Aragona (Fotografia: ENEA C. R. Bologna)

Bacucco, ha probabilmente assunto l'odierna conformazione fra la fine del XVIII secolo e gli inizi del successivo. L'edificato si sarebbe sviluppato intorno alla presenza della Regia Chiesa Parrocchiale, tre edifici residenziali e un mulino ad acqua, era inoltre circondato da un bosco di faggi, querce e noci. Dei tre edifici, di cui si ha notizia, il primo, attaccato alla chiesa, era detto Palazzo ed era abitato dagli Ufficiali di Giustizia, degli altri due edifici possiamo ipotizzare la loro localizzazione nelle vicinanze della Regia Chiesa, forse uno era sede delle antiche municipalità, l'altro ospitava la casa canonica. Dalle Ordinanze del Sindaco di Arsita, scritte fra il 1945 e il 1950, sembrerebbe che l'antica canonica, che si trovava fra Via Oberdan e Corso Vittorio Emanuele, già in pessimo stato di conservazione, con l'aggravarsi delle condizioni delle facciate Sud e Sud - Ovest, nel 1949, sia crollata a seguito di un nubifragio e sia stata parzialmente ricostruita.

Anche la Chiesa Parrocchiale di Santa Vittoria ha subito nel corso dei decenni diverse modifiche. Eretta nel Seicento, fra il 1793 e il 1950 furono eseguiti una serie di interventi: uno dei più importanti è la realizzazione ottocentesca dell'avancorpo architettonico della facciata, poi restaurato nel 1907, con il completamento delle parti mancanti, quali lesene, capitelli, cornici. Un altro intervento particolarmente rilevante è stato il rialzamento dei muri perimetrali della chiesa e in seguito di quelli del campanile. I lavori sono stati ultimati solo negli anni '30 del Novecento, le tracce delle sopraelevazioni eseguite sono state evidenziate dalle immagini termografiche. La chiesa conserva un Cristo morto in legno di scuola napoletana e un busto di San Nicola di Bari, patrono del Comune.

Infine, il progetto della casa comunale risale al 1830 circa. L'alloggiamento era composto al piano primo da una cantina e da una stalla, al secondo piano erano collocate la camera del forno e la cucina, al terzo livello c'era una sala e una camera da letto. I lavori per la sua realizzazione saranno appaltati solo fra il 1857 e il 1860. Attualmente la facciata dell'edificio si presenta proprio come il disegno originario, con l'aggiunta del piccolo balcone sul portale d'ingresso. Il vecchio comune, uno degli edifici più rappresentativi di Arsita, ospita il punto informativo del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga, ma non è aperto al pubblico. All'interno della struttura è stato allestito un percorso museale interattivo che si propone di sensibilizzare i visitatori a una nuova visione della fauna selvatica. Oltre ad essere uno spazio di informazione, il museo sostiene la convivenza tra uomo e lupo.

Nel 1807 Bacucco risultava un Riunito di Penne, nel 1809 passò a Bisenti e nel 1830 si separò da questi col decreto di Francesco I. L'intero territorio fu feudalizzato con il conseguente aumento della popolazione, raggiungendo proprio nel 1830 le 1178 anime. L'agglomerato urbano, edificato all'interno delle mura cittadine, passò da 90 a 150 fuochi, secondo l'*Onciaro* del 1747. L'economia locale era retta dall'agricoltura, ma anche la pastorizia e la lavorazione dei legni erano parte delle attività dominanti. Anticamente, infatti, nel territorio erano lavorati i legni di quercia e di faggio dei boschi vicini al centro abitato per la costruzione dei remi, ricercati in tutto il litorale adriatico, noti forse anche presso l'antico porto di Acri, posto fra Silvi Marina e Pineto. Non esistevano le scuole,



l'assistenza sanitaria e ogni altra forma di pubblico servizio, dunque la destinazione d'uso dell'edificato era esclusivamente residenziale. L'abitato si sviluppò in alcuni rioni che testimoniano l'esodo dei lavoratori verso il nascente Comune, questi erano in tutto nove: Casanova, Castello, Corte, Croce, Piazza, Ponte, Portanova, S. Rocco e Villa, mentre le contrade erano molto più numerose.

Il centro urbano è costituito per lo più da edifici in linea di due e soprattutto tre piani, con affacci paralleli verso gli assi stradali e, in alcuni casi, verso gli annessi orti. I caratteri costruttivi, desunti dalle analisi dirette, risultano abbastanza omogenei: si tratta di edifici per lo più in pietra, la muratura si presenta in molti casi irregolare, in altri sbazzata e in pochi casi regolare; gli orizzontamenti sono solitamente in legno, in pochi casi ristrutturati con profilati di acciaio, oppure in putrelle e voltine. Dopo alcuni interventi più recenti, alcuni solai sono stati ricostruiti in laterocemento. Anche le coperture, ad eccezione di pochi casi, sono ancora in legno, con manto in laterizio. Gli edifici non presentano cordoli, se non in modo episodico, inoltre, in pochi casi sono stati rilevati incatenamenti.

Quello che risulta evidente è il continuo rimaneggiamento dei fabbricati negli anni: oltre ad alcune superfetazioni, la distribuzione interna degli ambienti ha subito trasformazioni che, a volte, hanno reso difficile la lettura delle singole unità strutturali. Le caratteristiche comuni degli edifici lasciano ipotizzare che questi siano stati costruiti nello stesso periodo, inoltre, sono state individuate poche cellule di saturazione, aggiunte fra gli edifici esistenti, sfruttando le pareti laterali di queste, e ciò conferma l'ipotesi che l'intero centro sia stato costruito, forse sotto la direzione di maestranze diverse, nello stesso periodo. Si può ipotizzare, dunque, una formazione ottocentesca, basata sull'impiego dei materiali locali.

Nel '900 alcuni edifici hanno subito alterazioni formali per il miglioramento della viabilità urbana. Le unità edilizie, localizzate all'imbocco del Corso Vittorio Emanuele, formavano una strettoia, per questo, gli edifici sono stati parzialmente demoliti, mentre la porzione di suolo da essi occupata è stata espropriata, come disposto dai documenti del 1895.

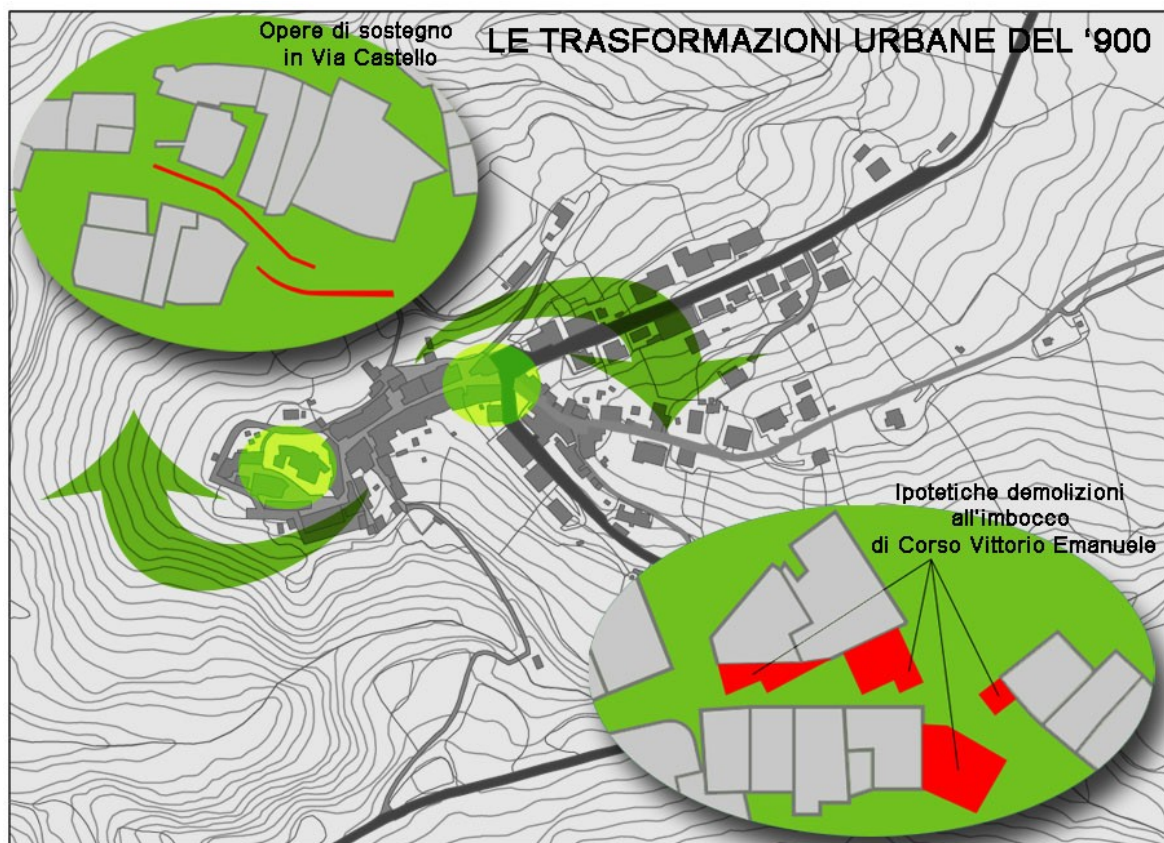


Fig. 5.14 Le trasformazioni urbane del '900

Sappiamo, inoltre, che proprio fuori dall'imbocco dell'abitato si trovava la cappella di San Rocco anche questa demolita e ricostruita nel 1925 in altro luogo. Una perizia successiva del 1935 richiedeva, infine, nuovi interventi di demolizione, sempre allo scopo di rettificare la strada e allargare così il Corso Vittorio Emanuele.

Ulteriori interventi furono eseguiti in Via Castello, come mostra un progetto del 1910. Sembra che il dissesto idrogeologico abbia danneggiato le mura di contenimento, rendendo necessarie opere di sostegno in previsione di possibili crolli. Dall'osservazione delle ortofoto e dalla documentazione storica si evidenzia, proprio ai piedi del rilievo su cui sorge l'odierna Arsita, la presenza di un corso d'acqua, Fosso Pisciarello, che confluisce a Sud-Ovest nel Fino ed è probabile che durante i periodi di piena renda franabile il versante Sud su cui sono stati eretti alcuni edifici.

I dati Istat indicano un consistente aumento demografico nel 1936, quando si contano 2380 abitanti, ma è probabile che i nuovi residenti si siano insediati nell'edilizia sparsa nel territorio, senza incidere sulla conformazione del centro urbano, in seguito il livello demografico è sceso gradatamente, nel 2001 era sotto i 1000 abitanti. Attualmente il Comune di Arsita continua a conservare l'originaria struttura storica.

#### 5.2.4 Analisi Urbanistico - Architettonica

Questo studio è stato intrapreso nella fase conoscitiva del centro storico, ricorrendo alle Schede Urbanistico - Architettoniche del costruito già descritte nel Capitolo 3. I contenuti delle schede sono stati utilizzati per tratteggiare le caratteristiche distintive dell'edificato. I dati raccolti, prima digitalizzati, sono stati in seguito elaborati nel GIS per la realizzazione di specifiche mappe tematiche, parte del Piano di Ricostruzione.

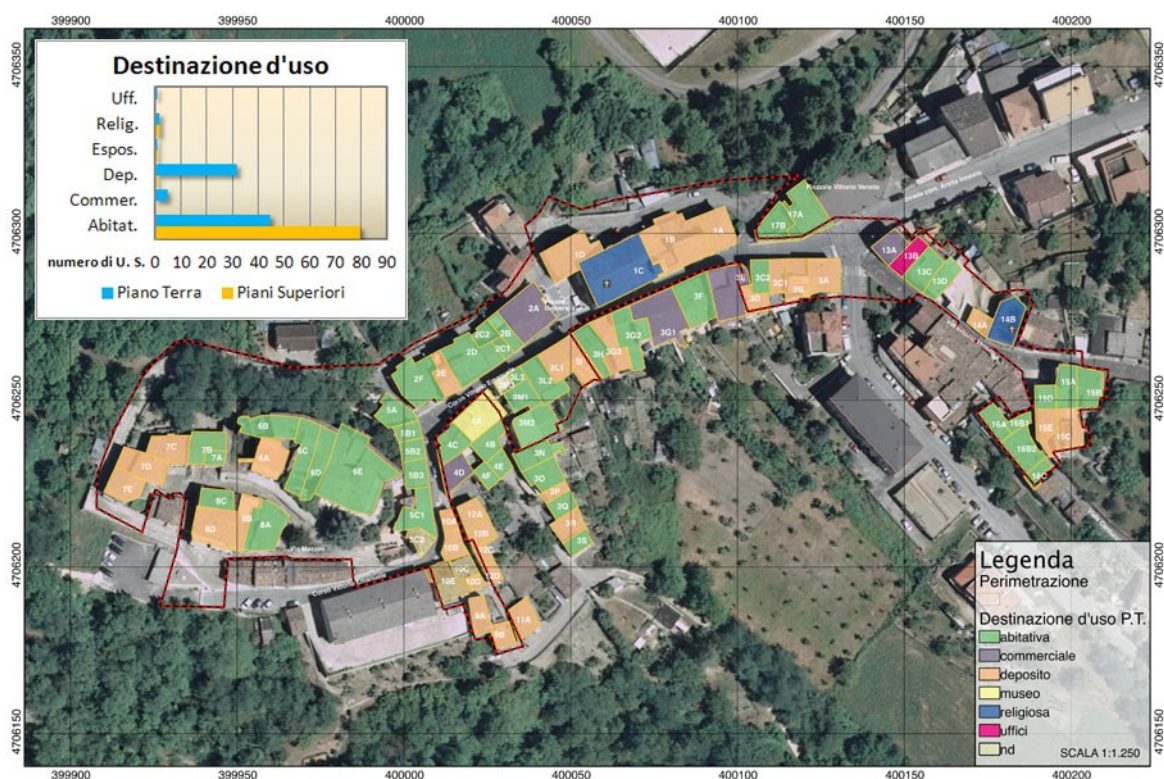


Fig. 5.15 Destinazioni d'uso del piano terra delle Unità Strutturali (Mappa: ENEA C. R. Bologna)

L'elaborato in Figura 5.15 rappresenta la destinazione d'uso del piano terra degli edifici di Arsita. In riferimento al numero delle unità strutturali rilevate risulta che più del 52% dell'edificato è adibito ad uso residenziale, nel 37% dei casi i locali del piano terra



ospitano depositi, solo quattro unità edilizie, pari a circa il 6% del totale, sono impiegate per fini commerciali. Gli edifici specialistici sono costituiti da due chiese, una delle quali in stato di abbandono, un museo, un locale per uffici, che rappresentano in termini percentuali rispettivamente il 2%, l'1% e l'1% degli edifici. La destinazione d'uso dei piani superiori è, nella quasi totalità dei casi, abitativa.

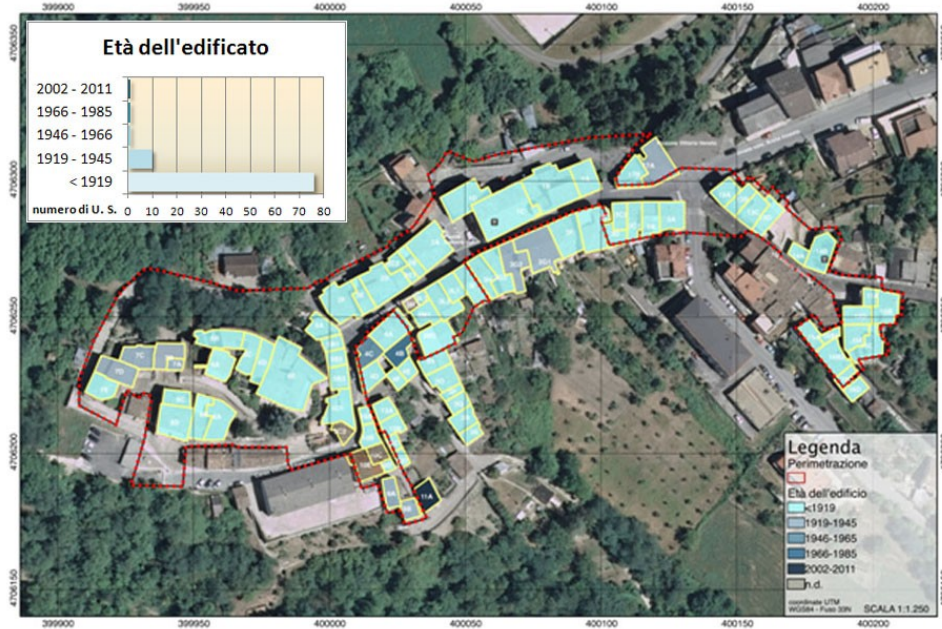


Fig. 5.16 Età dell'edificato (Mappa: ENEA C. R. Bologna)

Nell'elaborato di Figura 5.16 è stata rappresentata l'età dei manufatti edilizi. Come indicato già dall'analisi sull'evoluzione urbana del costruito, la maggior parte degli edifici di Arsita, l'86% del totale, è antecedente al 1919. Alcuni documenti d'archivio e le testimonianze dirette della cittadinanza hanno permesso, in alcuni casi, di individuare con precisione l'epoca di costruzione degli edifici e le successive trasformazioni, apportate per adattare la distribuzione interna alle mutate esigenze funzionali.

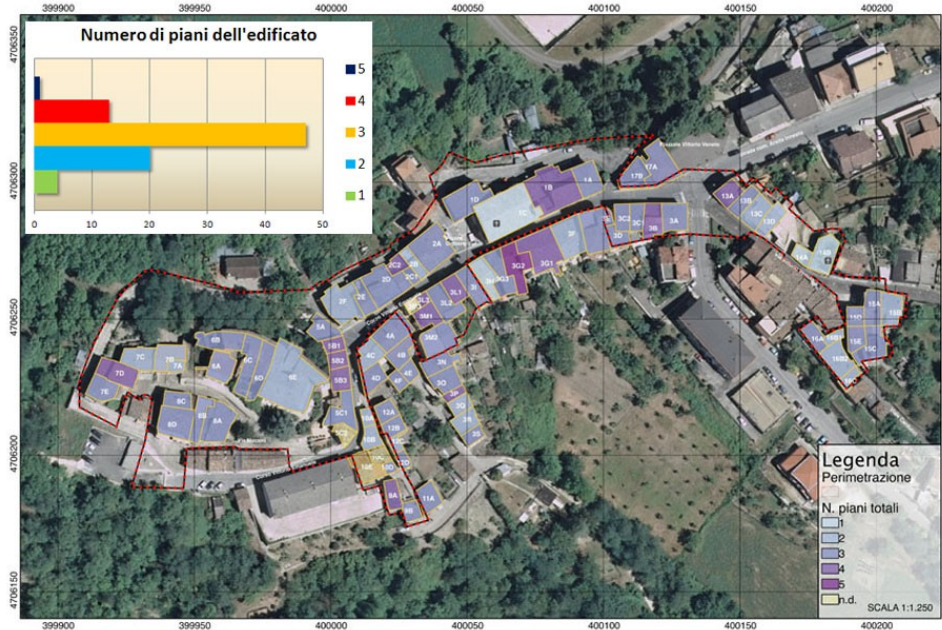


Fig. 5.17 Numero dei piani delle Unità Strutturali di Arsita (Mappa: ENEA C. R. Bologna)



L'edificato del centro storico, ad eccezione di alcune sopraelevazioni realizzate in epoca più recente e facilmente distinguibili, è costituito mediamente da fabbricati di tre piani. In alcuni casi gli edifici, sfruttando i dislivelli esistenti fra gli assi stradali, hanno un piano seminterrato, utilizzato come deposito o come box auto. Tali dislivelli, nel processo evolutivo degli aggregati, hanno determinato, in alcuni casi, la realizzazione di livelli sfalsati fra le unità.

Le unità strutturali di Arsita, come evidenzia la Figura 5.18, sono state costruite per lo più linearmente seguendo la pendenza dei tracciati stradali, per questo solo in pochi casi gli edifici sono disposti al di sopra o al di sotto degli assi urbani. Nella maggior parte dei casi, il 78% del totale, le unità sono accessibili direttamente dal livello stradale, nelle altre situazioni sono stati realizzati all'esterno dell'edificato dei corpi scala di pochi gradini, in base al dislivello. Le unità realizzate al di sopra del livello stradale risultano essere il 14% del totale, invece, quelle costruite sotto il livello stradale sono solo l'8%.

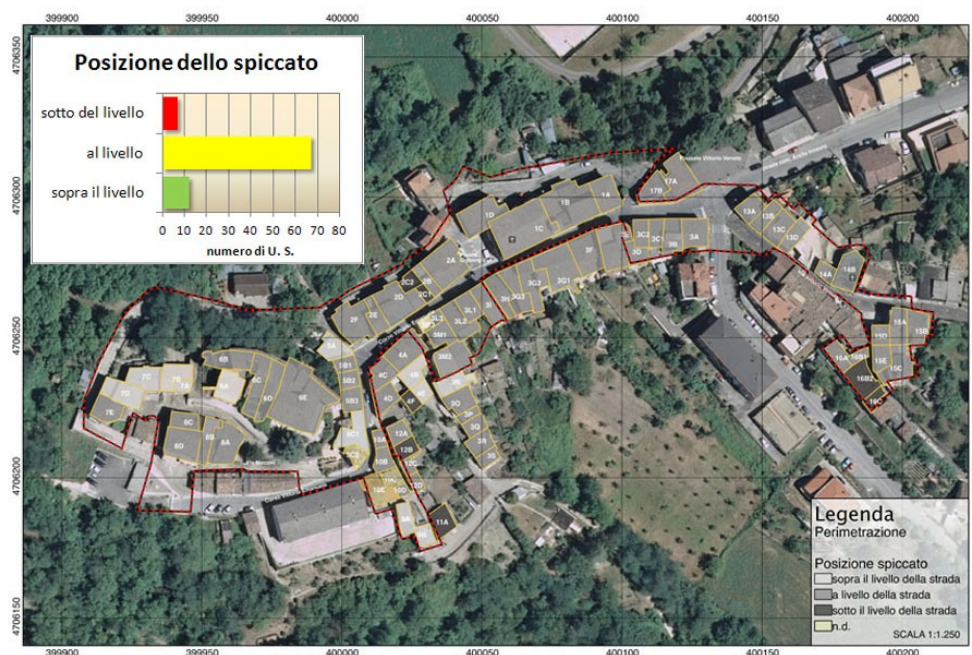


Fig. 5.18 Posizione dello spiccato rispetto al livello della strada (Mappa: ENEA C. R. Bologna)

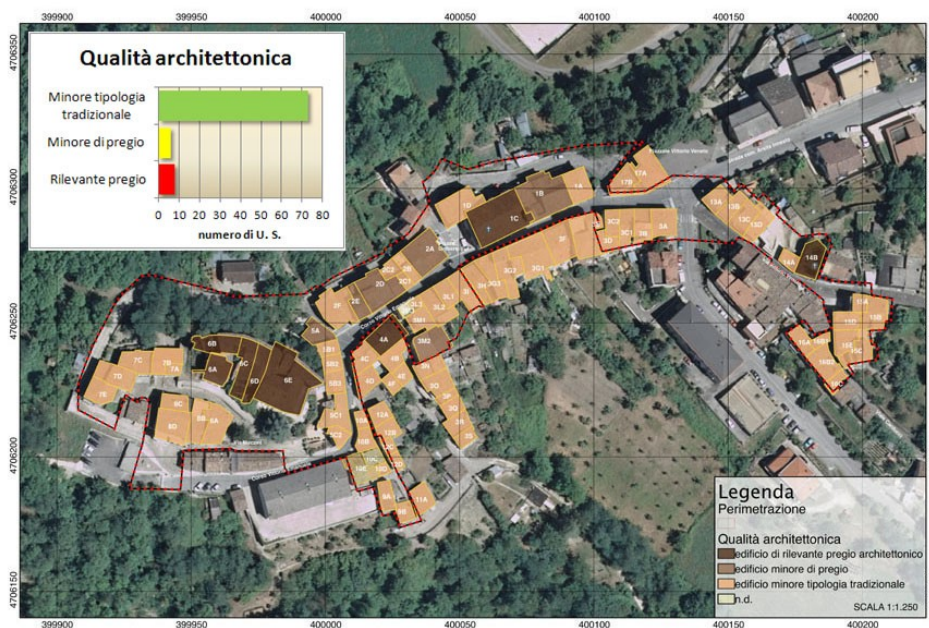


Fig. 5.19 Qualità architettonica dell'edificato (Mappa: ENEA C. R. Bologna)



Le mappe finora richiamate rappresentano dati oggettivi, rilevati direttamente su campo oppure acquisiti attraverso ricerche d'archivio. Nella Scheda Urbanistico - Architettonica del costruito, tuttavia, sono stati raccolti anche i giudizi del team sul valore architettonico degli edifici, sullo stato di manutenzione e sulle condizioni generali delle unità strutturali. L'obiettivo perseguito nella fase conoscitiva, preliminare all'elaborazione del piano vero e proprio, è stato, infatti, quello di ottenere un quadro di riferimento sullo stato dell'edificato, per indirizzare le scelte dei tecnici nella definizione degli interventi.

Gli edifici considerati di pregio (Fig. 5.19) per la presenza di decori unici oppure perché arricchiti da elementi distintivi non sono solo quelli religiosi o quelli storicamente più antichi, come la cosiddetta *Rocca*, nel centro storico sono state individuate anche residenze private di rilevanza architettonica. In totale questi edifici rappresentano il 9% dell'edificato, quelli considerati di minore pregio sono il 7% del totale e quelli appartenenti alla tipologia tradizionale rappresentano l'84%. Questi ultimi sono stati realizzati con gli stessi materiali e le stesse tecniche costruttive, presentano inoltre un analogo schema distributivo, per questo sono parte di un'unica tipologia tradizionale locale.

Nel corso degli decenni la manutenzione effettuata sulle unità strutturali non è stata omogenea. Per alcuni edifici, come la Chiesa Parrocchiale di Santa Vittoria, i rifacimenti o le sostituzioni sono stati abbastanza costanti, per questo l'attuale stato di conservazione, nonostante i danneggiamenti subiti a causa del sisma del 2009, è comunque buono. Per altri edifici, non solo quelli a carattere residenziale, come i resti del castello medioevale, gli interventi eseguiti sono stati piuttosto esigui.

In relazione all'analisi statistica condotta, a fronte di una *buona* manutenzione, accertata per il 54% delle unità, una consistente parte degli edifici di Arsita, il 38%, presenta una condizione *ordinaria* e per circa il 29% del totale lo stato complessivo è *buono*. Gli edifici che negli anni hanno subito *scarsi* interventi di manutenzione, pari al 16%, oppure interventi giudicati *mediocri*, un altro 16%, sono anche gli stessi che attualmente presentano una condizione *cattiva* o sono addirittura in *stato di rovina*, rispettivamente il 23% e il 10% del totale, dimostrando l'importanza che assume la manutenzione, quale strumento di conservazione del costruito. Il confronto fra lo stato di manutenzione accertato e la condizione degli edifici è evidenziato nelle mappe in Figura 5.20 e 5.21

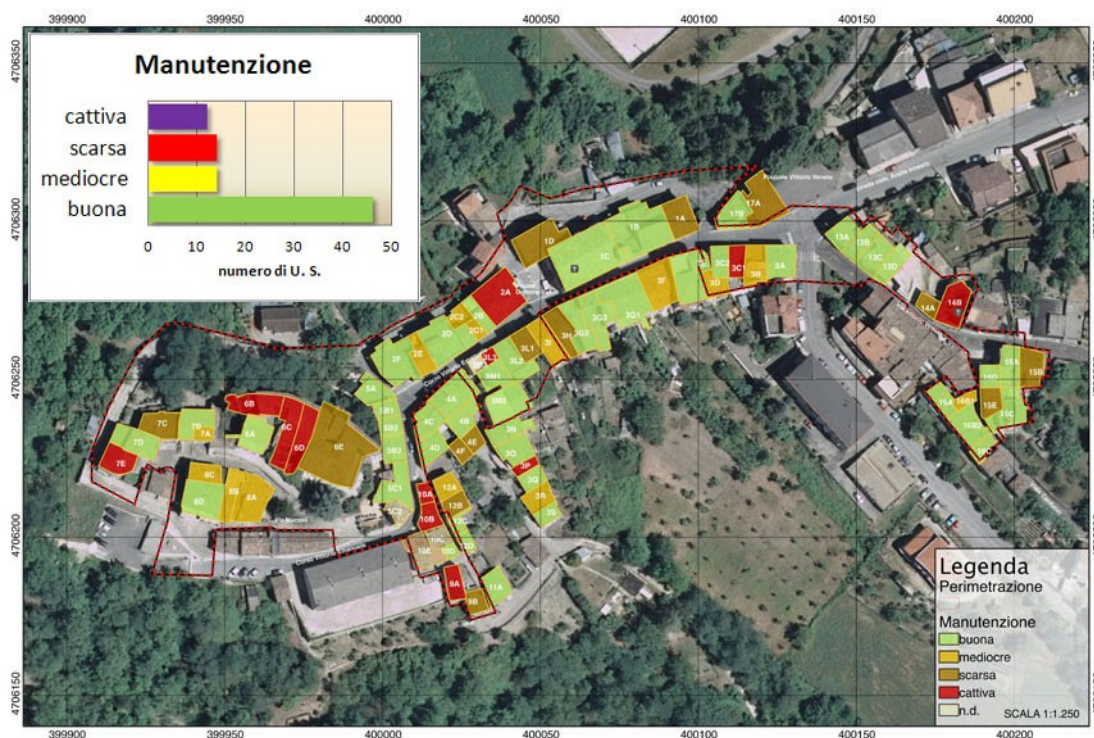


Fig. 5.20 Manutenzione dell'edificato (Mappa: ENEA C. R. Bologna)



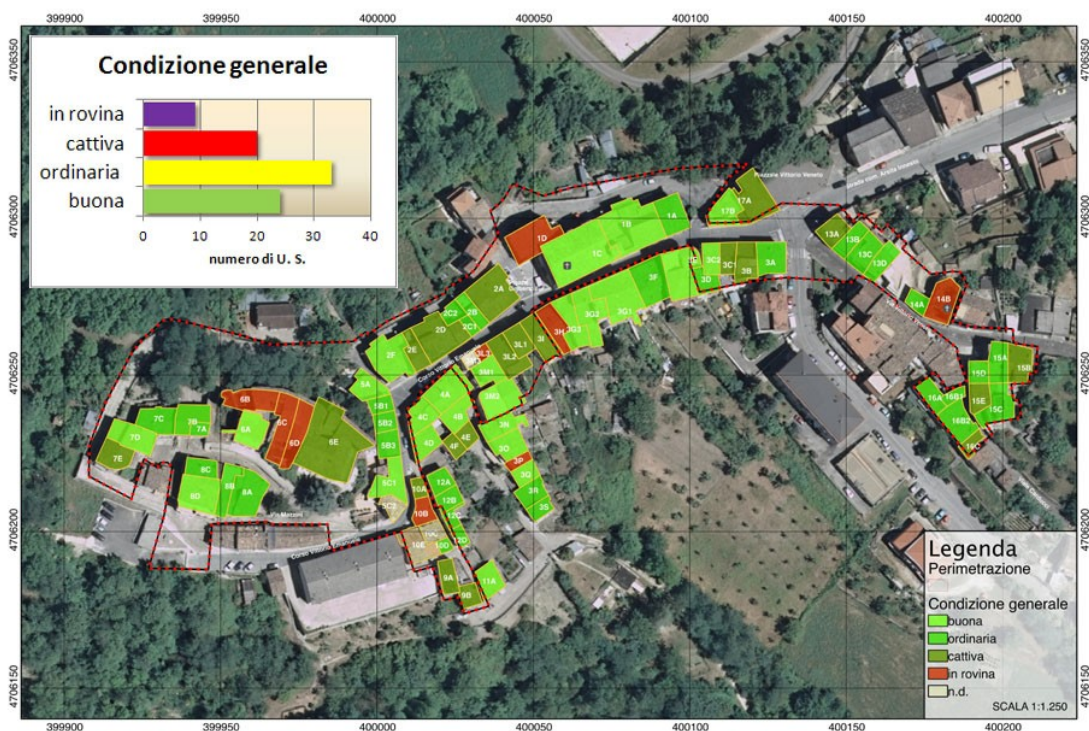


Fig. 5.21 Condizione generale dell'edificato (Mappa: ENEA C. R. Bologna)

La Scheda Urbanistico - Architettonico del costruito si conclude con una valutazione preliminare sui possibili interventi. Quelli di riqualificazione sono pari al 30% del totale, il 23% e il 15% sono rispettivamente rappresentati da interventi di miglioramento e adeguamento sismico, per poco più del 10% degli edifici, quelli di interesse storico - artistico si prevedono interventi di restauro, poco più del 9% degli edifici è invece interessato da opere di consolidamento o demolizione parziale oppure ricostruzione parziale o totale. Soltanto per l'11% degli edifici di Arsita non è stato preventivato alcun tipo di intervento.

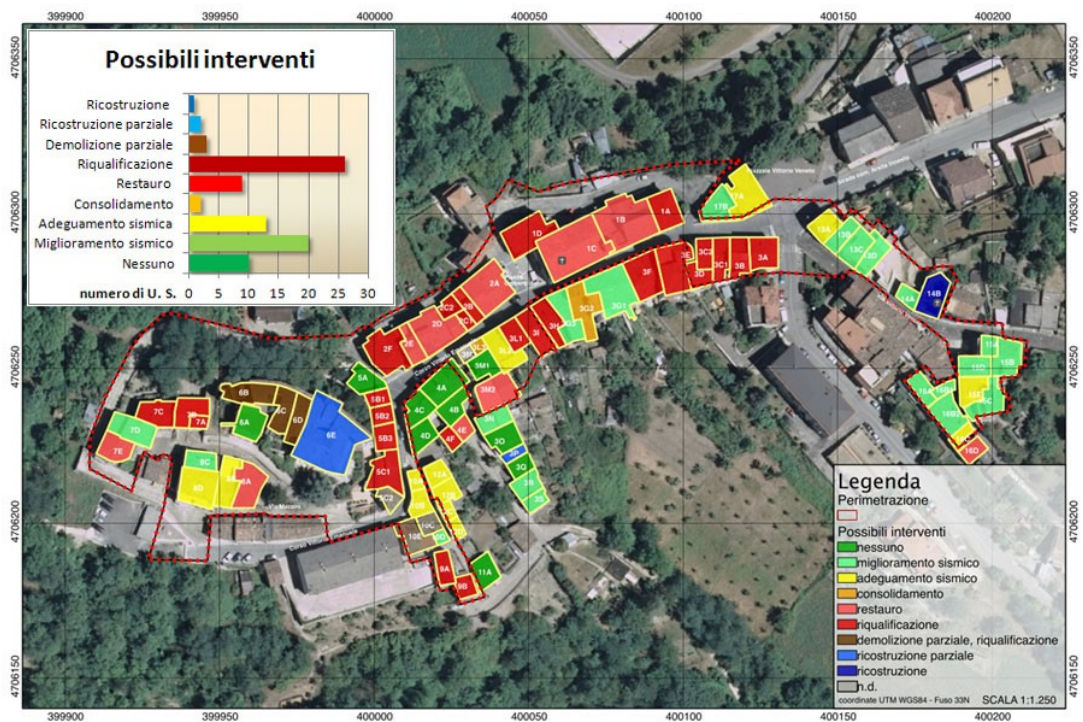


Fig. 5.22 Possibili interventi per l'edificato di Arsita (Mappa: ENEA C. R. Bologna)



Nell'immagine di Figura 5.23 è indicata l'esito della classificazione effettuata sulla base del D.P.R. 380/2001, art.3, dalla quale risulta che ad Arsita sono prevedibili, per la quasi totalità degli edifici, interventi di restauro e risanamento conservativo.

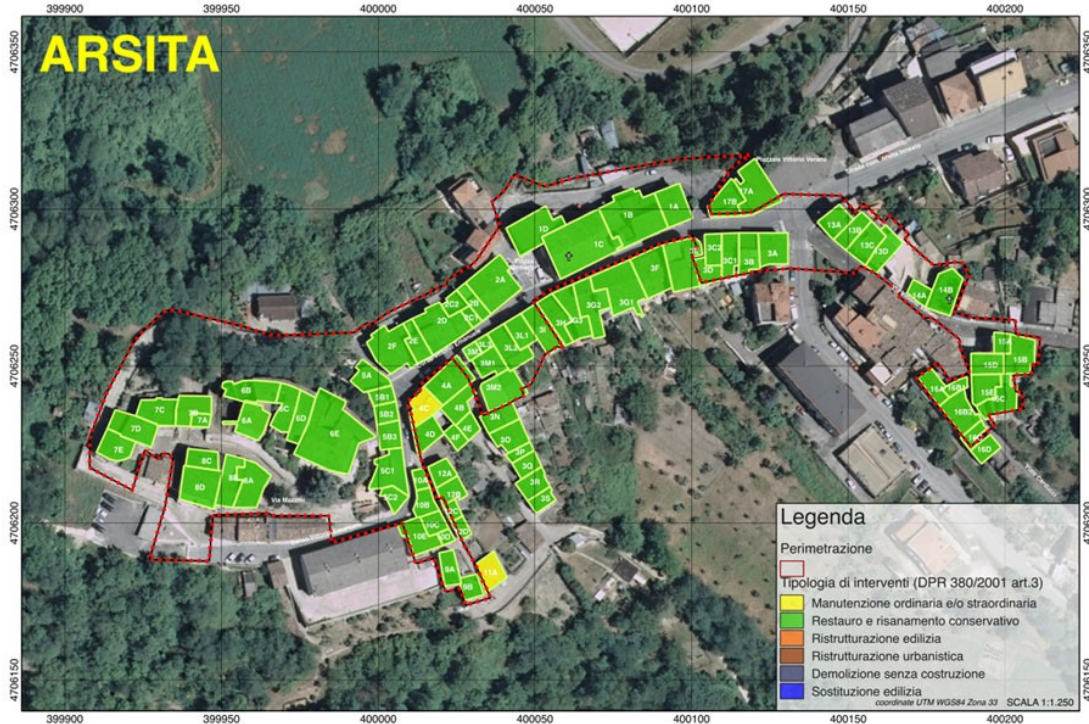


Fig. 5.23 Classificazione degli interventi in base al D.P.R. 380/2001 (Mappa: ENEA C. R. Bologna)

Le Schede Urbanistico - Architettoniche degli spazi aperti hanno permesso di effettuare una vera e propria mappatura urbana del centro storico. In Figura 5.24 sono indicati gli spazi aperti individuati all'interno del centro storico.

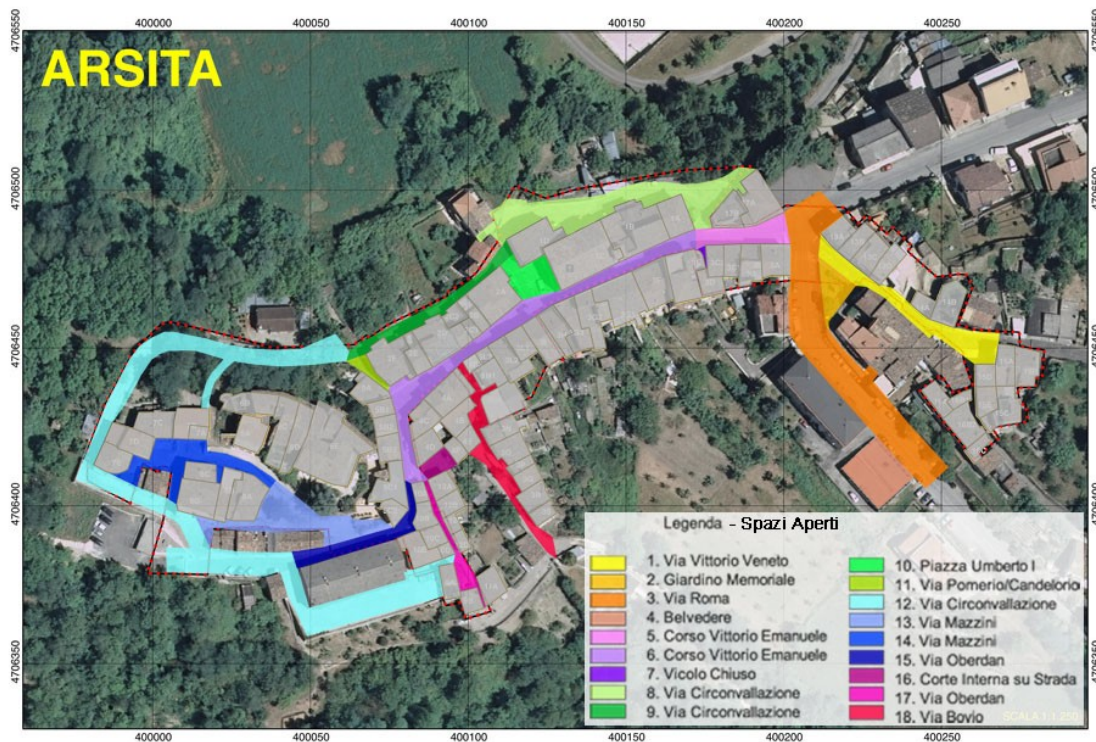


Fig. 5.24 Individuazione degli spazi aperti nel centro storico di Arsita



Le valutazioni effettuate sono riferite al numero di spazi aperti considerati e non alla loro superficie, con questa premessa, l'esito dell'analisi condotta sul tipo di pavimentazione urbana evidenzia come, accanto ai materiali lapidei di tipo tradizionale, impiegati nel 28% dei casi, c'è una significativa percentuale di spazi, più del 22% del totale, pavimentato con masselli autobloccanti e una percentuale ancora maggiore, più del 33% di strade e spazi con pavimentazione mista in pietrame e calcestruzzo. Più dell'11% delle strade è asfaltato. Dunque, nel tempo, è stata rivolta una minore attenzione alla conservazione dei materiali locali, in favore di materiali e tecniche di posa in opera contemporanei.

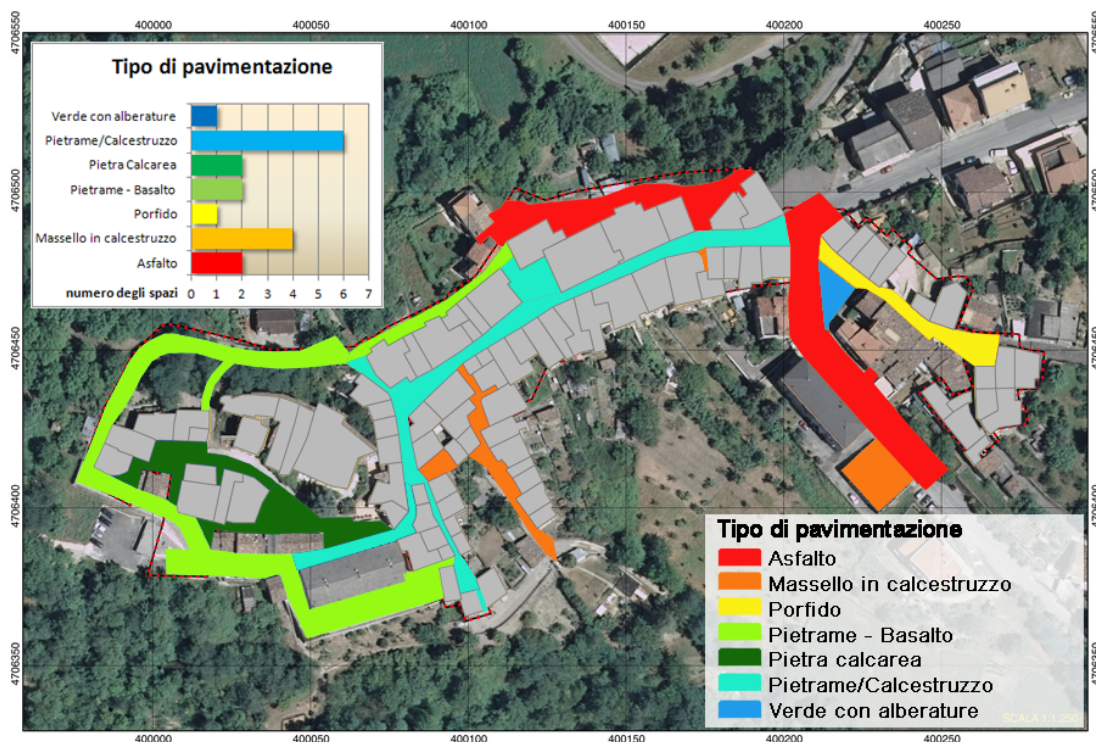


Fig. 5.25 Tipo di pavimentazione urbana ad Arsita

Gli aspetti più rilevanti dello studio condotto riguardano la dimensione degli assi stradali, la tipologia di traffico, il livello di accessibilità agli spazi e, non meno importante, la panoramicità del percorso, un aspetto utile per definire opportune misure di tutela e valorizzazione degli spazi pubblici dotati di rilevante valore monumentale o paesaggistico.

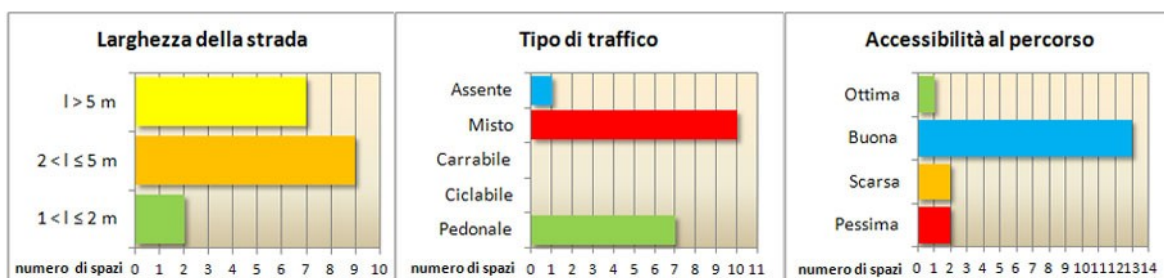


Fig. 5.26 Dimensioni, traffico, accessibilità dei percorsi di Arsita

Nel centro storico di Arsita la viabilità è costituita nella metà dei casi da percorsi di ampiezza compresa fra 2 e 5 m, circa il 39% degli assi urbani ha una larghezza maggiore di 5 m e, per il restante 11% dei percorsi, la larghezza dell'asse stradale è compresa fra 1 e 2 m. Dato che gli interventi effettuati nei primi decenni del Novecento, per rettificare la viabilità, hanno interessato solo Corso Vittorio Emanuele, nel resto del comune si osservano spesso restringimenti oppure piccoli slarghi stradali, in prossimità degli incroci.



Certamente la viabilità realizzata nell'area dell'antico castello testimonia l'origine medioevale dell'insediamento: i percorsi in prossimità della *Rocca* sono più tortuosi e più ripidi. Al contrario, nella direzione opposta, verso Est, gli assi diventano dei corridoi urbani: questa caratteristica si riscontra non solo per Corso Vittorio Emanuele, ma anche per Via Vittorio Veneto e per Via Roma. Quasi la metà degli spazi aperti considerati viene anche utilizzata per il parcheggio delle autovetture.

Le percorrenze, come evidenzia il grafico centrale di Figura 5.26, sono nella maggioranza dei casi, circa il 56%, miste: pedonale e carrabile. Circa il 39% della viabilità pubblica è a uso esclusivamente pedonale. Sono del tutto nulli i percorsi ciclabili e sono stati individuati pochi spazi recintati o difficilmente accessibili dove non c'è alcun tipo di traffico. Attraverso quest'analisi sono stati individuati anche spazi utilizzabili come punti di raccolta per la cittadinanza.

L'accessibilità ai percorsi esistenti è stata giudicata buona per più del 70% dei casi (Fig. 5.26). Inoltre, circa il 40% delle strade di Arsita ha anche un buon livello di panoramicità. Tuttavia, il percorso più stretto dell'insediamento, indicato col numero 17 nell'elaborato di Figura 5.24, è caratterizzato da ripide rampe che abbassano il livello di accessibilità da o verso il centro storico, riducendo la possibilità di evacuazione o la possibilità di intervento da parte dei soccorritori in quella direzione. Mentre, gli edifici costruiti lungo Corso Vittorio Emanuele prospettano a Sud verso gli orti privati che non sono accessibili da alcuna viabilità pubblica. Così come, non sono stati individuati percorsi alternativi a quelli esistenti per migliorare la circolazione oppure percorsi che possano servire come vie di esodo secondarie. La viabilità urbana esistente è essenziale, sono assenti anche percorsi di penetrazione verso il contesto paesaggistico, in grado di valorizzazione le potenzialità turistico - ricreative del territorio.

Sulla base di queste riflessioni il Piano di Ricostruzione ha individuato specifici interventi sia per la viabilità del centro storico sia per la viabilità extraurbana, che sono presentati successivamente.

### 5.2.5 Vulnerabilità del Costruito

I danneggiamenti provocati dal sisma del 2009 hanno motivato l'estesa analisi condotta sulla vulnerabilità del costruito, che ha assunto un ruolo decisivo per la successiva definizione degli interventi strutturali. Gli esiti sulla vulnerabilità dell'insediamento, ottenuti con l'applicazione delle metodologie schedografiche, sono utili a delineare il livello di sicurezza del centro storico e restituiscono una valutazione a scala urbana dello *stato di salute* dell'edificato.

I primi risultati dell'analisi condotta si basano sull'applicazione della Scheda GNDT di II livello per edifici in muratura. Nell'elaborato di Figura 5.27 le unità strutturali di Arsita, in relazione al valore dell'indice di vulnerabilità ottenuto, sono state classificate all'interno di quattro gruppi percentuali: 0-30%, 30-45%, 45-60%, 60-100%.

In riferimento al numero degli edifici esaminati emerge che solo l'8% delle unità strutturali ha una bassa vulnerabilità, compresa nell'intervallo 0-30%, il 47% degli edifici di Arsita è soggetto alla fascia di vulnerabilità 30-45%, circa il 28% del totale rientra nella fascia 45-60%, la restante percentuale di edifici, il 17%, appartiene all'intervallo 60-100%. Questi dati sono stati affiancati dagli esiti delle altre metodologie applicate.

In Figura 5.28 è rappresentata la mappa della vulnerabilità risultante dalla Scheda proposta da Formisano. In questo caso, poco più del 9% degli edifici rientra nella fascia di vulnerabilità 0-30%, circa il 52% del totale fa parte della successiva fascia 30-45%, circa il 37% degli edifici appartiene all'intervallo 45-60%, il 2% rappresenta la percentuale delle unità appartenenti alla fascia di vulnerabilità più alta, 60-100%.

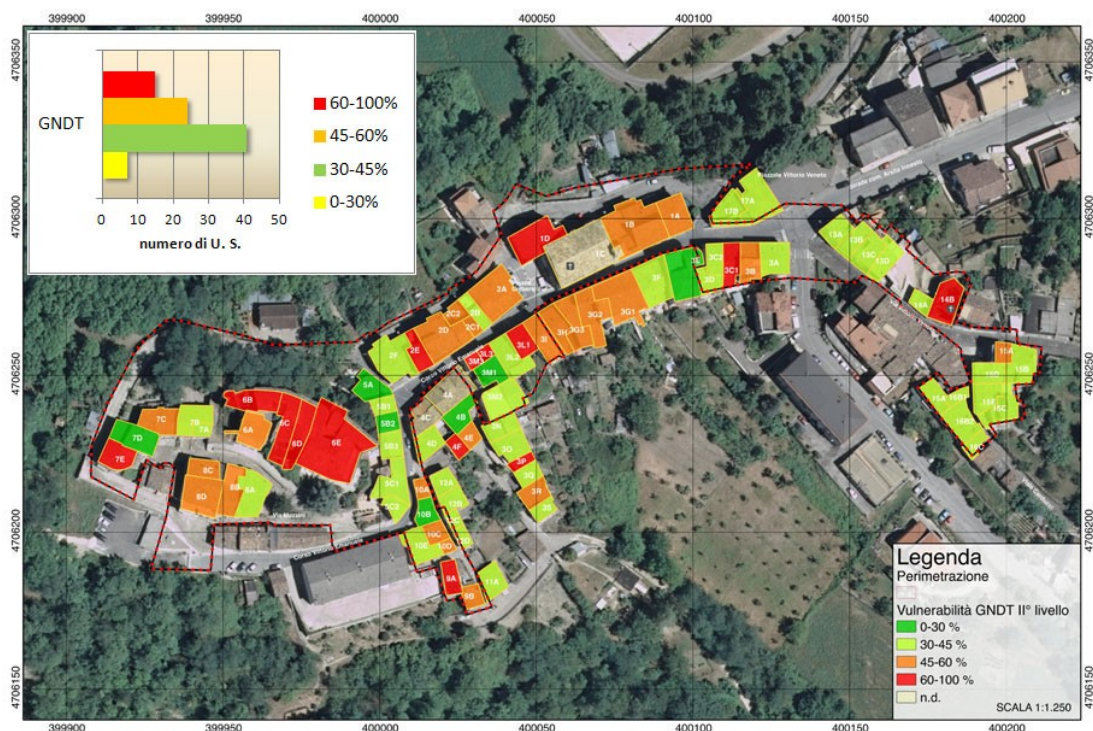


Fig. 5.27 Esiti della Scheda GNDT di II livello per edifici in muratura (Mappa: ENEA C. R. Bologna)

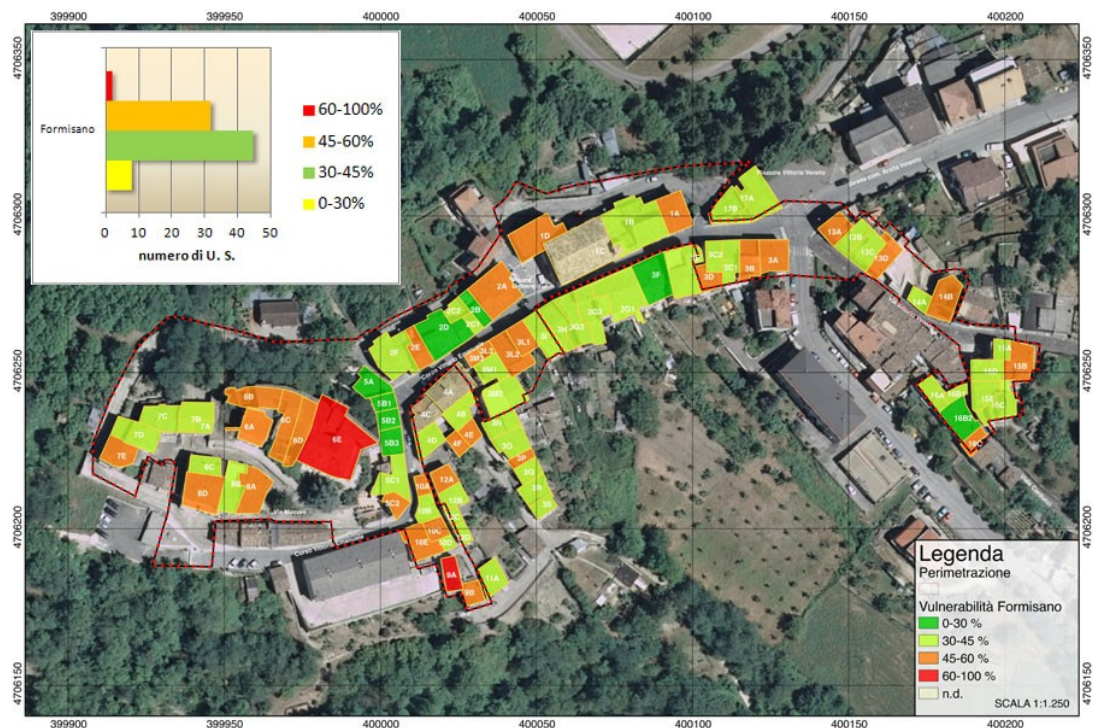


Fig. 5.28 Esiti della Scheda proposta da Formisano per edifici in muratura (Mappa: ENEA C. R. Bologna)

Complessivamente l'edificato di Arsita si colloca per entrambe le metodologie nelle due fasce di vulnerabilità 30-45% e 45-60%. Tuttavia la Metodologia Formisano attribuisce alla classe di vulnerabilità 30-45% il 5% in più delle unità strutturali rispetto all'esito delle Schede GNDT e inserisce nella successiva fascia 45-60% il 9% in più degli edifici. La differenza maggiore si riscontra per l'ultima classe di vulnerabilità: le schede GNDT attribuiscono il 15% in più degli edifici, rispetto alla Metodologia Formisano, alla classe di vulnerabilità più alta.



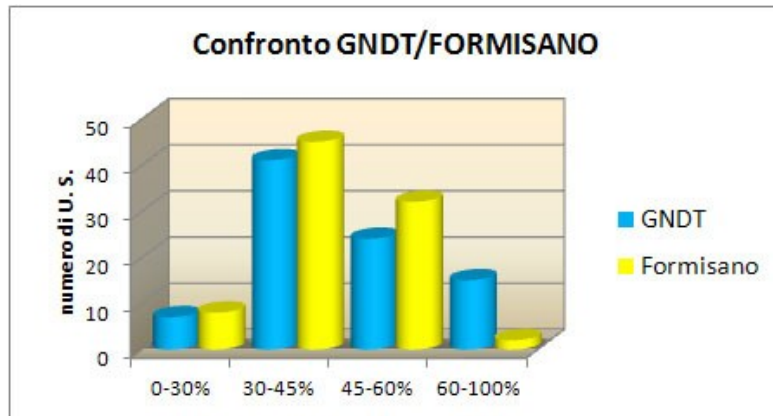


Fig. 5.29 Grafico di confronto fra gli esiti GNDT e Formisano

Dall'applicazione della Metodologia FaMIVE sono state elaborate due mappe: la prima rappresenta la vulnerabilità ai meccanismi di collasso nel piano, la seconda indica la vulnerabilità ai meccanismi fuori piano.

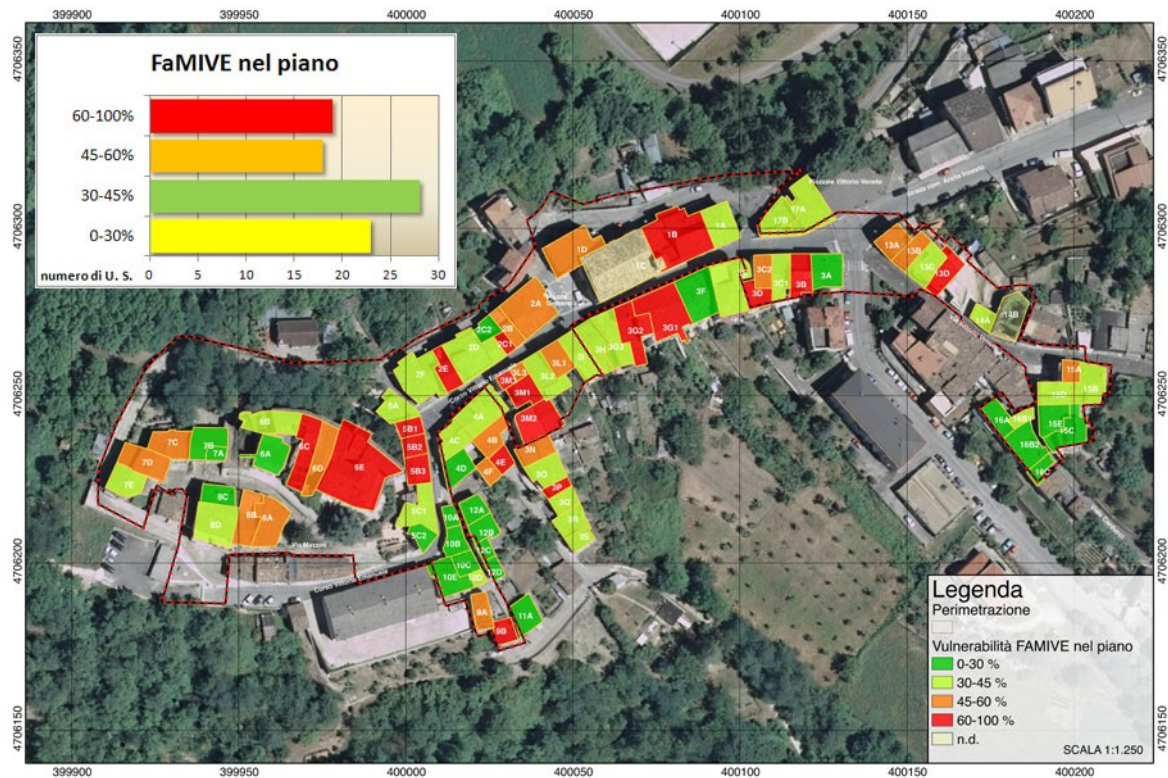


Fig. 5.30 Esiti della Scheda FaMIVE, meccanismi nel piano (Mappa: ENEA C. R. Bologna)

La distribuzione delle unità strutturali nei quattro intervalli considerati evidenzia che l'edificato di Arsita è sicuramente vulnerabile ai meccanismi nel piano, ma in misura variabile: poco più di un quarto del totale ha un indice di vulnerabilità basso, circa il 32% è inserito nell'intervallo 30-45%, poco più del 20% esibisce una vulnerabilità medio - alta e la restante parte delle unità strutturali, circa il 22% appartiene alla fascia 60-100%.

La mappa che descrive gli esiti di vulnerabilità delle Schede FaMIVE per meccanismi fuori piano dimostra che per la quasi totalità dell'edificato, l'86%, il relativo indice è stimato nella classe 0-30% e il 12,50% appartiene all'intervallo 30-45%. Gli edifici inclusi negli altri gruppi percentuali sono relativamente pochi. Questi risultati evidenziano come l'edificato dimostri una bassa propensione ai meccanismi fuori piani.

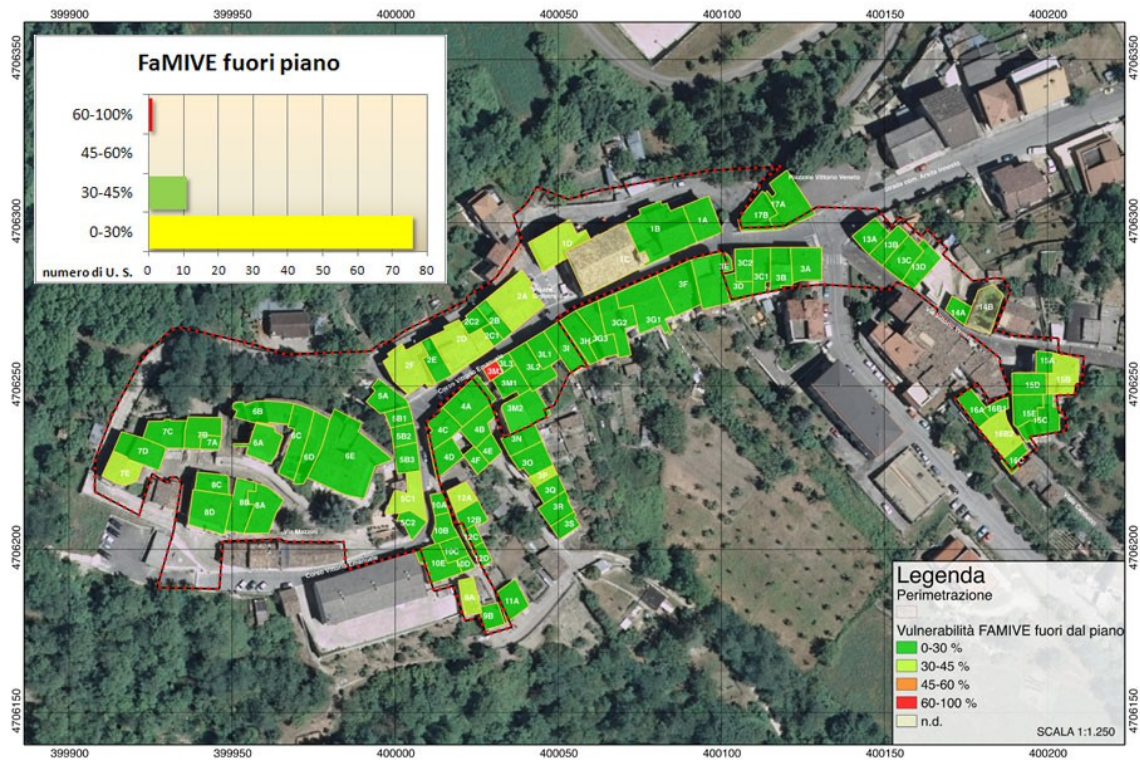


Fig. 5.31 Esiti della Scheda FaMIVE, meccanismi fuori piano (Mappa: ENEA C. R. Bologna)

Confrontando i risultati presentati dalle due mappe sugli esiti delle Schede FaMIVE si osserva che le unità strutturali di Arsita sono generalmente più vulnerabili ai meccanismi nel piano. Queste considerazioni, assunte come indicatori sulle criticità del costruito, sono state utilizzate per definire le proposte progettuali del P.d.R..

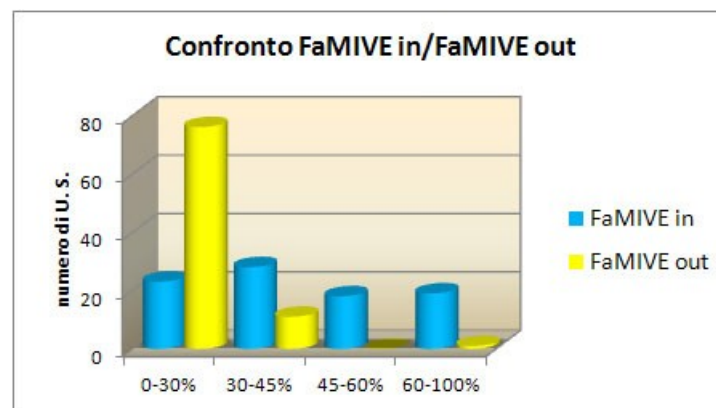


Fig. 5.32 Grafico di confronto fra gli esiti delle Schede FaMIVE nel piano e fuori piano

L'insediamento di Arsita è stato sottoposto anche all'esame della metodologia MEDEA. Dato che questa è considerata come una procedura per l'analisi qualitativa delle costruzioni in muratura, sono state realizzate, ancora una volta con l'ausilio del GIS, delle mappe di sintesi sugli esiti ottenuti, che indicano il livello di danno attribuito a ciascun meccanismo attivato. In base alla classificazione proposta dalla Scheda MEDEA, nel centro storico di Arsita, i principali meccanismi globali individuati sono:

- M1 - da taglio della parete per azioni nel piano;
- M2 - da taglio della parete per azioni nel piano localizzato solo nella zona alta;
- M3 - da ribaltamento della intera parete;
- M4 - da ribaltamento parziale della parete.



Accanto a questi, dalla lettura delle lesioni rilevate, solo per alcune unità sono stati riscontrati anche altri meccanismi globali e locali. Nella presente sintesi, finalizzata a una descrizione complessiva del comportamento strutturale degli edifici a scala urbana si analizzano i risultati statistici per i quattro meccanismi dominanti.

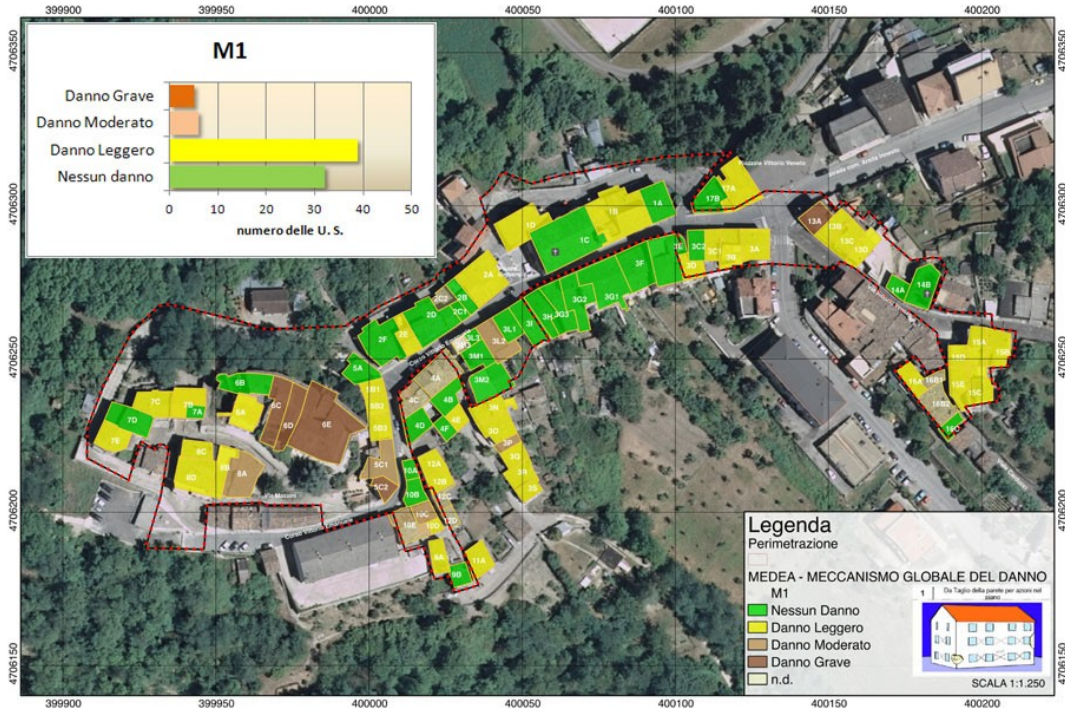


Fig. 5.33 Distribuzione del meccanismo M1 nell'edificio di Arsita (Mappa: ENEA C. R. Bologna)

Si osserva che la porzione di edifici soggetta al meccanismo M1 è pari al 61% del totale, tale valore si divide, in base alla gravità del danno rilevato, nelle seguenti percentuali: circa il 48% delle unità è stato lesionato da un danno leggero, per il 7% del totale si è manifestato un danno moderato e il restante 6% è stato colpito da danno grave.

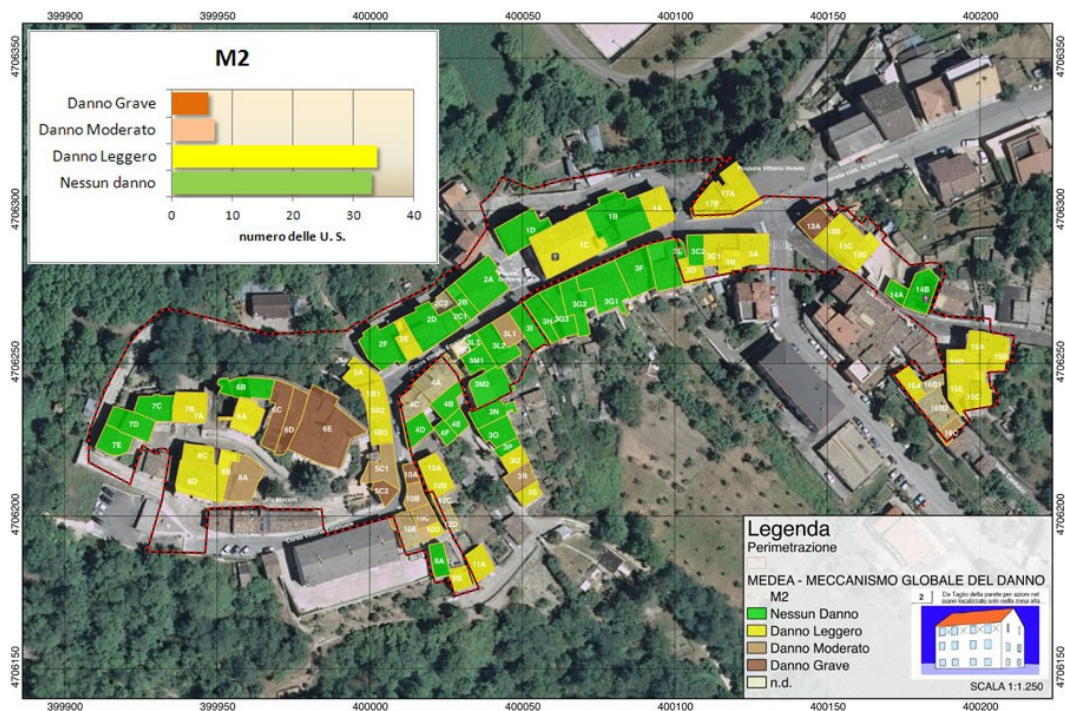


Fig. 5.34 Distribuzione del meccanismo M2 nell'edificio di Arsita (Mappa: ENEA C. R. Bologna)



L'analisi del meccanismo M2, in Figura 5.34, ha invece riportato i seguenti risultati: il 42,50% delle unità strutturali è stato colpito da un danno leggero, per l'8,75% di queste il danno riscontrato è stato moderato e per il 7,50% del totale è stato verificato un danno grave. La restante percentuale di edifici non ha subito danni.

In Figura 5.35 è rappresentata la distribuzione del danno relativa al meccanismo M3. In questo caso, coerentemente con gli esiti delle analisi condotte con la Scheda FaMIVE, sembra che i meccanismi da ribaltamento dell'intera parete siano limitati a pochi casi. Fra questi si individua la Rocca medioevale di Arsita che allo stato attuale è infatti puntellata in diverse parti. In termini percentuali il danno leggero interessa il 15% del totale, quello moderato riguarda il 9% degli edifici e quello grave è pari ancora al 9%.

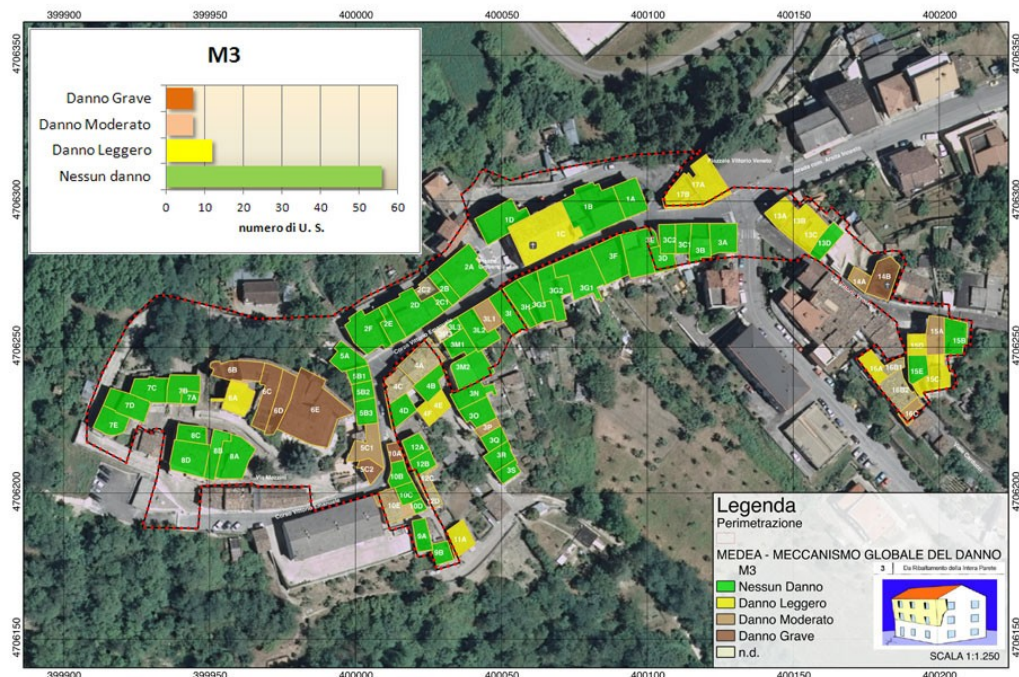


Fig. 5.35 Distribuzione del meccanismo M3 nell'edificato di Arsita (Mappa: ENEA C. R. Bologna)

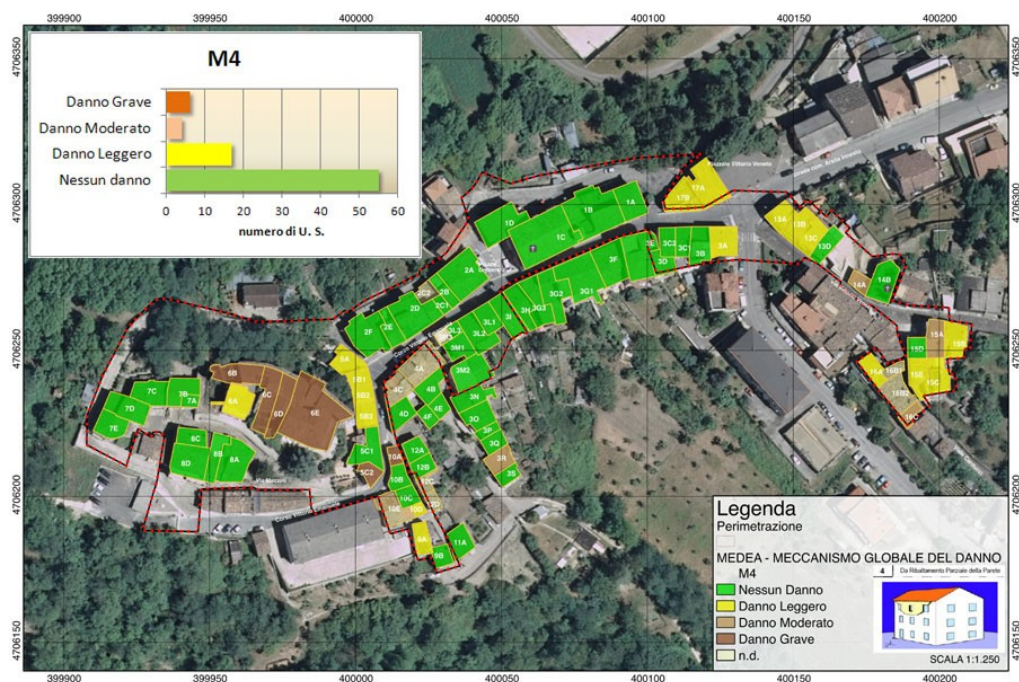


Fig. 5.36 Distribuzione del meccanismo M3 nell'edificato di Arsita (Mappa: ENEA C. R. Bologna)



Analogamente, i meccanismi da ribaltamento parziale della parete, M4, sono stati individuati solo in pochi casi. Infatti, le percentuali dimostrano che per il 21% delle unità strutturali si è manifestato un danno leggero, circa il 5% del totale è stato colpito da danno moderato e poco più del 7% degli edifici ha subito un danno grave, mentre la maggior parte dell'edificato, il 67%, non ha subito danni derivanti dal meccanismo M4.

### 5.2.6 Qualità Muraria

L'analisi delle murature di Arsita è stata condotta attraverso la Scheda di 1° livello per il rilievo della tipologia e della qualità della muratura. Sebbene non sia stato possibile rilevare le caratteristiche murarie di tutte le unità strutturali oggetto del P.d.R., quelle esaminate, in totale 44 unità, sono state classificate in quattro categorie, in relazione alle definizioni delle NTC 2008. Con l'ausilio del GIS, nella mappa di Figura 5.37 è stata rappresentata la distribuzione delle murature rilevate nel centro storico di Arsita.

Le murature più frequentemente riscontrate sono quelle realizzate in pietra a spacco di buona tessitura, che rappresentano il 59% del totale, il 34% degli edifici è stato realizzato a conci sbozzati, circa il 5% è costituito da murature in pietrame disordinato, solo il 2% del totale è rappresentato dalla categoria delle murature in blocchi lapidei squadrati.

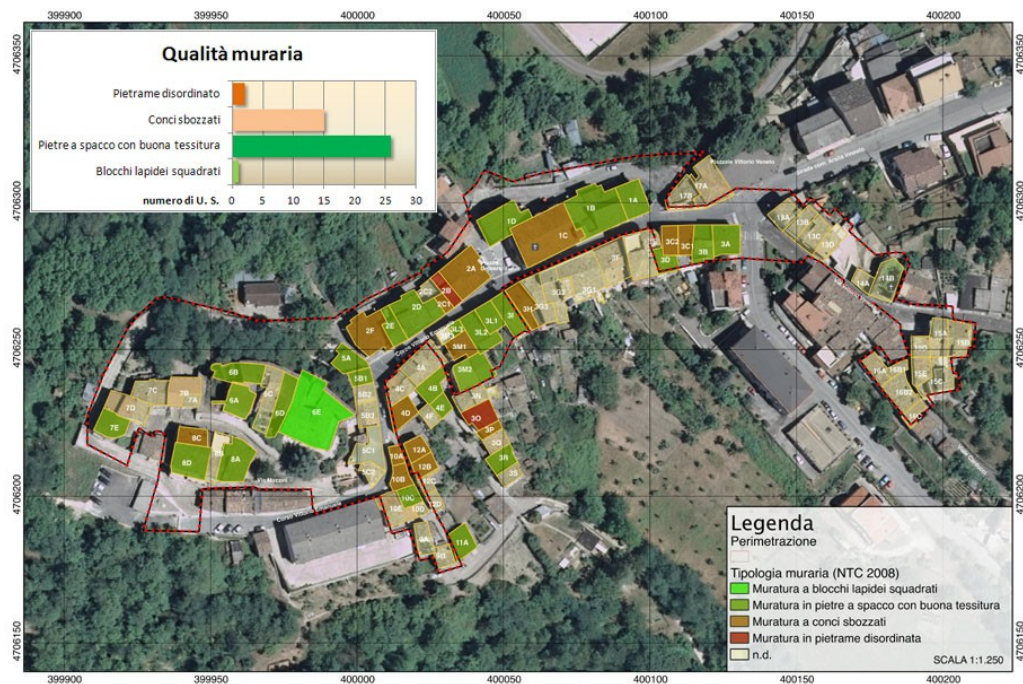


Fig. 5.37 Distribuzione delle tipologie murarie, secondo le NTC 2008 (Mappa: ENEA C. R. Bologna)

Gli Indici di Qualità Muraria ottenuti sono invece sintetizzati nella mappa di Figura 5.38. Per facilitare la lettura dei risultati, i valori stimati sono stati raggruppati nei seguenti intervalli:  $0 < IQM \leq 3$ ,  $3 < IQM \leq 6$ ,  $6 < IQM \leq 9$ ,  $IQM > 9$ , cioè dai valori più bassi di qualità muraria a quelli più alti. Con riferimento al numero degli edifici esaminati possiamo dedurre che, ad eccezione di due unità strutturali, pari al circa 5% del totale, per il quale sono stati stimati i valori più bassi di qualità muraria, gli altri edifici esaminati si dividono nelle due fasce intermedie. Il 51% delle unità si colloca infatti nell'intervallo compreso fra 3 e 6, mentre il restante 44% è compreso fra i valori 6 e 9. Non ci sono edifici appartenenti all'ultimo intervallo. Per cui la maggior percentuale di edifici appartiene alla categoria delle murature che hanno una qualità media e una percentuale elevata di edifici appartiene alla categoria che rappresenta le murature con un buon comportamento (§ 3.3.1.8).



Dato che la determinazione degli indici di qualità muraria si basa sull'analisi dei parametri della regola dell'arte, ossia buona qualità della malta, presenza di diatoni, forma degli elementi, dimensione degli elementi, presenza di sfalsamento fra i giunti verticali, presenza di filari orizzontali, buona qualità degli elementi resistenti, rilevati attraverso l'apposita scheda, gli esiti ottenuti per ogni tematismo sono stati rappresentati sempre in forma grafica, grazie al GIS.

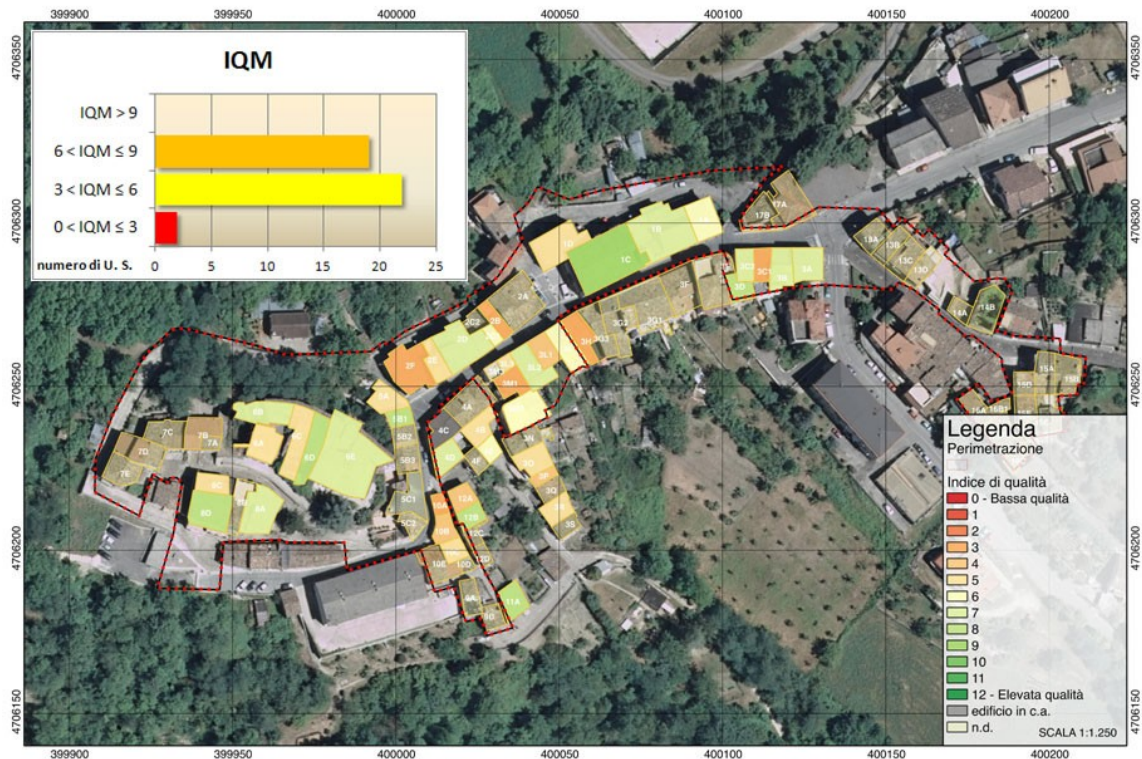


Fig. 5.38 Distribuzione degli Indici di Qualità Muraria (Mappa: ENEA C. R. Bologna)

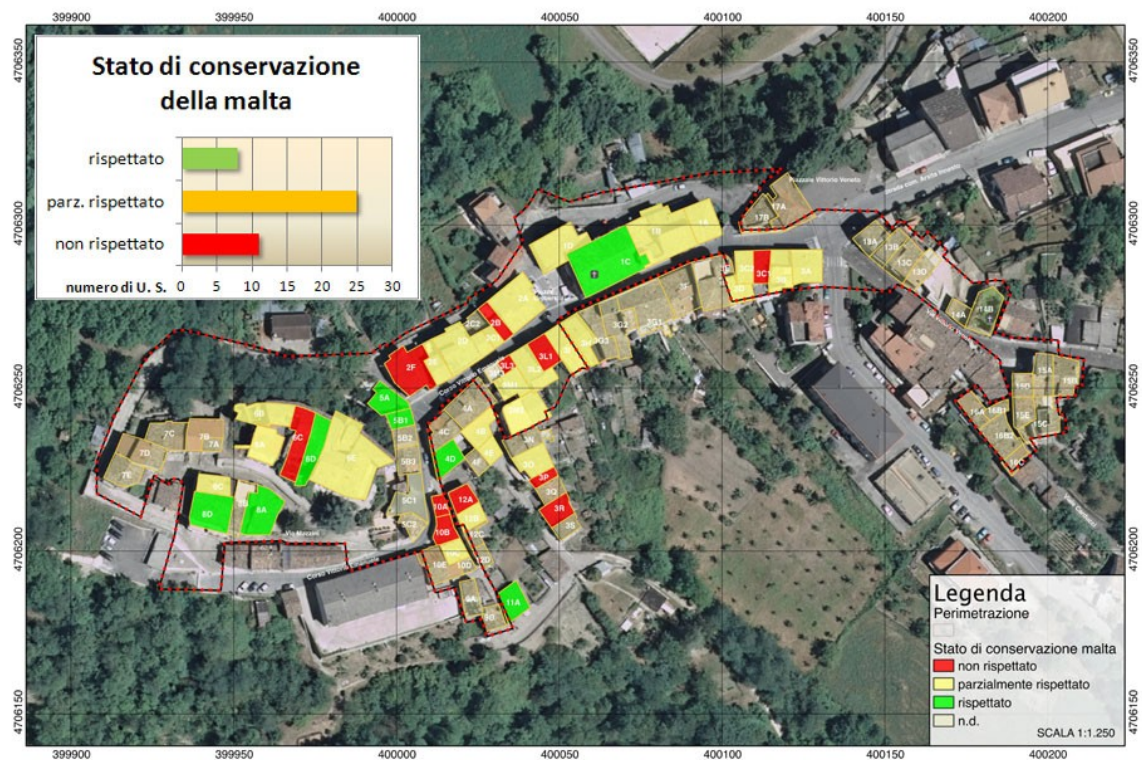


Fig. 5.39 Stato di conservazione della malta (Mappa: ENEA C. R. Bologna)



Lo stato di conservazione della malta nella maggior parte delle unità strutturali, circa il 57% del totale è solo parzialmente rispettato, nel 25% dei casi non è rispettato e solo nel 18% delle unità è rispettato. Invece, la presenza di zeppe è stata riscontrata nella quasi totalità degli edifici rilevati. In particolare, le zeppe in cotto sono pari al 25% del totale, quelle in pietra sono circa il 41%, infine, circa il 32% delle unità, presenta zeppe miste.

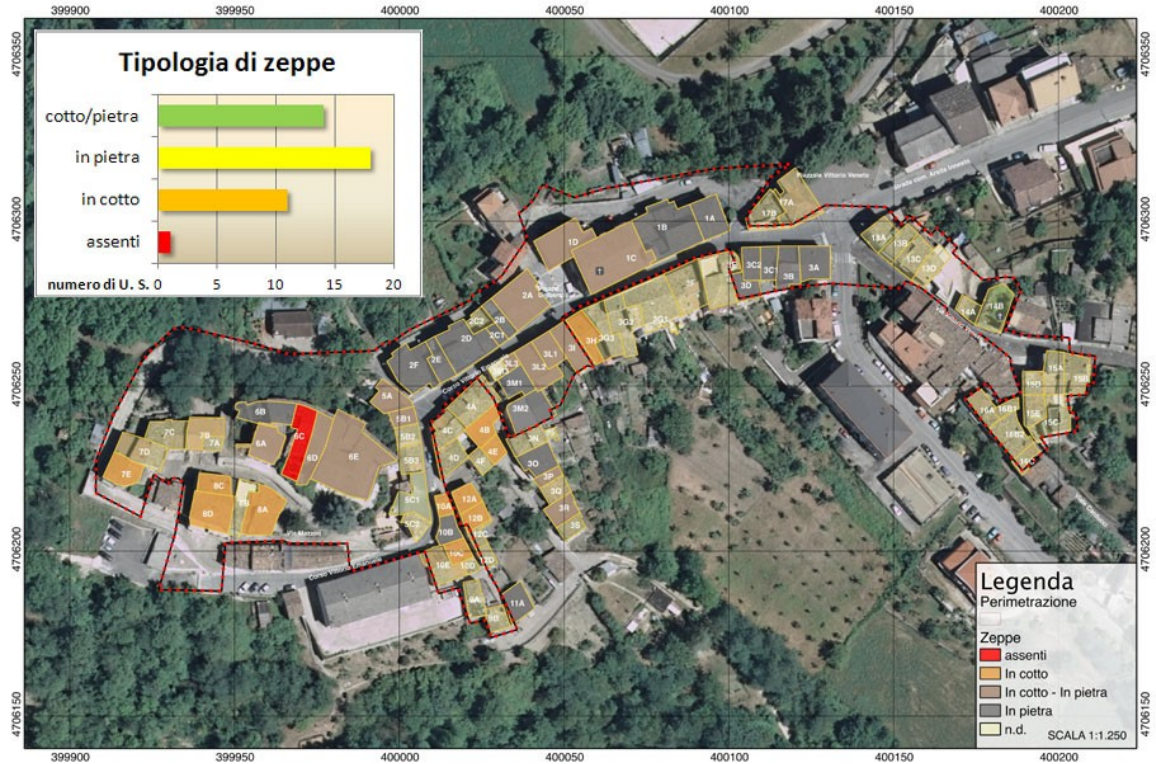


Fig. 5.40 Tipologia di zeppe (Mappa: ENEA C. R. Bologna)

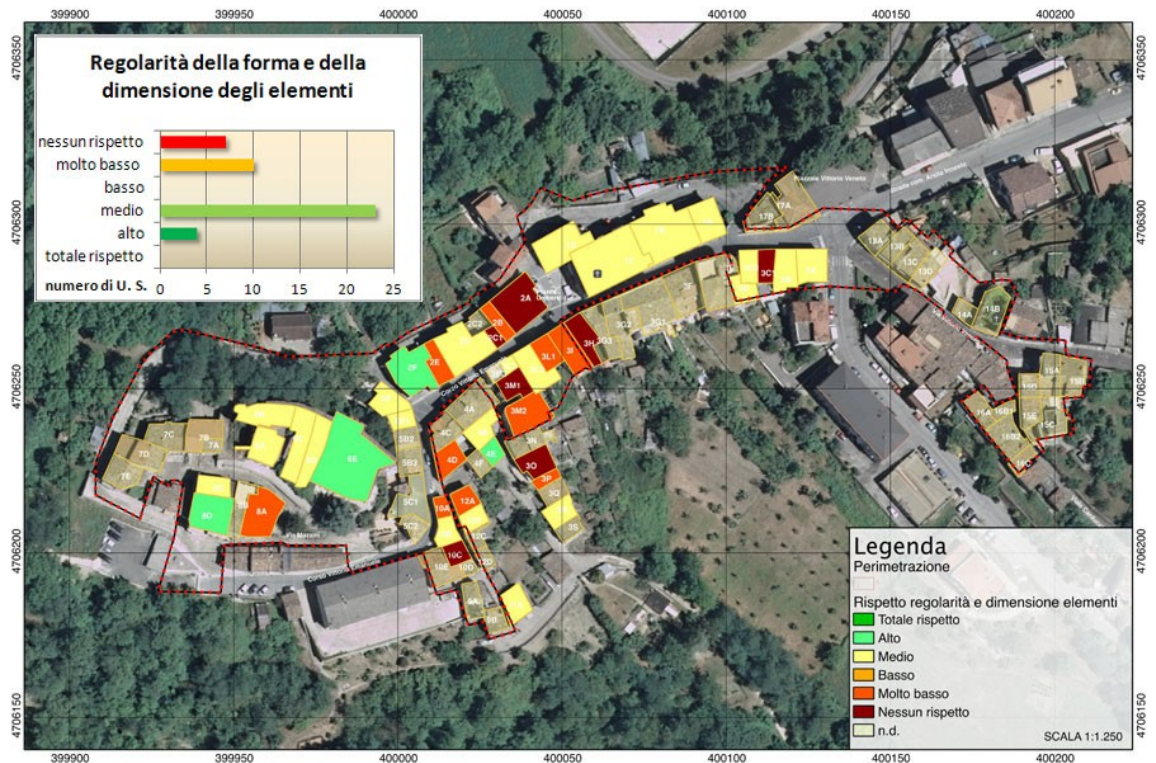


Fig. 5.41 Regolarità della forma e della dimensione degli elementi (Mappa: ENEA C. R. Bologna)



Grazie ai dati raccolti nella scheda di rilievo è stato possibile anche valutare la regolarità della forma e della dimensione degli elementi costruttivi, sintetizzati nell'elaborato di Figura 5.41. Nel 9% dei casi è stata riscontrata un'elevata regolarità, circa il 52% delle unità presenta un livello di regolarità medio, per circa il 23% del totale la regolarità della forma e della dimensione degli elementi è molto bassa, infine, circa il 16% delle unità esaminate dimostra di non rispettare alcun criterio: questo conferma che nell'edificato di Arsita, in pochi casi, la muratura è costituita da elementi difformi per geometria e grandezza, disposti casualmente. A tal proposito rivestono particolare importanza le analisi sullo sfalsamento dei giunti e sull'orizzontalità dei filari. Ad eccezione di un caso, per il quale è stato accertato lo sfalsamento dei giunti verticali, nella quasi totalità delle unità questo indicatore è stato solo parzialmente rispettato. Invece, l'orizzontalità dei filari risulta rispettata circa nel 9% dei casi, è parzialmente rispettata nel 67% del totale ed è non rispettata nel restante 24% delle unità.

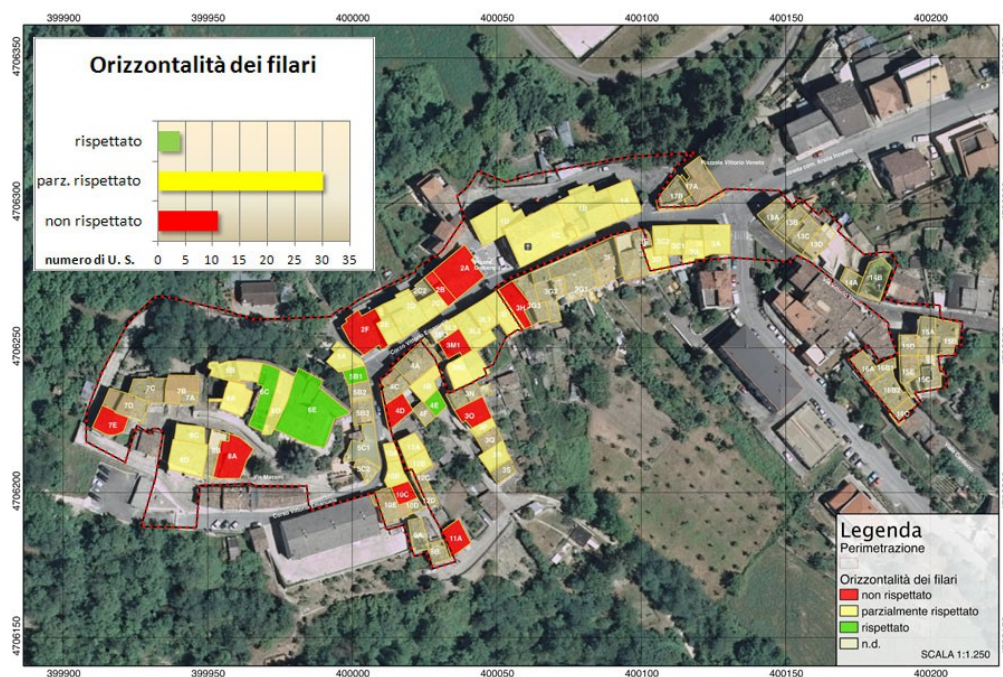


Fig. 5.42 Orizzontalità dei filari (Mappa: ENEA C. R. Bologna)

Gli elementi costruttivi tipici dell'edificato di Arsita sono l'arenaria e i mattoni cotti. Nel 16% dei casi le murature sono costituite da elementi misti appartenenti a entrambe le categorie, la restante percentuale degli edifici è stata invece costruita con la sola arenaria. Lo stato di conservazione degli elementi resistenti nella maggior parte degli edifici di Arsita è buono, solo in tre unità è stato riscontrato uno stato di conservazione mediocre.

## 5.2.7 Le Azioni del Piano

Gli obiettivi definiti dal Piano di Ricostruzione interessano sia il centro urbanizzato, che il relativo contesto territoriale nonché la comunità residente: le azioni promosse dal piano intendono proiettare Arsita verso il nascente concetto di *Smart City*, ossia un centro urbano intelligente, basata sulla funzionalità e sull'efficienza dei servizi, delle infrastrutture e dell'edificato<sup>556</sup>. Il Piano dunque coinvolge tutte le componenti del sistema insediativo ed è guidato dai sei principi fissati dall'Unione Europea per descrivere il concetto di Smart

<sup>556</sup> T. Gambatesa, M. Indirli, 3A\_01\_e, *Aspetti urbanistici*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.

City: un'economia brillante, dei cittadini informati, una governance attiva ed efficiente, una mobilità sostenibile, un ambiente di qualità e dei modi di vivere più intelligenti.

Le azioni previste dal P.d.R. si propongono inoltre di arginare, almeno a livello comunale, le criticità emerse durante l'elaborazione del nuovo Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) di Teramo. Le problematiche individuate non riguardano solo il dissesto idrogeologico, il rischio idraulico e il rischio sismico del territorio provinciale, per tutelare la sicurezza e la salvaguardia del costruito, ma riguardano anche le questioni legate alle dinamiche urbane e sociali, per dirimere il fenomeno dello *spawl*<sup>557</sup> in atto e la perdita di ruolo dei centri storici. Il fenomeno dello *spawl*, che nel gergo urbanistico indica la dispersione frammentaria, al di fuori dei confini storici, del nucleo urbano e il consumo di suolo, coinvolge la maggior parte degli insediamenti collinari della provincia di Teramo.

Nel caso di Arsita, il fenomeno dello *spawl*, testimoniato dalla progressiva diminuzione della popolazione residente nel centro storico, è stato affrontato con opportuni interventi di riqualificazione, mentre, la necessità di valorizzare l'identità dei luoghi ed esaltare le caratteristiche tipiche del comune e del contesto paesaggistico sono state affrontate attraverso specifiche proposte per il rilancio socio - economico del territorio.

Il Piano di Ricostruzione è stato integrato, infine, con i contenuti del Piano Regolatore Esecutivo (PRE) del Comune di Arsita<sup>558</sup>. Su proposta dei tecnici incaricati, è stata estesa la perimetrazione dell'area, oggetto del P.d.R., a quasi tutto il centro storico, interessando, in questo modo, anche edifici pubblici che possono eventualmente assumere una valenza strategica, come il Museo del Lupo, collocato proprio nel centro di Arsita, e interessando anche aggregati già parzialmente inclusi nella perimetrazione originaria oppure esterni a questa, ma comunque parte del centro storico (Fig. 5.43).

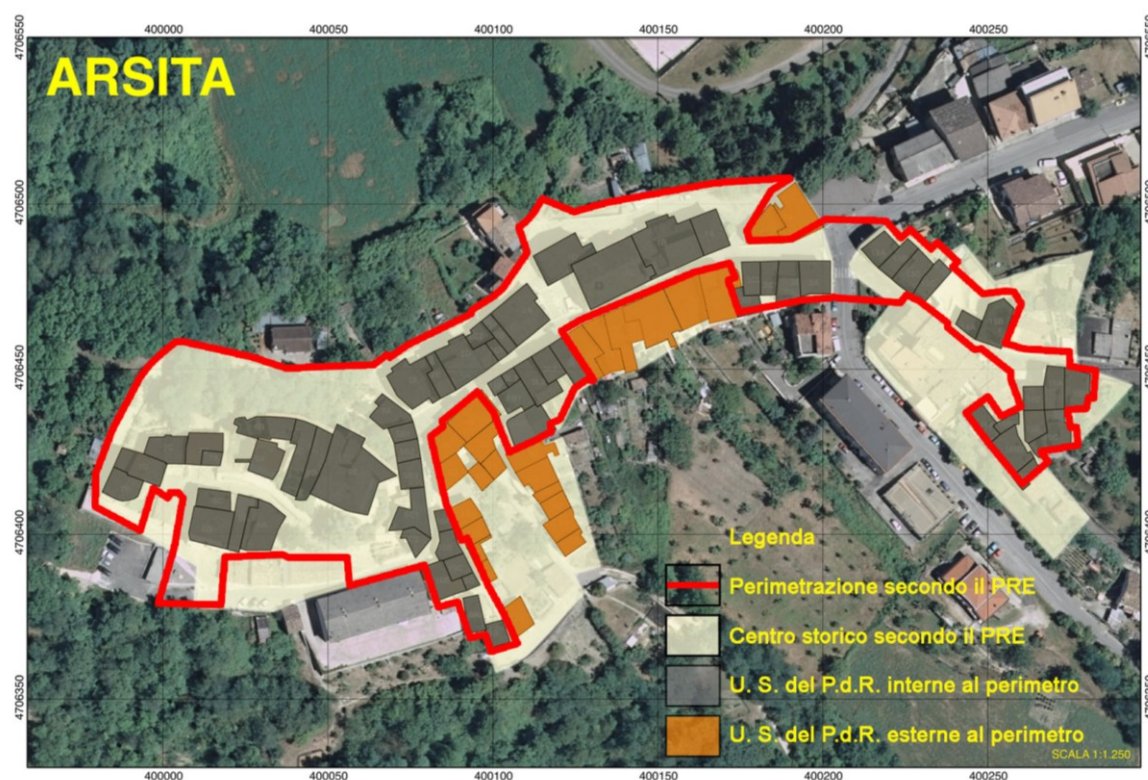


Fig. 5.43 Integrazione del P.d.R. col PRE di Arsita (Ortofoto: ENEA C. R. Bologna)

<sup>557</sup> M. C. Gibelli, E. Salzano (a cura di), *No Sprawl: perché è necessario controllare la dispersione urbana e il consumo dei suoli*, Alinea, Firenze, 2006.

<sup>558</sup> M. Indirli, 3A\_04, *Relazione di integrazione con il Piano Regolatore Esecutivo del Comune di Arsita*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>; M. Indirli, 2B\_03\_a-b, *Eventuali proposte di modifica*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.

La proposta di ampliare la perimetrazione dell'area oggetto del P.d.R. è stata avanzata per affrontare la *ricostruzione* in maniera omogenea, estendendo le soluzioni individuate a tutto il centro storico, il quale, in base al PRE, comprende gli edifici realizzati entro i primi decenni del Novecento, facilmente distinguibili dall'edilizia contemporanea, che, invece, si è sviluppata soprattutto in direzione della Strada Provinciale 34d. La differenza principale fra i due strumenti di pianificazione riguarda le modalità d'intervento previste: mentre il P.d.R. sottopone quasi tutto l'edificato a interventi di restauro/risanamento conservativo, ad eccezione di due soli edifici, per i quali si prevede la sola manutenzione ordinaria e/o straordinaria<sup>559</sup>; il PRE prevedeva interventi di restauro, ordinaria o straordinaria manutenzione, risanamento igienico e ristrutturazione edilizia.

Con queste premesse, all'interno del Piano di Ricostruzione sono state distinte le tipologie d'intervento rivolte al costruito e alla viabilità, le modalità operative per la riqualificazione del centro abitato e gli strumenti destinati al rilancio socio - economico del territorio, di seguito brevemente descritti. L'articolazione del Piano, coerentemente con le disposizioni normative<sup>560</sup>, affronta il tema della *ricostruzione* nella sua globalità, senza tralasciare alcun aspetto della pianificazione, guidato dalle richieste e dalla partecipazione pubblica. La cittadinanza è stata coinvolta attivamente nella definizione degli interventi attraverso l'indagine etnografica<sup>561</sup>, condotta in parallelo alla stesura del piano. L'indagine è stata utilizzata per mediare le esigenze emerse subito dopo il sisma del 2009 con le strategie messe in atto dai tecnici chiamati a intervenire. Il questionario utilizzato, per questo, si basa sulla tecnica etnografica a *osservazione partecipante di tipo qualitativo*. L'obiettivo non era quello di raggiungere il maggior numero di interviste possibili, quanto di instaurare un dialogo con il gruppo di informatori *privilegiati*, utile per conoscere la comunità, la sua storia, le sue abitudini.

#### 5.2.7.1 Tipologie d'Intervento

Gli interventi previsti all'interno del centro storico di Arsite sono stati distinti in: interventi sul costruito e interventi sulla viabilità. All'esterno del centro abitato le soluzioni progettuali individuate sono chiamate a implementare la conoscenza del territorio e a valorizzare gli aspetti paesaggistici del comune.

Gli interventi sul costruito sono finalizzati a migliorare i caratteri architettonici degli edifici, la loro efficienza strutturale ed energetica. A tal fine gli interventi sono stati definiti in relazione agli esiti delle indagini condotte, affiancati da rilievi e ricerche storiche. Gli interventi sul costruito<sup>562</sup> sono stati classificate in: interventi di tipo architettonico, di natura antisismica e soluzioni per l'efficientamento energetico degli edifici. Gli interventi di tipo architettonico indicati dal piano sono due: la sola tinteggiatura oppure il rifacimento completo dell'intonaco secondo il piano colore. Invece, gli interventi di riqualificazione energetica comprendono i sistemi di isolamento termico per infissi, pareti e coperture, e il ricorso a pannelli solari come fonte di approvvigionamento energetico alternativa. Infine, la definizione degli interventi strutturali è stata differenziata in base all'esito di agibilità risultante dalle schede AeDES, in relazione alle valutazioni di vulnerabilità, in riferimento ai dati emersi attraverso lo studio della qualità muraria e in considerazione di provvedimenti già messi in atto sul costruito. In questo modo, sono stati individuati sei *gradi* di intervento, distinti per colore nella mappa del P.d.R. in Figura 5.44.

---

<sup>559</sup> DPR 380/2001, art. 3.

<sup>560</sup> *Linee di indirizzo strategico per la riqualificazione del territorio*, di cui all'art. 1 del Decreto del Commissario delegato per la Ricostruzione del 09/03/2010, n. 3.

<sup>561</sup> R. Chiarini, M. Indirli, 3A\_01\_h, *Indagine etnografica*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsite», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.

<sup>562</sup> A. Formisano, M. Indirli, 3A\_02\_e, *Indicazioni progettuali*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsite», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.



Tabella 5.1 - Classificazione degli interventi

## Indicazioni progettuali

VERDE	nessun intervento antisismico;
GIALLO	intervento antisismico (o suo completamento) tramite inserimento di catene/tiranti;
ARANCIO	intervento antisismico (o suo completamento) tramite inserimento di catene/tiranti; necessità di consolidamento murario per la scarsa qualità muraria;
ROSSO	necessità di un intervento antisismico complessivo; inserimento di catene/tiranti; consolidamento strutture verticali, consolidamento o rifacimento orizzontamenti, consolidamento o rifacimento copertura;
VIOLA	necessità di un intervento antisismico complessivo; inserimento di catene/tiranti; consolidamento strutture verticali, consolidamento o rifacimento orizzontamenti, consolidamento o rifacimento copertura;
NERO	molta attenzione alla riduzione della vulnerabilità; intervento di risanamento, recupero e valorizzazione; edificio in stato di rovina.

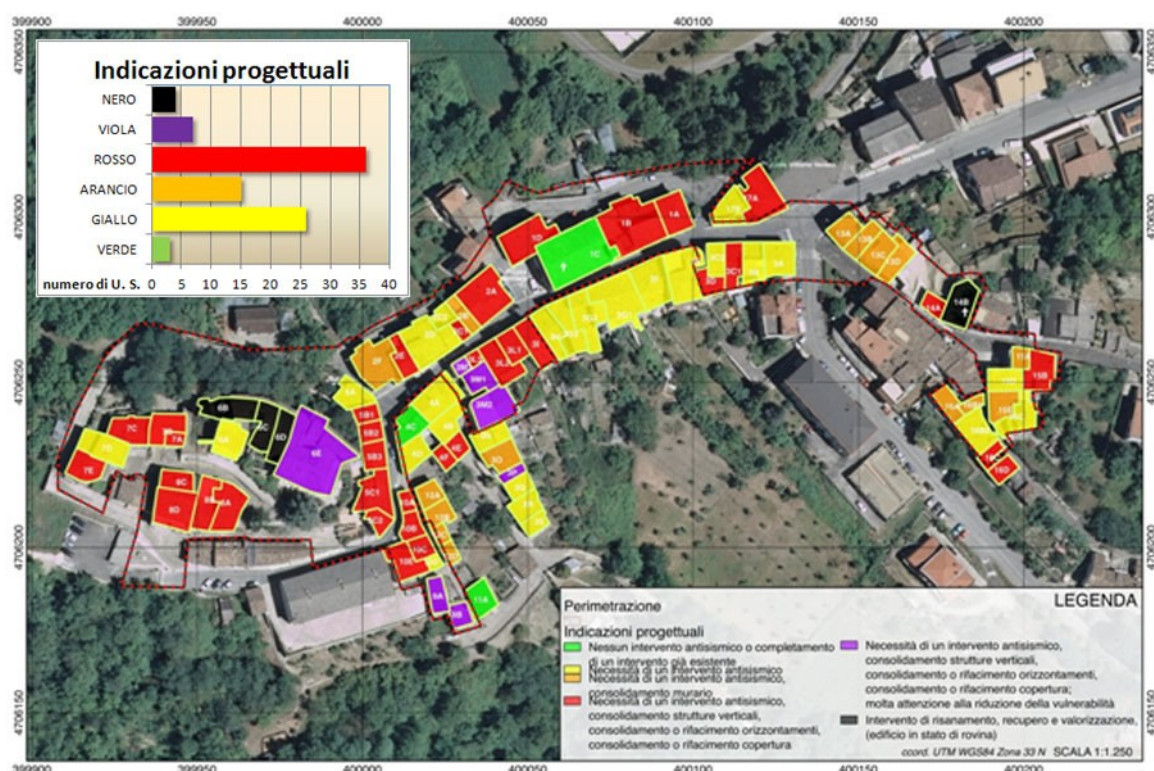


Fig. 5.44 Proposte progettuali del P.d.R. di Arsita (Mappa: ENEA C. R. Bologna)

Elaborando in forma statistica le indicazioni progettuali del P.d.R., definite per ogni unità strutturale degli aggregati di Arsita, si osserva che circa il 40% degli edifici necessita di un intervento antisismico complessivo; circa il 29% dell'edificato richiede un miglioramento dell'efficienza strutturale attraverso l'inserimento di catene/tiranti; poco più del 16% delle unità strutturali necessita di opportuni incatenamenti e di opere di consolidamento volte a migliorare la qualità della muratura; il 12% degli edifici si divide fra le ultime due categorie (viola, nero) e solo poco più del 3% del totale, è rappresentato dagli edifici che non hanno bisogno di interventi di tipo strutturale. Questi dati mettono in luce la scarsa attenzione prestata nel corso degli anni verso il tema della sicurezza e della conservazione del centro storico e implicitamente lasciano ipotizzare, anche in assenza di vere e proprie stime numeriche, che il livello di resilienza del costruito possa essere basso.

Gli interventi sulla viabilità del centro storico di Arsita, brevemente richiamati, sono stati determinati sulla base di una preliminare analisi delle percorrenze urbane esistenti, rappresentata nello schema di Figura 5.45. L'evoluzione dei percorsi, parallelamente a quella del costruito, è avvenuta in due fasi. Nella prima fase, di epoca medioevale, il

territorio presentava un bassissimo livello di organizzazione. Il castello, collocato nella parte più elevata del centro abitato, era l'espressione tipica di una società chiusa e poco relazionata al contesto territoriale. In quel periodo e nei secoli successivi si sono sviluppati i primi insediamenti di crinale lungo la via maestra verso la Strada Provinciale Penne-Roccafina-damo-Bisenti, determinando la formazione di un sistema urbano lineare. La seconda fase di espansione preottocentesca e ottocentesca è caratterizzata da una limitata gerarchia infrastrutturale. Il modello di riferimento era quello della strada corridoio, su cui prospettavano gli aggregati edilizi, cresciuti nel tempo, seguendo la morfologia del territorio. L'espansione del Novecento non ha alterato l'organizzazione delle percorrenze. Dai dati d'archivio si ha notizia di un progetto risalente al periodo 1951-1954, che prevedeva la realizzazione di una circonvallazione a Nord di Arsita, ma l'intervento non fu mai realizzato<sup>563</sup>.

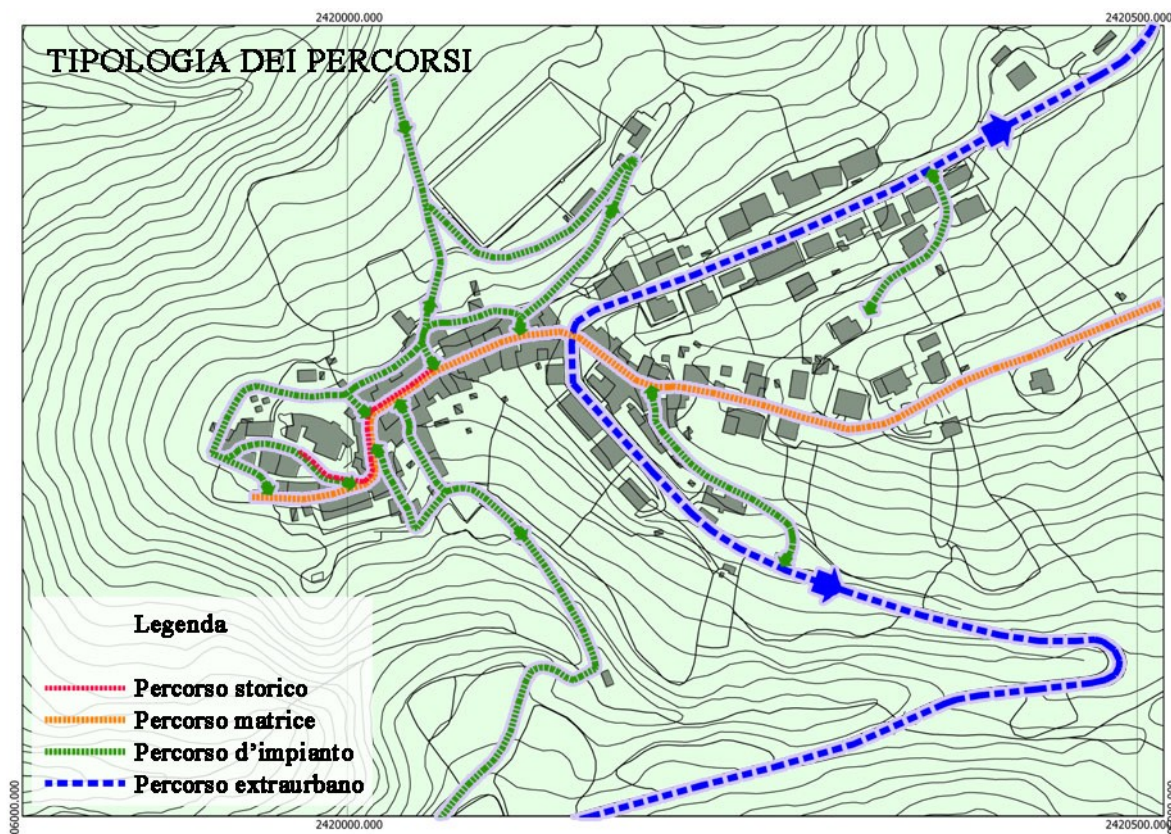


Fig. 5.45 Tipologia dei percorsi (Base cartografica – Carta Tecnica Regionale: ENEA C. R. Bologna)

Sulla base delle considerazioni condotte e dei dati acquisiti con le Schede Urbanistico - Architettoniche degli spazi aperti sono state proposte alcune soluzioni per migliorare l'utilizzo delle percorrenze esistenti e riorganizzare complessivamente la viabilità urbana. Le strategie progettuali indicate dal P.d.R. apportano una significativa trasformazione alla gestione di spazi e strade esistenti, affiancando alla viabilità essenziale del centro storico un sistema di percorrenze innovativo. Il sistema viario di progetto, rappresentato nello schema di Figura 5.46, si avvale, infatti, di nuovi tracciati.

Dalla necessità primaria di creare verso Sud una via di esodo per tutti gli edifici, realizzati lungo Corso Vittorio Emanuele, è nato il progetto del percorso A, che si innesta direttamente sulla Strada Provinciale 34d. L'intervento B nasce, invece, dalla necessità di proseguire il percorso matrice e portarlo a valle verso il percorso C, che rappresenta un itinerario di valorizzazione storico - ambientale. Il nuovo viale, ideato come percorso anulare alternativo alla viabilità del centro storico, prevede un tracciato pedonale, uno ciclabile e un percorso parallelo a questi per l'ippotrekking. Il nuovo asse è un percorso d'avventura, caratterizzato da passaggi sospesi da terra, come passerelle o ponti tibetani,

<sup>563</sup> Atti dell'Archivio Comunale di Arsita, *Progetto per la costruzione della strada di circonvallazione nord*, Arsita, 1951-1954.



in linea con le iniziative già promosse nel Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga, dove esistono già percorsi per il trekking, servizi di bike sharing e itinerari a cavallo. Gli interventi indicati con le lettere D ed E consistono, infine, nell'ampliamento di strade secondarie esistenti: la D si dirige verso il campo sportivo, luogo indicato come punto di raccolta della popolazione in situazioni di pericolo; la E, oltre a ricongiungersi ancora con la Strada Provinciale 34d, raggiunge il sito individuato all'interno del P.d.R. come area di gestione delle macerie.

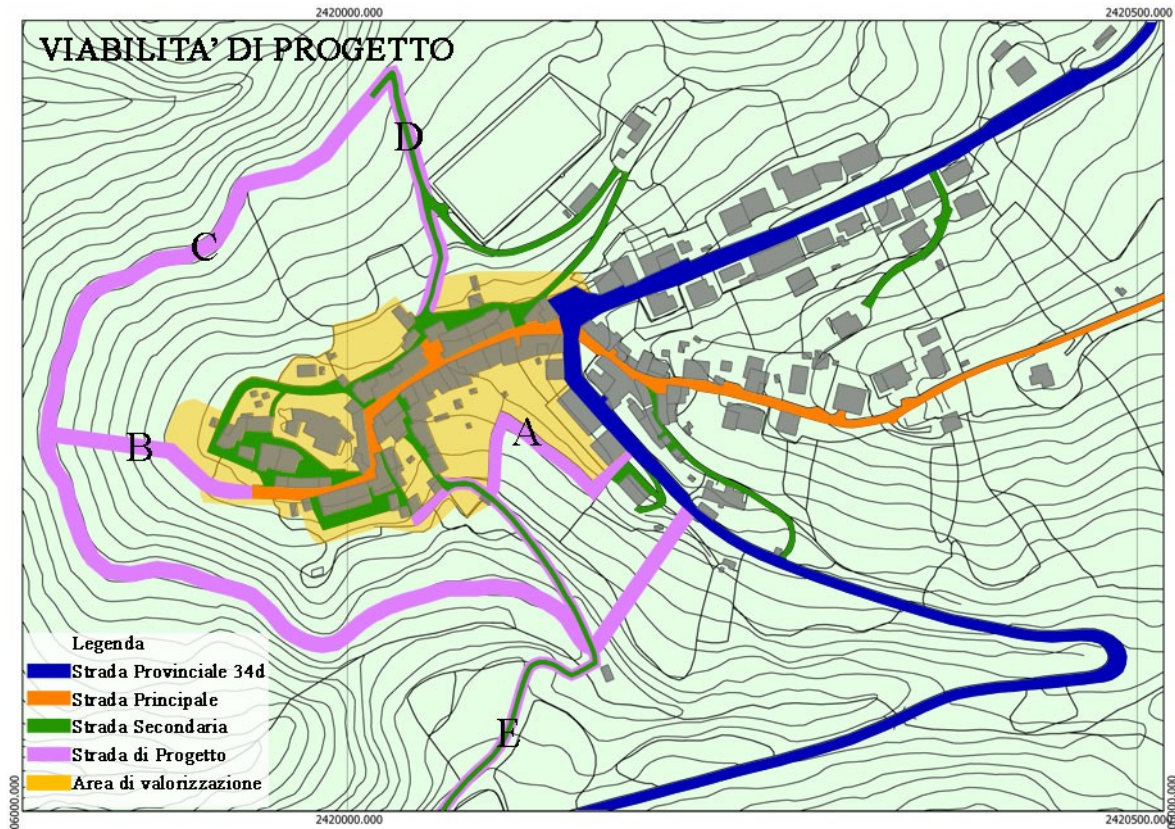


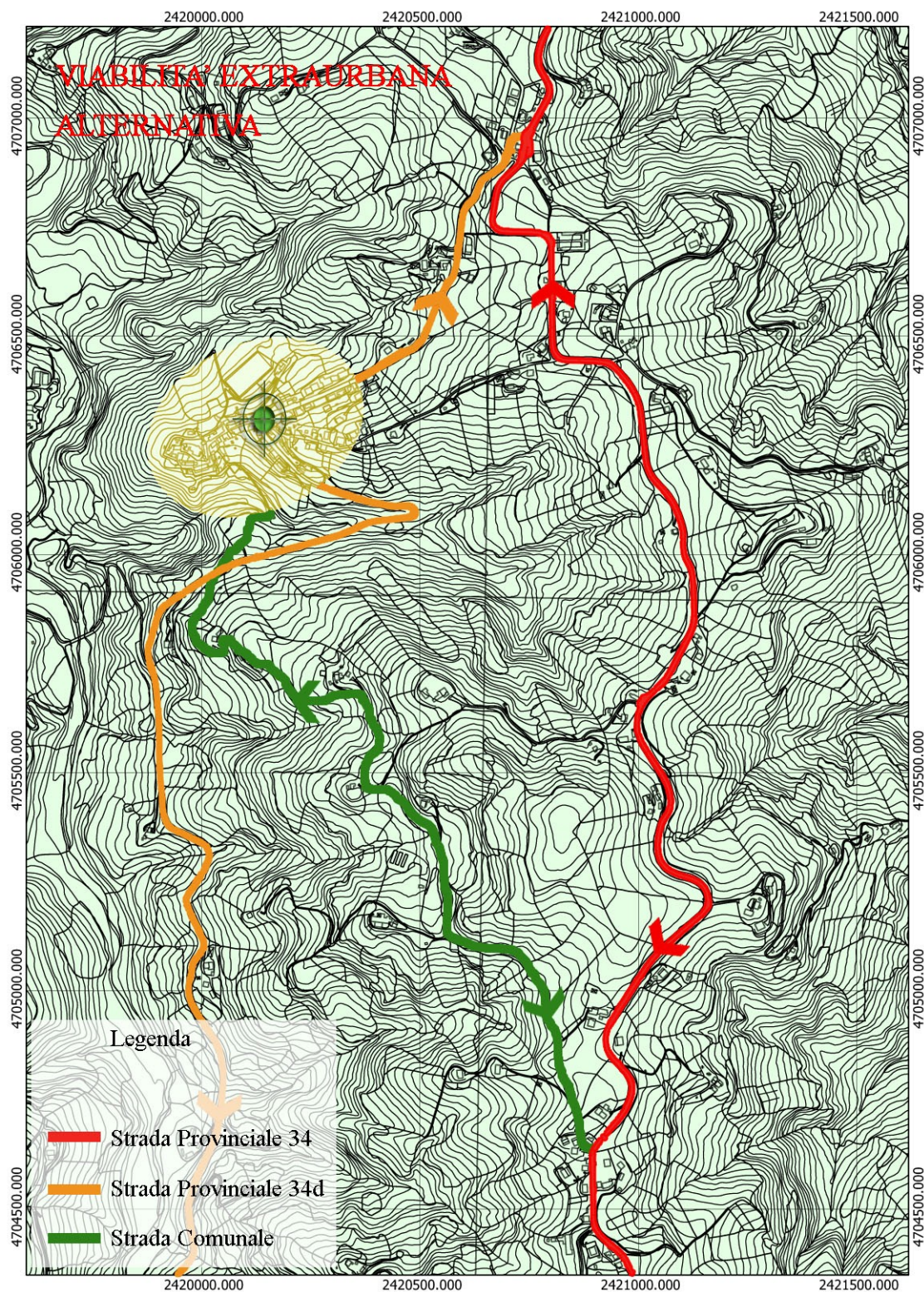
Fig. 5.46 Viabilità di progetto (Base cartografica – Carta Tecnica Regionale: ENEA C. R. Bologna)

L'area di valorizzazione individuata (Fig. 5.46) rappresenta la fascia urbana che il P.d.R. sottopone a interventi di riqualificazione. Il recupero urbano è affidato al recupero delle unità edilizie in disuso, alla riapertura di edifici pubblici esistenti, all'individuazione di locali o interi fabbricati da destinare ad attività commerciali, artigianali e a nuovi servizi pubblici. La loro valorizzazione, all'interno del nucleo urbano, è relazionata a una gestione più sostenibile delle percorrenze. Per questo, in considerazione delle limitate dimensioni delle sezioni stradali e al fine di garantire un buon livello di accessibilità ai percorsi esistenti, soprattutto durante le emergenze, la viabilità del centro storico, interna all'area di valorizzazione, diventa un percorso pedonale (Fig. 5.48), a servizio dell'edificato e delle nuove attività previste.

Per favorire la pedonalizzazione del centro storico è stato evidenziato in rosso (Fig. 5.47) il percorso di attraversamento carrabile, alternativo alla Strada Provinciale 34d e alla Strada Comunale: i due assi, che giungono proprio nel centro di Arsitia, sono utilizzati per la viabilità territoriale, cui è invece destinata la Strada Provinciale 34, trasformando l'agglomerato urbano in un luogo di passaggio. Per riordinare le percorrenze esistenti, il piano sposta il traffico veicolare extraurbano all'esterno dell'abitato, mentre il traffico urbano è limitato al fine di pedonalizzare il centro storico. Per questo, il P.d.R. prevede l'individuazione di idonee aree di sosta veicolare per visitatori e residenti. In favore di questi ultimi, si profila anche la necessità di individuare percorsi carrabili all'interno dell'insediamento.



Le azioni previste dal piano per il miglioramento della viabilità intendono risolvere tutte le criticità del sistema urbano, restituendo unità e funzionalità al centro storico (Fig. 5.47), attualmente frammentato dalla presenza della strada provinciale 34d, che taglia quasi perpendicolarmente il percorso matrice lungo il quale si sviluppa l'insediamento storico (Figura 5.45). In quest'ottica, Piazza Vittorio Emanuele (indicata con un punto verde nella mappa di Figura 5.47) considerata come un nodo d'incrocio fra più tipologie di percorsi, è destinata a diventare uno spazio aperto polivalente, un'area di incontro, un riferimento urbano e non solo uno spazio di passaggio.



**Fig. 5.47 Viabilità extraurbana alternativa**  
 (Base cartografica – Carta Tecnica Regionale: ENEA C. R. Bologna)



### 5.2.7.2 Riqualificazione dell'Abitato

La seconda azione, promossa dal piano, è rappresentata dalla riqualificazione del centro storico, danneggiato fisicamente dal terremoto e dal logorio del tempo, ma anche vittima delle dinamiche sociali in atto, responsabili del progressivo abbandono dell'insediamento, soprattutto da parte delle fasce di popolazione più giovani.

Gli interventi promossi intendono sviluppare le potenzialità caratteristiche del territorio, emerse nella fase conoscitiva, precedente alla stesura del piano, ed evidenziate dalla stessa cittadinanza. In particolare, il programma di riqualificazione prevede:

- la riapertura di attività artigianali e commerciali nei locali e negli edifici disponibili fra quelli non in uso oppure utilizzati come deposito. A tal fine gli esiti delle Schede Urbanistico - Architettoniche rappresentano ancora un punto di riferimento;
- l'introduzione di nuove attività pubbliche;
- il recupero e la riapertura del Museo del Lupo;
- la ricostruzione e la valorizzazione dei resti della chiesa diroccata in Via Vittorio Veneto per la realizzazione di un museo etnologico collegato alla manifestazione locale *Val Fino al Canto*;
- la ricostruzione parziale e la valorizzazione dei ruderi dell'antico castello da destinare ad attività enogastronomiche;
- la cura dell'arredo urbano per la pedonalizzazione del centro storico.

Il programma promosso dal piano è costituito da una rete di microinterventi coordinati, considerati parte di un unico progetto di riqualificazione del centro storico. La logica applicata è quella dei nodi - percorsi (esempio in Figura 5.48): i nodi sono rappresentati da spazi aperti o da edifici riconvertiti a nuove funzioni, i percorsi sono invece gli itinerari, disegnati all'interno dell'area di valorizzazione e all'esterno di questa per rendere accessibili e utilizzabili tutti i nodi, nonché per migliorare la fruizione del nucleo urbano e del territorio.

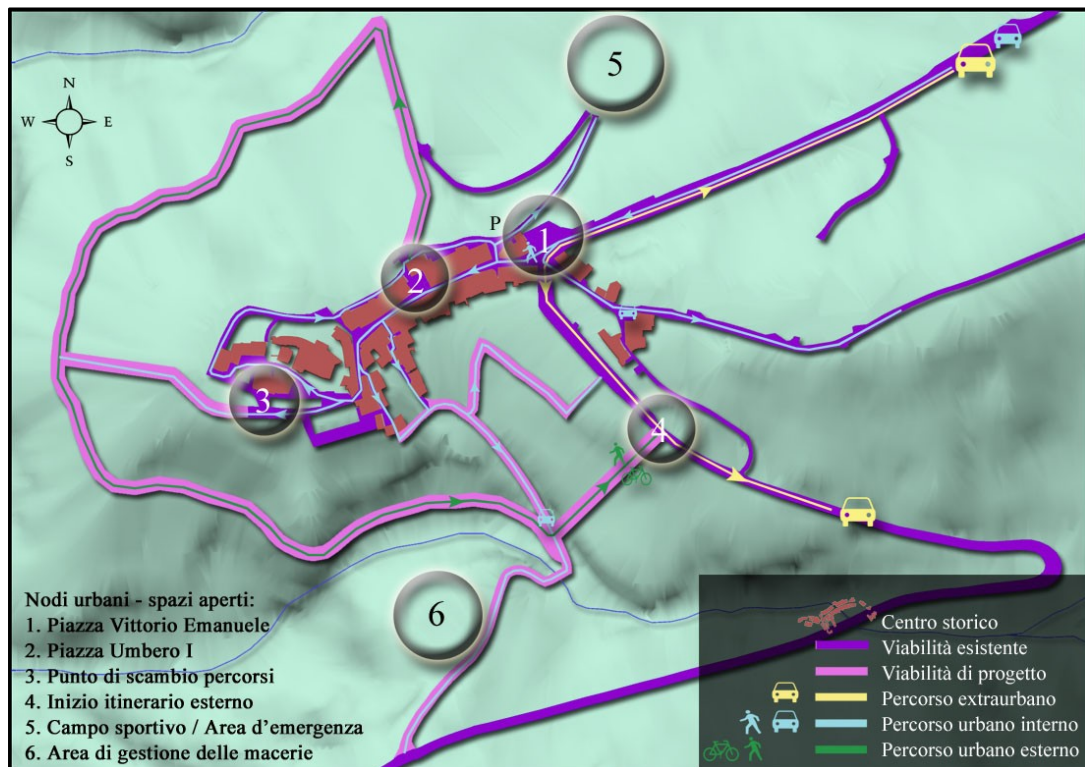


Fig. 5.48 Esempio di schema: spazi aperti - percorsi

### 5.2.7.3 Rilancio Socio - Economico

Nel P.d.R. si indicano, infine, le azioni definite in relazione agli interventi precedentemente individuati, per lo sviluppo socio-economico della comunità. Brevemente, l'immagine di Arsita è stata relazionata ai seguenti aspetti:

- sviluppo del turismo escursionistico, attraverso opere di manutenzione e valorizzazione del sentiero dei mulini esistente e attraverso il miglioramento dei collegamenti fra il Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga e il centro urbano, con la realizzazione di rifugi e servizi di noleggio in apposite stazioni di passaggio;
- realizzazione di una rete di alberghi diffusi, soprattutto all'interno del nucleo urbano, per implementare l'ospitalità del territorio;
- potenziamento e diffusione delle Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione, ICT (Information and Communication Technology), per relazionare il territorio all'esterno dei confini comunali e attrarre nuovi stakeholders;
- definizione di nuovi servizi per i cittadini.

Tali aspetti, decritti all'interno del piano, evidenziano come il processo di pianificazione, messo in atto dopo il terremoto del 2009, coinvolga ambiti molto diversi. Tuttavia, l'unico principio che ha guidato l'articolazione dell'intero piano è stato il fine della conservazione del centro storico: un obiettivo che si coniuga con i temi della sicurezza del costruito, della sostenibilità delle scelte della pianificazione e della resilienza dell'insediamento urbano. Alla luce di questi concetti, è stata approfondita l'analisi delle componenti sistemiche di Arsita per individuare la Struttura urbana minima (Sum) del comune, anche se, a tal riguardo, non ci sono obblighi normativi della regione Abruzzo.

### 5.2.7.4 Sum: Considerazioni sull'Insediamento di Arsita

La Legge della Regione Umbria 22 febbraio 2005, n. 11, nonostante le modifiche e le integrazioni apportate dalle leggi regionali successive<sup>564</sup>, può essere considerata un importante riferimento per i concetti innovativi introdotti, in materia di pianificazione e prevenzione. I due temi sono legati e affrontati in maniera integrata, infatti, la legge affida alla parte strutturale del PRG il compito di individuare:

*gli elementi insediativi, funzionali e infrastrutturali esistenti e di progetto che nel loro insieme costituiscono la struttura urbana minima di cui è necessario garantire l'efficienza in caso di eventi sismici allo scopo di ridurre la vulnerabilità sismica urbana; ...*<sup>565</sup>

La definizione della Struttura urbana minima (Sum), richiamata anche nella parte operativa del PRG, è diventata oggetto di attenzione per amministrazioni comunali e università<sup>566</sup>, interessate a promuovere azioni e interventi utili a ridurre la vulnerabilità sismica e a implementare la sicurezza urbana, in particolare, quella dei centri storici. Nel 2010 sono state emanate da parte della Giunta regionale Umbria le prime *Linee Guida*<sup>567</sup>

<sup>564</sup> Legge regionale 22 febbraio 2005, n.11, *Norme in materia di governo del territorio:pianificazione urbanistica comunale*. Modifiche e integrazioni apportate dalle seguenti leggi regionali: L. R. 10 febbraio 2006, n. 4; L. R. 26 marzo 2008, n. 5; L. R. 10 luglio 2008, n. 12; L. R. 26 giugno 2009, n. 13; L. R. 16 febbraio 2010, n. 12.

<sup>565</sup> Art. 3, comma 3, lettera d).

<sup>566</sup> Il Gruppo di Ricerca del Dipartimento di pianificazione territoriale e urbanistica dell'Università La Sapienza di Roma, che ha collaborato alla stesura delle *Linee guida*, è composto da: M. S. Benigni, G. Di Salvo, F. Fazio, F. Fiorito, M. Giuffrè, M. Olivieri, R. Parotto, P. Pellegrino, B. Pizzo.

<sup>567</sup> *Linee guida per la definizione della struttura urbana minima (Sum) nel PRG, ai fini della riduzione della vulnerabilità sismica urbana (art. 3, comma 3, let. d) della l.r. 11/2005*, emanate con DGR Umbria n. 164 del 08/02/2010.



che spiegano le modalità per definire gli elementi della Sum. All'interno delle *Definizioni generali* delle *Linee guida* la vulnerabilità edilizia è declinata in tre concetti: vulnerabilità diretta, indotta e differita. La prima si riferisce alla danneggiabilità di un elemento in relazione alle sue specifiche caratteristiche strutturali; la seconda riguarda la danneggiabilità di un elemento in relazione al contesto edilizio in cui è inserito; infine, la terza forma di vulnerabilità riguarda gli effetti che possono potenzialmente manifestarsi nel tempo dopo l'evento sismico. Da tali definizioni si prefigura la necessità di estendere gli studi sulla vulnerabilità edilizia alla scala urbana, come evidenziato già da A. Giuffrè<sup>568</sup>.

Nelle *Definizioni specifiche* delle *Linee guida* è proprio fornita la definizione di vulnerabilità urbana o vulnerabilità dei sistemi urbani:

*suscettività al danneggiamento fisico e alla perdita di organizzazione e di funzionalità sotto sisma di un insediamento urbano nel suo complesso. Dipende dalla struttura e dalle caratteristiche dei diversi sistemi urbani componenti (percorsi, infrastrutture, funzioni, costruito) e delle parti di città alle diverse scale (tessuti o ambiti, nuclei, isolati), dalle loro relazioni reciproche, dall'entità e dall'interazione tra diversi fattori di rischio (vulnerabilità edilizia, pericolosità sismica locale, esposizione urbana). La vulnerabilità urbana, quindi, in quanto perdita di organizzazione, non può essere valutata considerando solo la sommatoria delle vulnerabilità edilizie*<sup>569</sup>.

Invece, la Struttura urbana minima (Sum) è definita come:

*sistema di percorsi, spazi, funzioni urbane ed edifici strategici per la risposta urbana al sisma in fase di emergenza, e per il mantenimento e la ripresa delle attività urbane ordinarie, economico-sociali e di relazione in fase successiva all'evento sismico. La Sum costituisce il sistema essenziale per la tenuta al sisma dell'organismo urbano, anche in seguito alla possibile concatenazione di eventi collaterali causati dal sisma (incendi, frane, dissesti e fenomeni idrogeologici ecc.)*<sup>570</sup>.

Il concetto è stato ulteriormente chiarito, all'interno delle stesse *Linee guida*, evidenziando la necessità di individuare quegli elementi *minimi indispensabili* che permettono al sistema di continuare a funzionare anche nelle situazioni di emergenze, anche dopo l'evento sismico. In sostanza, per definire la Sum di qualsiasi nucleo urbano occorre condurre un'analisi estesa a tutte le componenti del sistema, delineare il ruolo e il livello di vulnerabilità di ogni componente e individuare quegli elementi essenziali, di primaria importanza, grazie ai quali è garantita la sopravvivenza dell'organismo urbano. La definizione della Sum ha anche finalità strategiche, infatti, una volta individuata, è possibile definire misure d'intervento specifiche per risolvere le criticità del sistema, assicurandone il buon funzionamento, soprattutto nelle situazioni di emergenza. Le misure d'intervento scelte sono chiamate a garantire la ripresa della città dopo un eventuale evento sismico, estendendo il concetto di prevenzione sismica alla dimensione urbana, per questo, tali interventi assumono valenza prioritaria nella pianificazione.

Un passaggio significativo delle *Linee guida* è quello che evidenzia la relazione esistente fra la definizione della Struttura urbana minima e la vulnerabilità urbana:

- la Sum si individua rispondendo alla domanda "cosa deve resistere comunque" in caso di sisma

- la vulnerabilità urbana può essere valutata cercando di rispondere alla domanda "quali parti di città si danneggiano più di altre".

<sup>568</sup> A. Giuffrè, *Restauro e sicurezza dei centri urbani e degli edifici storici in zona sismica: proposte per una regolamentazione degli interventi*, in A. Giuffrè, *Monumenti e terremoti. Aspetti statici del restauro*, Multigrafica Editrice, Roma, 1988, pp. 29-35.

<sup>569</sup> *Linee guida per la definizione della struttura urbana minima (Sum) nel PRG, ai fini della riduzione della vulnerabilità sismica urbana (art. 3, comma 3, let. d) della l.r. 11/2005*, cit., p. 3.

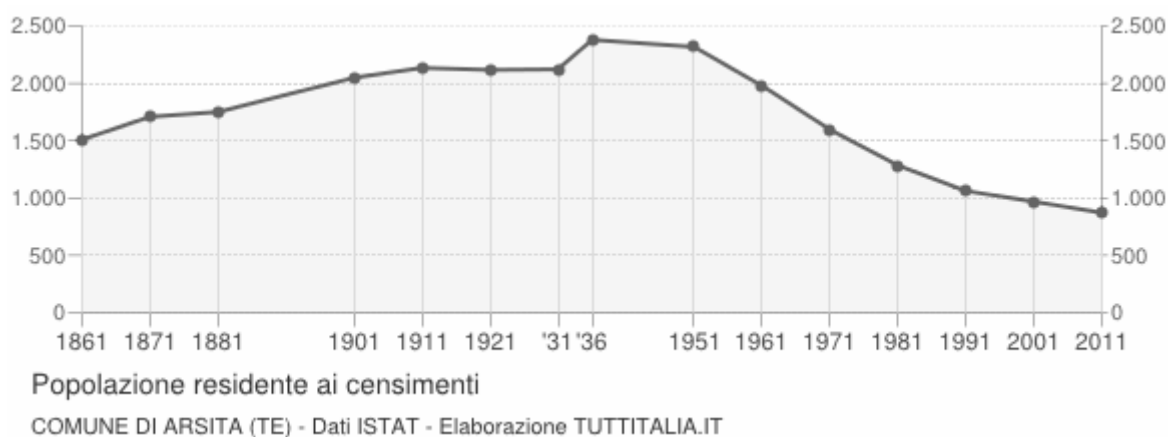
<sup>570</sup> *Ibid.*, p. 3.

Mentre la Sum ha soprattutto una valenza progettuale nella definizione delle azioni prioritarie che interessano gli elementi del sistema, la determinazione della vulnerabilità urbana ha un carattere analitico, essendo uno strumento di valutazione sullo stato delle città e di indirizzo sulle modalità d'intervento da mettere in atto. Nelle *Linee guida* la Sum è considerata allo stesso tempo una categoria conoscitivo - interpretativa e di progetto, per questo la Struttura urbana minima può essere definita solo attraverso un «processo circolare di definizione/verifica/aggiustamento/verifica/ri-definizione»<sup>571</sup>.

Lo studio della vulnerabilità urbana, in base alle definizioni evidenziate, non è rivolto solo al costruito, ma interessa anche le reti stradali, le lifelines, come le reti idriche, elettriche e del gas, la rete fognaria e quella delle telecomunicazioni. Lo studio di vulnerabilità è condotto sull'intero assetto urbano, sia con riferimento alla morfologia del costruito, quindi sviluppo viario e accessibilità, sia con riferimento alle modalità di formazione e di aggregazione delle cellule edilizie, quindi evoluzione e trasformazione delle strutture insediative. La vulnerabilità urbana, inoltre, è valutata in relazione ai servizi pubblici e privati presenti, ad esempio, sanità, scuole, Protezione Civile: in assenza di queste istituzioni, l'aggregato urbano risulta privo di adeguate strutture strategiche, disponibili nelle situazioni d'emergenza. Non meno importante è la valutazione della vulnerabilità delle attività economiche locali, chiamate a garantire il mantenimento e dunque la sussistenza degli insediamenti.

Già il Progetto SAVE (Strumenti Aggiornati per la Vulnerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani)<sup>572</sup>, nato all'interno del Programma Quadro 2000-2002 del GNDT, aveva individuato, fra gli obiettivi del programma, la determinazione di nuove tipologie di valutazione della vulnerabilità per i sistemi urbani, come quelle sopra richiamate. In quell'occasione i «Centri Urbani» erano stati definiti come «una struttura urbana autosufficiente e delimitata su tutto il contorno da spazi non urbanizzati o da elementi separatori (come reti viarie, spazi aperti, mura, ecc)»<sup>573</sup>. Il termine *struttura* era stato impiegato, dunque, per indicare quell'ossatura portante che regge l'organizzazione urbana e che la L. R. Umbria 22/02/2005, n. 11 ha chiamato Struttura urbana minima.

Ipotizzando che in futuro la determinazione della Sum diventi un obiettivo prioritario per garantire la sicurezza e la conservazione del costruito, abbiamo formulato alcune considerazioni sull'insediamento comunale di Arsita, finalizzate all'eventuale definizione della Struttura urbana minima.



**Fig. 5.49** Censimento della popolazione di Arsita nel periodo 1861 - 2011  
 (<<http://www.tuttitalia.it/abruzzo/80-arsita/statistiche/censimenti-popolazione/>>)

<sup>571</sup> *Ibid.*, p. 18.

<sup>572</sup> A. Cherubini, *Inventario e Vulnerabilità dei Sistemi Urbani - Analisi di vulnerabilità e rischio sismico delle Reti e dei Sistemi Urbani*, INGV/GNDT- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia / Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 2006, <[ftp://ftp.ingv.it/pro/gndt/Att\\_scient/Prodotti\\_consegnati/Dolce\\_Zuccaro/prodotti\\_Dolce\\_Zuccaro.htm](http://ftp.ingv.it/pro/gndt/Att_scient/Prodotti_consegnati/Dolce_Zuccaro/prodotti_Dolce_Zuccaro.htm)>.

<sup>573</sup> *Ibid.*, p. 2.

Nel comune di Arsita al 2011 risultava una popolazione di 889 abitanti, con una densità di 26,09 ab/km<sup>2</sup>, come indicato nel P.d.R.<sup>574</sup>. Dal 1951 (Fig. 5.49) si è verificata una continua diminuzione della popolazione residente, proseguita anche nell'ultimo decennio. L'insediamento originario, in relazione ai dati sulla popolazione, sembra non aver subito ampliamenti significativi, per questo è possibile condurre lo studio delle componenti sistemiche con riferimento all'area del centro storico. Coerentemente con le indicazioni delle *Linee guida* citate, nella mappa in Figura 5.50 sono stati schematizzati gli elementi necessari alla definizione della Sum:

- il sistema della mobilità e dell'accessibilità,
- il sistema degli spazi aperti sicuri,
- il sistema degli edifici e delle strutture strategiche,
- il sistema delle reti tecnologiche principali.

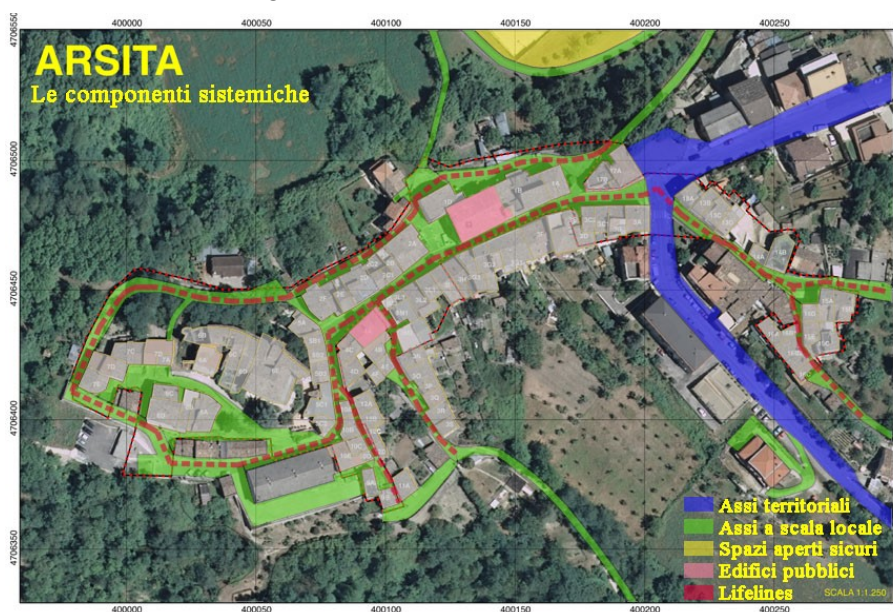


Fig. 5.50 Schema delle componenti sistemiche del centro storico di Arsita

Il sistema della mobilità e dell'accessibilità di Arsita può essere distinto in due tipi di percorrenze: una connessione a scala territoriale, che interseca il nucleo urbano all'ingresso del centro storico, un insieme di connessioni a scala locale, rappresentative della viabilità interna. Lungo gli assi individuati, si collocano anche i principali nodi urbani, costituiti dalle piazze e dagli slarghi stradali, di dimensioni abbastanza limitate. Si osserva che la viabilità esistente è rappresentata da pochi percorsi, tutti essenziali per il centro storico, pertanto, l'accessibilità di questi assi deve essere sempre garantita per rendere raggiungibili gli edifici, pubblici e privati, che costituiscono l'abitato di Arsita.

Gli spazi aperti sicuri comprendono tutte quelle aree che possono essere utilizzate, in situazioni critiche, come luoghi di raccolta della popolazione. Sono considerati tali spazi verdi come parchi e giardini pubblici oppure spazi liberi come campi sportivi e parcheggi, possono essere utilizzati per il medesimo scopo e in assenza di altre alternative anche piazze e strade di dimensioni superiori all'altezza degli edifici prospicienti. Nel caso di Arsita, all'interno del P.d.R., è stato individuato come luogo di possibile ricovero per la popolazione il vicino campo sportivo. La viabilità interna, infatti, in relazioni all'ampiezza delle sezioni stradali non rappresenta la scelta preferenziale.

Con ragionamento analogo sono stati individuati gli edifici che, allo stato attuale, hanno una valenza pubblica. Nel centro storico del comune non sono presenti centri della Protezione Civile, delle Forze dell'ordine oppure centri amministrativi, sanitari, scolastici.

<sup>574</sup> R. Chiarini, M. Indirli, 3A\_01\_h, *Indagine etnografica*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.

Per questo, il Museo del Lupo e la Chiesa Parrocchiale di Santa Vittoria, rappresentano i gli unici due edifici pubblici, disponibili per eventuali funzioni operative in situazioni d'emergenza. Le disposizioni del P.d.R., orientate a implementare della rete dei servizi, diventano particolarmente significative per implementare anche il sistema degli edifici pubblici in grado di assumere funzioni strategiche.

L'ultima componente sistemica presa in considerazione è rappresentata dalle lifelines o reti tecnologiche principali. Il tracciato rappresentato nello schema di Figura 5.50 indica il percorso delle rete idrica, fognaria e del metano. Anche se il sistema esistente può essere potenziato con nuove reti ed esteso, ad esempio, nella direzione del campo sportivo, allo stato attuale la rete tecnologica abbraccia tutto l'insediamento urbano, a servizio degli edifici esistenti. Pertanto, al pari del sistema viario, quello tecnologico deve essere considerato essenziale per la vivibilità dell'ambiente urbano e garantito in ogni situazione.

L'analisi delle componenti sistemiche può interessare anche i beni culturali e le attività produttive: in questi casi devono essere individuate tutte le emergenze archeologiche, storico - architettoniche e urbane nonché tutti i manufatti a uso commerciale, artigianale e turistico. Nel caso di Arsita, benché siano stati più volte evidenziati gli edifici di interesse presenti, è anche emersa la necessità di recuperare il patrimonio edilizio esistente, dato che i manufatti di maggior valore sono attualmente ridotti allo stato di rudere, così come, le attività commerciali, una volta esercitate nel centro storico e testimoniate dalle foto d'epoca, allo stato attuale sono state in buona parte chiuse. Il comune ha perso delle funzionalità e degli usi che il Piano di Ricostruzione, attraverso le sue indicazioni, intende ripristinare e valorizzare. L'attuazione del piano diventa determinante per il recupero di alcune componenti sistemiche che nel corso degli anni sono state perse.

Le considerazioni condotte possono essere assunte quale premessa di più approfondite analisi urbane, queste osservazioni sono tuttavia sufficienti a delineare le prime conclusioni. L'organizzazione del centro storico di Arsita è basata su poche componenti fondamentali che devono essere sempre funzionali e utilizzabili, dato che non sono presenti elementi ridondanti. A tal proposito, le *Linee guida* della Regione Umbra evidenziano che questi ultimi sono fondamentali al pari delle altre componenti e devono essere introdotte nella fase della pianificazione, come, infatti, ha disposto il P.d.R. di Arsita, per assicurare il funzionamento del centro storico in caso di crisi degli elementi sistemici essenziali quali viabilità, edifici e reti tecnologiche. Dalle considerazioni espresse è possibile ipotizzare che tutto il centro storico di Arsita possa essere assunto come la Struttura urbana minima del comune. Dopo il sisma del 2009, mentre il sistema della viabilità e delle lifelines risultavano funzionanti, gli edifici esistenti, come evidenziano gli esiti delle Schede AeDES, non erano tutti agibili, proprio per questo, nel caso di Arsita l'attenzione è stata rivolta soprattutto alla valutazione della vulnerabilità del costruito.

### 5.3 L'APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA VULNUS AD ARSITA (TE)

L'analisi della vulnerabilità del centro storico di Arsita, come evidenziato, è stata affrontata nella fase preliminare alla stesura del Piano di Ricostruzione, con l'applicazione e il confronto delle diverse metodologie, già descritte nel Capitolo 3. In seguito, è stato selezionato un aggregato edilizio, che è stato esaminato con l'ausilio della procedura automatica Vulnus. Le analisi condotte sul caso di studio non servono soltanto a descrivere, in termini percentuali, qual è la propensione al danneggiamento dell'edificato. L'applicazione di Vulnus, infatti, favorisce la conoscenza dei meccanismi attivabili nelle costruzioni in muratura, consente l'individuazione, all'interno degli aggregati urbani, delle unità strutturali critiche, e permette di comprendere lo stato di fatto dell'edificato. L'insieme dei dati ottenuti può guidare la scelta delle strategie da mettere in atto per migliorare la sicurezza del costruito. Quest'obiettivo non si rivolge soltanto alle singole unità edilizie, ma interessa l'intero nucleo urbano, infatti, gli interventi individuati sono chiamati a

garantire, nelle situazioni di emergenza, anche l'esodo della popolazione verso strade e spazi aperti, che, al pari di quelli chiusi, dovrebbero risultare sicuri, consentendo così l'intervento dei soccorritori. La procedura automatica Vulnus è stata applicata, quindi, per supportare e motivare la pianificazione degli interventi, più idonei per l'aggregato in esame, e più indicati a salvaguardare la struttura urbana minima del centro storico.

### 5.3.1 Il Caso di Studio

L'aggregato edilizio, oggetto del presente approfondimento, è stato selezionato fra quelli interni al centro storico di Arsita e inclusi nella perimetrazione del comune. Durante la prima fase di analisi dell'edificato, sono state effettuate misurazioni dirette, eseguite su campo dal team di lavoro, e sono stati rappresentati gli eidotipi di ciascuna unità edilizia dell'aggregato. Successivamente, i dati metrici sono stati impiegati per la compilazione della Scheda di rilievo della procedura Vulnus. Il rilievo metrico è stato affiancato dal quello tecnologico delle costruzioni, pertanto, per ogni unità, sono stati individuati i materiali dominanti, l'orditura dei solai, lo stato dei collegamenti fra le strutture verticali e fra queste e quelle orizzontali, verificando la presenza o meno di adeguati presidi, come i cordoli, valutando, in generale, il rispetto dei parametri propri della regola dell'arte. Sono stati altresì individuati gli interventi eseguiti sui manufatti nel corso degli anni, sia quelli che hanno alterato l'aspetto distributivo e funzionale delle singole unità, sia gli interventi che hanno interessato gli aspetti costruttivi e strutturali dei fabbricati, si pensi ai rifacimenti di solai e coperture con materiali e quindi tecniche diverse da quelle originali. I dati raccolti sono gli stessi riepilogati in modo sistematico nelle schede applicate, a partire da quella urbanistico - architettonica. Inoltre, l'aggregato 2 selezionato, è stato parzialmente rilevato con l'ausilio del laser a scansione<sup>575</sup>, un dispositivo in grado di rilevare in poco tempo la posizione spaziale di un numero considerevole di punti, la cosiddetta nuvola, attraverso la quale è stato possibile restituire la geometria degli edifici. Nella prima fase conoscitiva è stata effettuata una ricostruzione virtuale semplificata dell'intero aggregato, ricorrendo a rappresentazioni bidimensionali e tridimensionali.

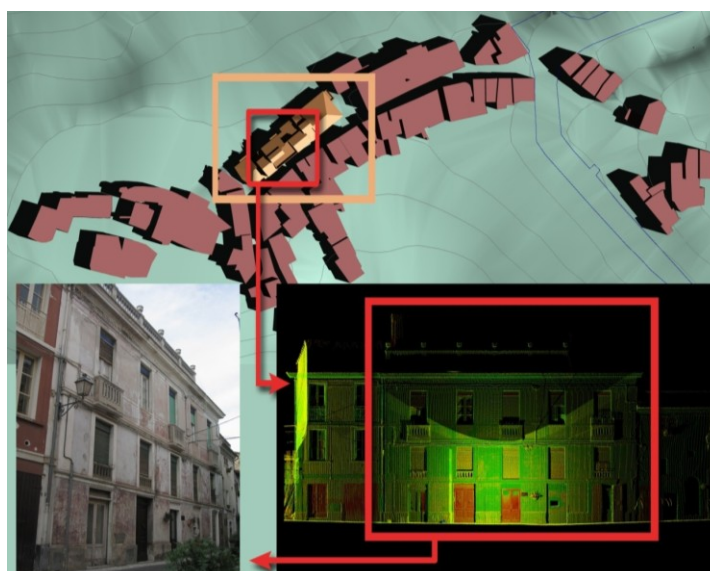


Fig. 5.51 Il rilievo Laser Scanner dell'edificato (Rilievo: ENEA - C. R. Bologna)

<sup>575</sup> E. Candigliota, F. Immordino, L. Moretti, M. Indirli, D. Abate, G. Furini, S. Pierattini, A. Screpanti, M. Angelini, T. Gambatesa, C. Massaia, A. Formisano, G. Florio, R. Fonti, A. Marzo, *Remote Sensing, Laser Scanner survey and GIS integrated method for assessment and preservation of historic centers: the example of Arsita*, Proceedings 15WCEE (15 World Conference on Earthquake Engineering), 24-28 settembre 2012, Lisbon, Portugal, Paper 2233, <[http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012\\_2233.pdf](http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_2233.pdf)>.



L'aggregato 2<sup>576</sup>, localizzato proprio nel cuore storico di Arsita, è costituito da sette unità strutturali, Figg. 5.52 e 5.53. La formazione dell'aggregato probabilmente è avvenuta affiancando alle cellule realizzate per prime, come l'edificio 3 in Figura 5.51, quelle di saturazione, ad esempio l'unità 5, un edificio su due livelli, intercluso fra le unità 3, 4 e 6.

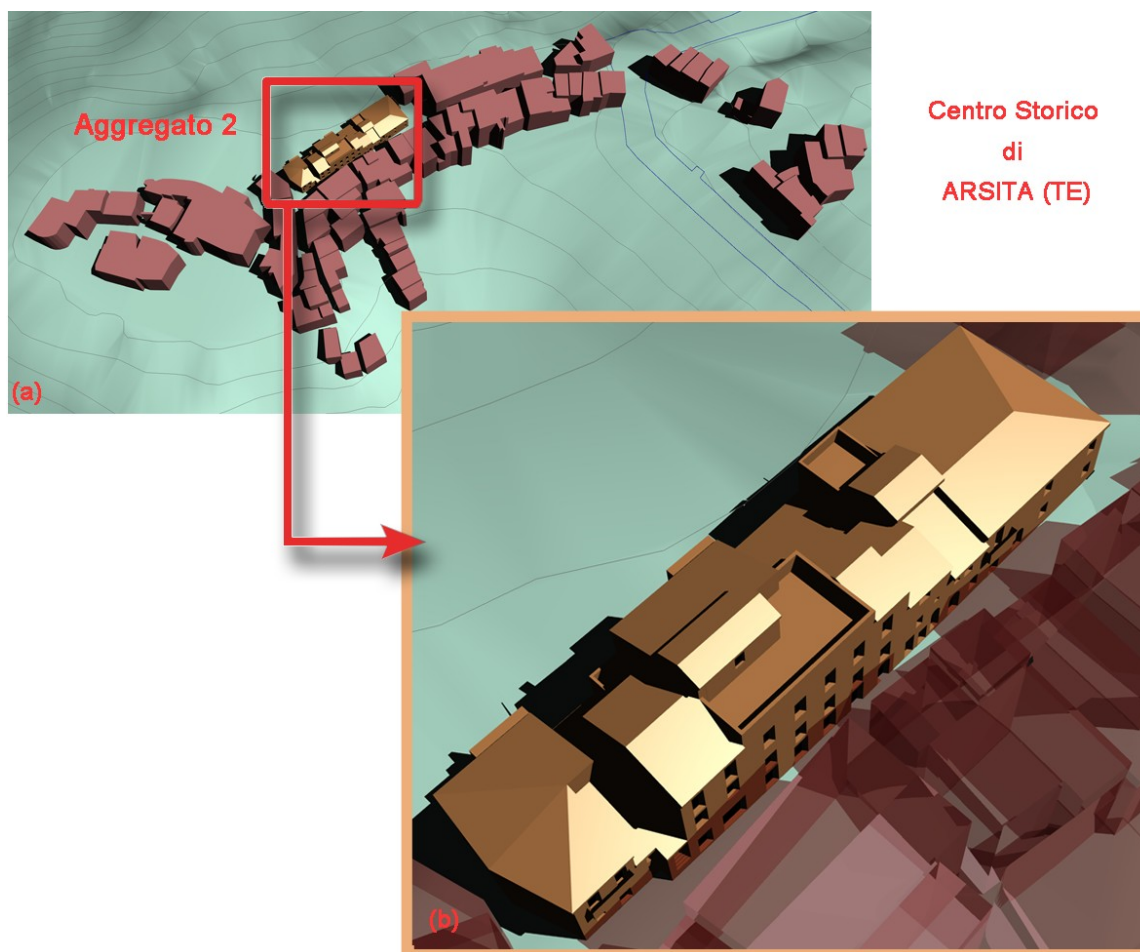


Fig. 5.52 Il caso di studio: (a) ricostruzione volumetrica di Arsita (TE), (b) dettaglio dell'aggregato 2

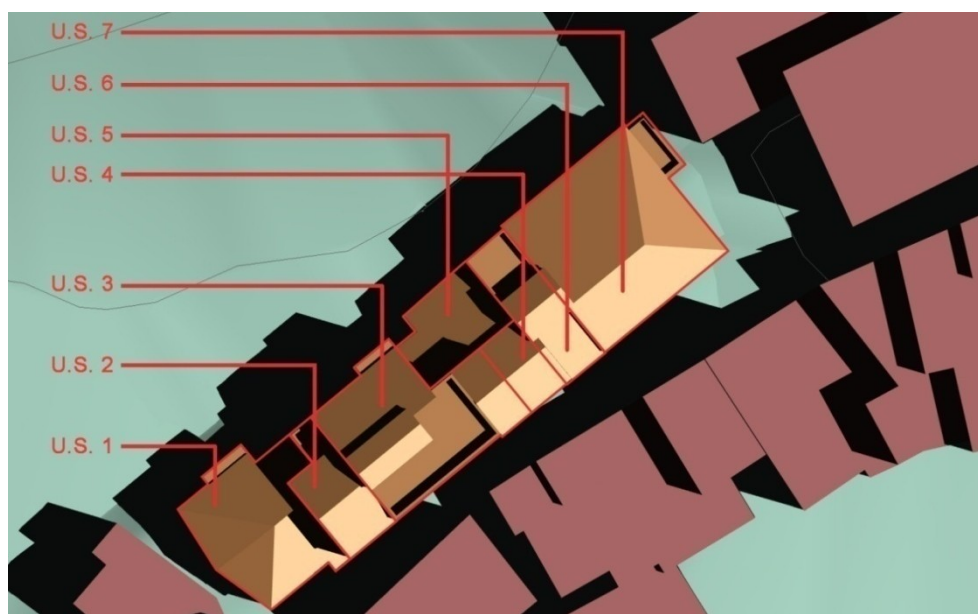


Fig. 5.53 La suddivisione in unità strutturali dell'aggregato 2

<sup>576</sup> M. Indirli, 3B\_01\_f, *Piano, schede e mappa degli interventi strutturali \_ Parte I*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.

Sembra che nel corso degli anni siano stati effettuati alcuni interventi e rifacimenti, la maggior parte di questi sono stati eseguiti dopo gli eventi sismici che hanno interessato il Gran Sasso nella metà del Novecento, il terremoto del 9 maggio 1950 e quello dell'8 agosto 1951. Come mostrano le facciate a Nord-Ovest e Sud-Ovest della prima unità edilizia (Fig. 5.54), gli interventi realizzati sono stati effettuati con materiali diversi da quelli originali, in conglomerato cementizio.



Fig. 5.54 U. S. 1: (a) Facciata su Corso Vittorio Emanuele, (b) Vista della facciata a Sud-Ovest

L'unità 2 (Figg. 5.53 e 5.56) è un edificio che non ha subito molti rimaneggiamenti nel corso del tempo. Probabilmente l'assenza di adeguati provvedimenti ha contribuito a rendere quest'unità la più vulnerabile dell'aggregato, come evidenziano i risultati delle indagini eseguite sia con Vulnus sia con i modelli schedografici descritti, tali esiti sono commentati nel seguito.

Anche l'unità 7 si è dimostrata fra le più vulnerabili, l'edificio presenta alcuni danni, che interessano soprattutto la facciata prospettante su Piazza Umberto I. Si osservano, infatti, lesioni nel piano della facciata, per lo più verticali, localizzate agli angoli delle aperture, come mostrato in Figura 5.55.



Fig. 5.55 U. S. 7: (a) Facciata su Piazza Umberto I, (b) Dettaglio delle lesioni

Sulla base dei rilievi effettuati e delle foto aeree, è stata realizzata una ricostruzione ipotetica dell'aggregato 2, in Figura 5.56 sono rappresentati la sezione stradale di Corso Vittorio Emanuele e il relativo planivolumetrico.



Fig. 5.56 Aggregato 2: planivolumetrico e sezione stradale di Corso Vittorio Emanuele

Le murature dell'aggregato 2, come risulta dalle *Schede di 1° livello per il rilievo della tipologia e della qualità della muratura*, appartengono alle seguenti tipologie:

- muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari) per le unità 5 e 6;
- muratura a conci sbazzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno per gli edifici 1, 4 e 7;
- muratura in pietre a spacco con buona tessitura<sup>577</sup> nei casi delle unità 2 e 3.

Le canne fumarie determinano, in tutte le unità, la presenza localizzata di cavedii all'interno delle murature. Un altro aspetto, comune alle unità dell'aggregato, è l'assenza di ammorsamenti fra le pareti ortogonali, e la mancanza di catene e/o di cordoli.

Le unità strutturali 3 e 7 si distinguono per l'elevata percentuale di forature: mentre la prima presenta lungo il prospetto su Corso Vittorio Emanuele (Fig. 5.51), di circa 15 metri, cinque aperture per ogni piano dell'edificio, l'ultima unità dell'aggregato presenta, sul fronte stradale rivolto verso Piazza Umberto I, di circa 13,5 metri, due ingressi al piano terra e cinque finestre al primo piano (Fig. 5.55).

Gli edifici non sono stati danneggiati uniformemente: un dato che è possibile relazionare alle caratteristiche individuali dei fabbricati, questi si differenziano per organizzazione planimetrica e altimetrica. Ad eccezione dell'unità 7, in cui le scale dividono l'edificio in due parti quasi delle stesse dimensioni, le altre unità dell'aggregato non sono distribuite in maniera perfettamente simmetrica. La dissimmetria è responsabile della mancata coincidenza del baricentro delle masse con quello delle rigidità e dei dissesti per taglio e torsione, accompagnati da lesioni diffuse dei setti murari, distacco degli angoli degli edifici e, nei casi estremi, crolli<sup>578</sup>. Alcuni degli edifici del campione, inoltre, presentano aggetti, di differente rigidità, e balconi di limitate dimensioni.

Anche in elevazione i corpi di fabbrica presentano fra di loro delle difformità, imputabili alle differenze altimetriche esistenti fra Via Circonvallazione e Corso Vittorio Emanuele, i due tracciati paralleli su cui prospettano le unità dell'aggregato. L'edificio presenta un dislivello variabile fra circa 2 metri, misurati agli angoli esterni dell'unità 7 e circa 0,8 metri fra le estremità opposte del primo edificio. Il dislivello ha determinato, in alcuni casi, la presenza di piani sfalsati fra le unità. Gli edifici del campione sono costruzioni mediamente composte da due o tre livelli, di altezze diverse, talvolta con copertura a falde inclinate, altre volte con coperture piane e terrazze calpestabili.

Ulteriori elementi di diversità si riscontrano nell'orditura e nel tipo di solaio: nella maggior parte degli edifici sono state impiegate putrelle e tavelloni, ma, in alcuni casi, i solai del piano terra presentano delle tradizionali voltine, ricorrenti in diverse costruzioni del centro storico; in altri casi sono stati riscontrati solai in laterocemento realizzati più recentemente.

### 5.3.2 I Parametri Sismici Considerati

Dopo la fase *conoscitiva* e la compilazione della Scheda Vulnus, messa appunto dall'Università di Padova e illustrata nel Capitolo 4, è stato altresì necessario definire i parametri sismici da considerare per effettuare le analisi di tipo statistico e le stime sulla vulnerabilità dell'aggregato.

<sup>577</sup> G. Marghella, B. Carpani, S. Bruni, M. Indirli, 2b\_01\_e, *Valutazioni sulle tipologie murarie e del quadro fessurativo \_ Parte seconda \_ Allegati*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>

<sup>578</sup> M. L. Scillone, M. Di Segni, *Tecniche antisismiche per il recupero strutturale di fabbricati in muratura tradizionale*, Edizioni Kappa, Roma, 2000, p. 35



In particolare, sono stati assunti tre termini di confronto: i dati relativi ai terremoti del 1950 e del 1951, cui corrispondono i massimi valori dell'intensità macrosismica registrati nell'area, e l'azione sismica prevista dalle NTC<sup>579</sup>.

Nella Tabella 5.2 - *Sismicità storica di Arsita*<sup>580</sup>, contenuta nel Piano di Ricostruzione di Arsita, riportata di seguito, sono stati raccolti i principali terremoti che hanno storicamente coinvolto il Comune in esame e il territorio del teramano, evidenziando gli eventi sismici significativi, considerati nell'ambito della procedura automatica Vulnus.

**Tabella 5.2 - Sismicità storica di Arsita**

[Lat. 42.502, Long. 13.784]					
$I_s$	Data e Ora	Località	$N_p$	$I_x$	$M_w$
5	1933 09 26 03:33:29	Maiella	326	9	5.68
8	1950 09 05 04:08	Gran Sasso	137	8	5.73
6-7	1951 08 08 19:56	Gran Sasso	94	7	5.45
4-5	1984 05 07 17:49:43	Appennino Abruzzese	912	8	5.93
NF	1990 05 05 07:21:22	Potentino	1374	7-8	5.84
4-5	1997 09 26 09:40:27	Appennino Umbro-Marchigiano	869	9	6.05
NF	1998 08 15 05:18:09	Monti Reatini	233	6	4.49

I valori dell'intensità macrosismica considerati sono stati tradotti nei corrispondenti valori dell'accelerazione orizzontale, impiegando la relazione empirica Guagenti - Petri<sup>581</sup>. All'evento sismico del 1950 dell'ottavo grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS) corrisponde il valore  $a/g$  al sito di 0,105; mentre per il terremoto del 1951, considerando un'intensità di 6,5 gradi,  $a/g$  è pari a 0,042.

Tali terremoti hanno prodotto importanti danni ai muri maestri delle costruzioni, sia nel centro storico di Arsita che nelle contrade, come si evince dai documenti e dagli atti conservati presso l'archivio comunale. In molti casi è stato indispensabile ricostruire intere murature e riparare coperture e camini. Le ricostruzioni sono state eseguite con murature in pietrame, talvolta con ricorsi in mattoni. In alcuni casi sono state apportate delle modifiche strutturali attraverso l'introduzione di cordoli in cemento armato. Infine, in poche circostanze è stato necessario intervenire anche sulle fondazioni degli edifici.

L'azione sismica prevista da normativa può essere determinata noti i valori dei parametri:

- $a_g$ , ossia l'accelerazione orizzontale massima del terreno,
- $F_0$ , indicante il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale,
- $T_c^*$  che descrive il periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I tre parametri ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ ) possono essere calcolati da un reticolo di riferimento a partire da un dato valore del periodo di ritorno  $T_R$ . Come stabilito dalla Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, il periodo di ritorno  $T_R$  può essere determinato attraverso la relazione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

<sup>579</sup> DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, par. 3.2 Azione sismica.

<sup>580</sup> E. Miccadei, C. Vaccaro, M. Indirli, 3A\_01\_a1, *Relazione illustrativa - Aspetti geologici, geomorfologici e idrogeologici*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.

<sup>581</sup>  $\ln a_g = 0,602 \cdot I - 7,073$ .

E. Guagenti, V. Petri, *Il caso delle vecchie costruzioni: verso una nuova legge danni-intensità*. Atti del 4° Convegno Nazionale di Ingegneria Sismica, Milano, 1989, Vol. I, pp. 145-153.



dove il periodo di riferimento  $V_R$ , espresso in anni, è dato dal prodotto fra la vita nominale  $V_N$  e il coefficiente d'uso  $C_U$  che compete alla classe d'uso nella quale ricadono le costruzioni in esame. Nel caso specifico si assume  $V_N = 50$  anni e  $C_U = 1$ . Per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)<sup>582</sup>, il periodo di ritorno  $T_R$ , espresso in funzione di  $V_R$ , è pari a:  $T_R = 9,50 \cdot V_R = 475$  anni, cui corrisponde la probabilità di superamento  $P_{V_R}$  del 10% in 50 anni.

Attraverso l'applicazione rilasciata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici<sup>583</sup> è possibile ottenere la seguente tabella, nella quale sono stati evidenziati i valori dei parametri ricercati, riferiti proprio allo Stato Limite di salvaguardia della Vita.

**Tabella 5.3 - Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno SL**

STATO	$T_R$	$a_g$	$F_o$	$T_C^*$
LIMITE	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	30	0,062	2,451	0,280
SLD	50	0,078	2,436	0,295
SLV	475	0,190	2,516	0,350
SLC	975	0,244	2,550	0,363

Lo spettro di risposta si definisce in relazione alle caratteristiche del suolo e alla localizzazione dell'area di interesse. Il Comune di Arsita, come risulta dalla relazione sulla microzonazione sismica, anche questa parte del Piano di Ricostruzione<sup>584</sup>, è incluso nella zona 2. Grazie alla caratterizzazione sismo-stratigrafica si è ottenuta la stima dei valori della velocità equivalente  $V_{s,30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità. I dati ottenuti hanno consentito l'individuazione della categoria di sottosuolo di riferimento.

Secondo le NTC, la velocità equivalente delle onde di taglio è così determinata:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N_{V_{S,i}}} \frac{h_i}{V_{S,i}}} \text{ [m/s]}$$

in cui  $h_i$  indica lo spessore in metri dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità e  $V_{S,i}$  è la velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato.

Dall'applicazione della citata espressione risulta che ad Arsita  $V_{s,30} = 446$  m/s. Pertanto la categoria di sottosuolo individuata è la "B".

*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $N_{SPT,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina)<sup>585</sup>.*

<sup>582</sup> Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, par. C3.2.1, *Stati limite e relative probabilità di superamento*, Tabella C.3.2.1.- Valori di  $T_R$  espressi in funzione di  $V_R$ .

<sup>583</sup> Spettri-NTC ver 1.03. Il documento Excel fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti dell'azione sismica di progetto per il generico sito del territorio nazionale. In <<http://www.cslp.it/cslp/>>.

<sup>584</sup> M. Indirli, 3A\_02\_a2, *Microzonazione sismica del territorio di Arsita*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.

<sup>585</sup> DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, par. 3.2.2, *Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche*, Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo*.

Per determinare, invece, la categoria topografica di appartenenza sono stati considerati i dati sull'acclività del territorio comunale<sup>586</sup> descritti nel P.d.R. di Arsita. Dalla carta delle acclività, che rappresenta la pendenza media dei versanti, sembra che l'aggregato in esame sia localizzato in un'area appartenente alla classe 0%-15%. Inoltre, il dislivello misurato fra i due tracciati stradali paralleli, lungo cui si colloca l'aggregato 2, è pari a 8°, pertanto, con riferimento alle categorie topografiche classificate dalla normativa, è stata assunta la categoria T1, cui corrispondono «Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ »<sup>587</sup>.

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  della componente orizzontale da utilizzare è lo spettro riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  considerata, ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$ , sostituendo  $\eta$ , definito come il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali  $\xi$  diversi dal 5%, col rapporto  $1/q$ . Il termine  $q$  indica il fattore di struttura, determinato secondo le disposizioni della normativa<sup>588</sup> e assunto pari a 2,25. Dato che il primo periodo di vibrazione delle unità edilizie in esame è compreso fra  $T_B$  e  $T_C$ , è possibile determinare il valore di riferimento  $a/g = 0,255$  g.

I dati di interesse per la definizione dell'azione sismica sono sintetizzati come segue.

Parametri indipendenti	Accelerazione orizzontale massima al sito	$a_g$	0,190 g
	Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale	$F_0$	2,516
	Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale	$T_C^*$	0,350 s
	Categoria di sottosuolo	B	
	Categoria topografica	T1	
	Coefficienti di amplificazione stratigrafica	$S_S$	1,200
	Coefficiente funzione della categoria di sottosuolo	$C_C$	1,357
	Coefficienti di amplificazione topografica	$S_T$	1,000
	Fattore di struttura	$q$	2,25
Parametri dipendenti	Coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche - $S = S_S \cdot S_T$	$S$	1,200
	Periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante - $T_B = T_C / 3$	$T_B$	0,158 s
	Periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a velocità costante - $T_C = C_C \cdot T_C^*$	$T_C$	0,475 s
	Periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante - $T_D = 4,0 \cdot (a_g/g) + 1,6$	$T_D$	2,358 s
	Spettro di progetto della componente orizzontale	$S_d(T)$	0,255 g

Riepilogando, i termini di confronto, utilizzati nella procedura automatica Vulnus, per il caso di studio sono:

<sup>586</sup> E. Miccadei, C. Vaccaro, M. Indirli, 3A\_01\_a1, *Relazione illustrativa - Aspetti geologici, geomorfologici e idrogeologici*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.

<sup>587</sup> DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, par. 3.2.2, *Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche*, Tabella 3.2.IV – *Categorie topografiche*.

<sup>588</sup> DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, par. 7.8.1.3, *Modalità costruttive e fattori di struttura* e Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, cit., par. C8.7.1.2, *Azione sismica*.

- il valore definito da normativa:  $a/g = 0,255$ ;
- il valore assunto per il terremoto del 1950:  $a/g = 0,105$ ;
- il valore assunto per il terremoto del 1951:  $a/g = 0,042$ .

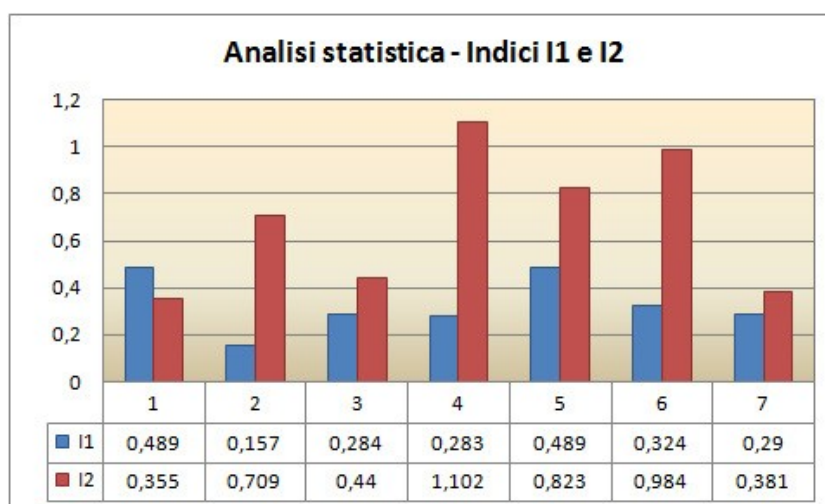
### 5.3.3 L'Analisi Statistica

I primi risultati ottenuti dall'applicazione della procedura automatica Vulnus sono di tipo statistico. Attraverso gli indici  $I_1$  e  $I_2$ , che descrivono la resistenza nel piano e fuori piano delle unità considerate, è possibile eseguire le prime stime e comprendere quali costruzioni sono soggette ai meccanismi del primo modo e quali, invece, sono più vulnerabili ai meccanismi del secondo modo.

Accanto ai valori degli indici, Vulnus fornisce anche la densità specifica equivalente, il volume e il peso degli edifici, così come calcolati dalla procedura, sulla base dei dati inseriti nell'archivio. Nella seguente tabella sono indicati i valori ottenuti per ogni unità strutturale dell'aggregato. Inoltre, nell'istogramma di Figura 5.57 sono stati confrontati gli indici  $I_1$  e  $I_2$ . Si osserva che, ad eccezione dell'unità 1, più vulnerabile ai meccanismi fuori piano, per le altre unità, l'indice  $I_2$  è sempre maggiore di  $I_1$ , pertanto, questi edifici hanno una maggiore vulnerabilità per bassa resistenza a taglio, come confermato dalle lesioni riscontrate in fase di rilievo. Tali dati possono essere subito impiegati nella scelta delle eventuali soluzioni d'intervento.

**Tabella 5.4 - Dati dell'analisi statistica**

U. S.	$I_1$	$I_2$	$I_1/I_2$	Densità specifica Eq. (kg/m <sup>3</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Peso (t)
1	0,489	0,355	1,378	2319	666	869
2	0,157	0,709	0,221	2330	483	632
3	0,284	0,44	0,647	2331	1234	1574
4	0,283	1,102	0,256	2157	155	710
5	0,489	0,823	0,594	2285	274	525
6	0,324	0,984	0,329	2396	417	722
7	0,29	0,381	0,761	2456	1416	1483



**Fig. 5.57 Confronto fra gli Indici  $I_1$  e  $I_2$  del campione di edifici considerati ad Arsità**

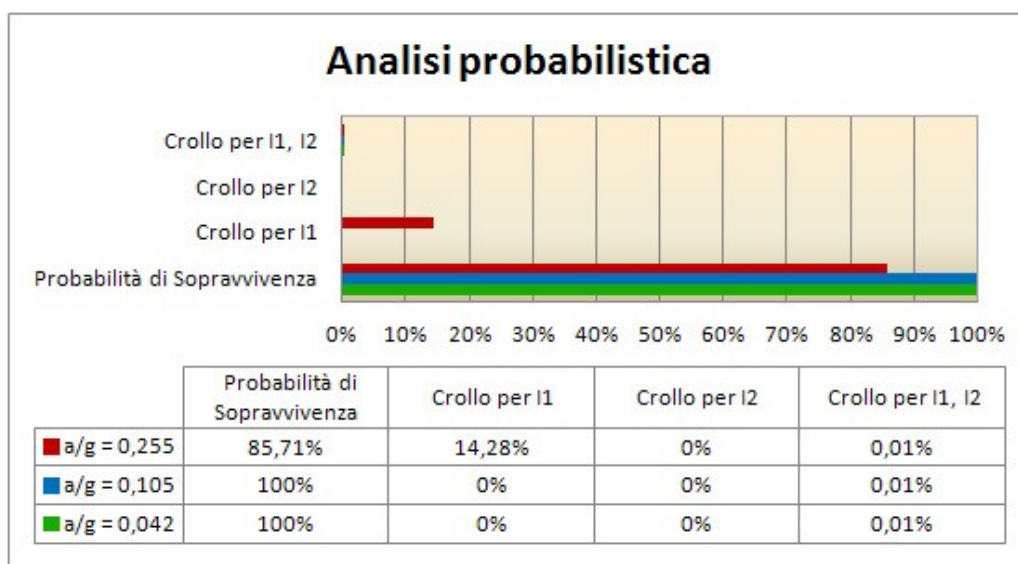
Vulnus fornisce un quadro statistico completo dell'analisi del campione, come risulta dalla successiva tabella. Possiamo sottolineare che il valore medio di  $I_2$  è pari a più del doppio di  $I_1$ , nonostante gli edifici del campione non presentino cordoli o altri accorgimenti utili a contrastare i meccanismi di rottura fuori piano. Il valore più alto di  $I_2$  si registra per l'unità 4, un edificio su due livelli, che ha una superficie molto inferiore delle altre unità, poco più di 25 m<sup>2</sup>. L'edificio è anche quello in cui sono stati rilevati gli spessori murari maggiori: per una delle pareti è stato misurato uno spessore di 1 metro. Per fronteggiare l'azione sismica, dunque, è stata sfruttata soprattutto la capacità resistente del materiale.

**Tabella 5.5 - Risultati conclusivi dell'analisi statistica**

	$I_1$	$I_2$
Valore Max	0,49	1,102
Nell'edificio	1	4
Valore Min	0,157	0,355
Nell'edificio	2	1
Valore medio	0,331	0,685
Valore medio pesato (rif. vol.)	0,318	0,532
s.q.m.	0,111	0,279
Coeff. di variazione (%)	33,531	40,675

In relazione ai tre valori, precedentemente assunti, di  $a/g$ , in Figura 5.58, sono presentate le seguenti analisi probabilistiche:

- la probabilità di sopravvivenza degli edifici,  $I_1 > a/g$  e  $I_2 > a/g$ ;
- la probabilità di crollo per  $I_1$ ,  $I_1 < a/g$  e  $I_2 > a/g$ ;
- la probabilità di crollo per  $I_2$ ,  $I_1 > a/g$  e  $I_2 < a/g$ ;
- la probabilità di crollo per  $I_1$  e  $I_2$ ,  $I_1 < a/g$  e  $I_2 < a/g$ .



**Fig. 5.58 Analisi probabilistica del campione di edifici considerati ad Arsita**

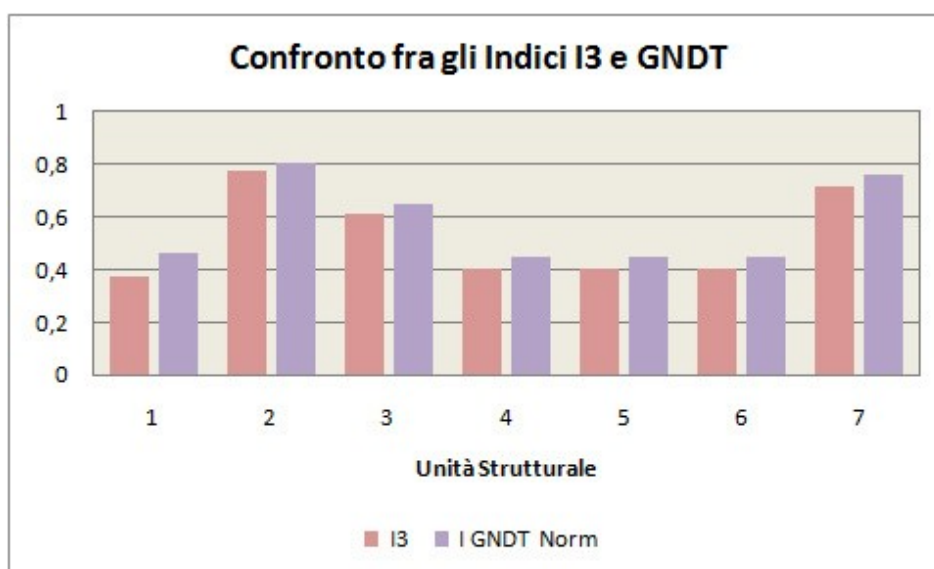
Questi dati confermano quanto già espresso dai precedenti risultati dell'analisi statistica. Infatti, esclusa l'ipotesi di crollo per  $I_2$ , soltanto per  $a/g = 0,255$ , c'è una probabilità del 14,28% di crollo per  $I_1$ . L'analisi probabilistica, tuttavia, non permette di formulare ipotesi sulla vulnerabilità degli edifici del campione. Soltanto con le successive analisi sarà possibile definire il grado di vulnerabilità dell'aggregato 2 ed eventualmente confrontare gli esiti ottenuti con quelli forniti da altre metodologie.

### 5.3.4 Gli Esiti di Vulnerabilità

Per ottenere le informazioni sulla vulnerabilità del campione in esame è necessario completare l'archivio dati con i valori dei parametri della Scheda di vulnerabilità di 2° livello per edifici in muratura GNDT. La procedura automatica calcola, per ogni unità dell'aggregato, il valore dell'indice  $I_3$ , che è stato introdotto per tener conto dei fattori non ancora considerati ai fini delle valutazioni della vulnerabilità, ma che sono presenti nelle Schede GNDT. Gli undici parametri della Scheda, descritti nel Capitolo 3, sono: tipo e organizzazione del sistema resistente, qualità del sistema resistente, resistenza convenzionale, posizione dell'edificio e fondazione, orizzontamenti, configurazione planimetrica, configurazione in elevazione,  $D_{max}$  murature, copertura, elementi non strutturali, stato di fatto. Vulnus permette di confrontare i valori dell'indice  $I_3$  con quelli dell'indice GNDT, indicati in tabella 5.6. Nell'istogramma di Fig. 5.59 sono stati considerati soltanto i valori normalizzati dell'indice GNDT. Anche se i valori dei due indici sono molto vicini, per tutte le unità dell'aggregato, l'indice GNDT normalizzato è sempre maggiore rispetto all'indice  $I_3$ . Questo dato può essere relazionato proprio al significato assunto da tale indice:  $I_3$  si avvale solo di alcuni dei parametri della scheda GNDT.

**Tabella 5.6 - Dati di confronto Indici  $I_3$ , GNDT, GNDT Norm**

U. S.	$I_3$	I GNDT	I GNDT Norm
1	0,375661	176,25	0,460784
2	0,772487	307,5	0,803922
3	0,613757	247,5	0,647059
4	0,402116	172,5	0,45098
5	0,402116	172,5	0,45098
6	0,402116	172,5	0,45098
7	0,719577	292,5	0,764706



**Fig. 5.59** Gli Indici  $I_3$  e GNDT degli edifici del campione ad Arsita

I risultati ottenuti evidenziano che per le unità 2 e 7 si raggiungono i valori più alti degli indici e questo conferma come le caratteristiche proprie di alcuni edifici, precedentemente descritte, influiscano sulla vulnerabilità delle costruzioni.



A questo punto, con i dati disponibili, è possibile ottenere l'analisi di vulnerabilità per il campione di edifici in esame. Gli esiti conseguiti permettono di valutare la probabilità di superare un certo livello di danno; i valori numerici sono associati a un giudizio linguistico, espresso per ogni unità edilizia, come indicato nel seguente grafico.



Fig. 5.60 Descrizione del giudizio di vulnerabilità per le unità del campione di Arsità

Nelle immagini di Figg. 5.61 e 5.62, per ogni valore di a/g è stato rappresentato il giudizio, di vulnerabilità, espresso attraverso una scala linguistica di cinque livelli, associato alle unità in esame. Dato che il livello di vulnerabilità è molto basso già per a/g = 0,105, si ottiene lo stesso giudizio anche per a/g = 0,042.

Per a/g = 0,255, ad eccezione di due unità, una associata a una probabilità di danno di grado 1 - piccola, l'altra associata al grado 3 - grande, la probabilità di danno è media, mentre per a/g = 0,105 e per a/g = 0,042 la probabilità di danno è molto piccola.



Fig. 5.61 Rappresentazione del giudizio linguistico associato a ogni edificio per a/g = 0,255

Il giudizio di vulnerabilità riferito ad a/g = 0,255 è coerente con gli esiti delle precedenti analisi, soprattutto con i valori degli Indici I<sub>3</sub> e GNDT. In particolare, all'unità 2, per la quale gli indici I<sub>3</sub> e GNDT sono i più alti, corrisponde una maggiore probabilità di danno. Grazie al giudizio espresso sulle singole unità, è possibile individuare, fra le unità 4, 5 e 6, per le quali i valori assunti dagli indici I<sub>3</sub> e GNDT erano gli stessi, quella che ha una vulnerabilità minore, l'unità 5.



Fig. 5.62 Rappresentazione del giudizio linguistico associato a ogni edificio per  $a/g = 0,105$

Il modello utilizzato da Vulnus per calcolare la probabilità di collasso  $Vu^{589}$  di ogni edificio, in relazione all'azione sismica considerata, può essere applicato anche per valutare la vulnerabilità media  $Vg$  di un gruppo di  $n$  edifici, che nel caso in esame, coincide con l'intero aggregato 2. In Fig. 5.63, per  $a/g = 0,255$ , si riporta la tabella dei valori del campo di variazione  $Vu$  (intervallo da 0 a 1) di ogni unità strutturale, necessaria per misurare la probabilità di danno e per ottenere quindi i giudizi linguistici, rappresentati graficamente nelle precedenti immagini.

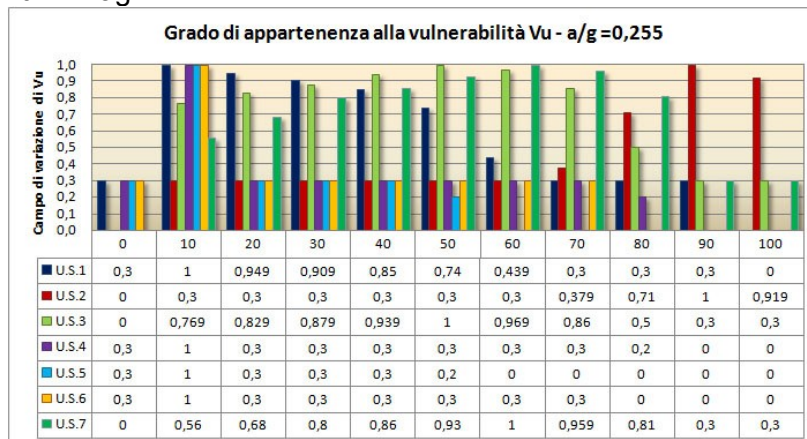


Fig. 5.63 Grado di appartenenza alla vulnerabilità  $Vu$  per  $a/g = 0,255$

Anche la vulnerabilità di gruppo è valutata su una scala da 0 a 100 con passo del 10%. Inoltre, se le volumetrie delle unità sono molto diverse, come avviene per il campione di edifici analizzato, è utile misurare la vulnerabilità proprio sui volumi. In quest'ultimo caso  $Vg$  è espresso come media pesata dei valori di  $Vu$  dei singoli edifici per i pesi corrispondenti ai loro volumi. Nelle tabelle e nei relativi grafici sono presentati i risultati ottenuti sia in riferimento agli edifici, che in riferimento ai volumi: si osserva che la classe di vulnerabilità individuata è la stessa in entrambe i casi.

<sup>589</sup> Università degli Studi di Padova, Facoltà di Ingegneria, Dipartimento di Costruzioni e Trasporti, *Manuale d'uso del Programma Vulnus 4.0*, programma originario di A. Bernardini, R. Gori, C. Modena, versione Vb a cura di M. R. Valluzzi, con i contributi di G. Benincà, E. Barbetta, M. Munari, dicembre 2009, pp. 48-56.

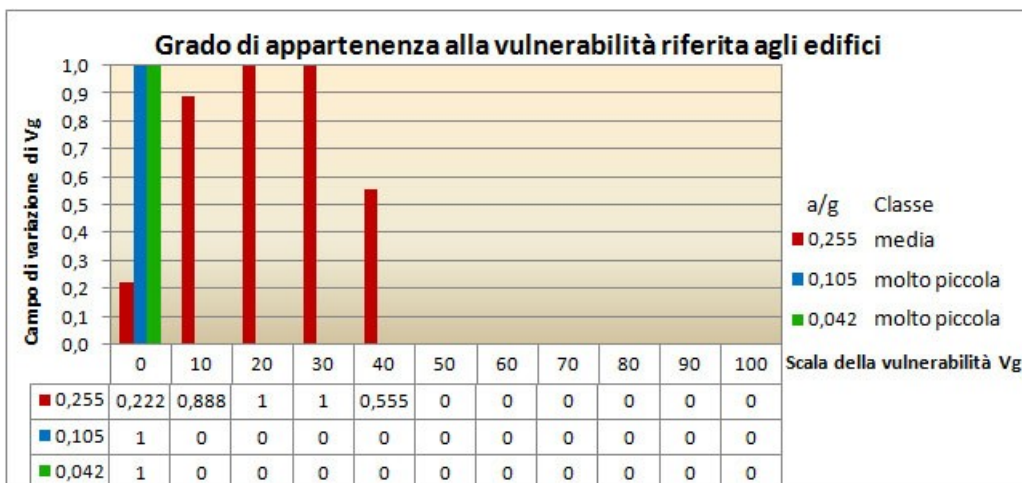


Fig. 5.64 Grado di appartenenza alla vulnerabilità di gruppo  $V_g$  riferita agli edifici

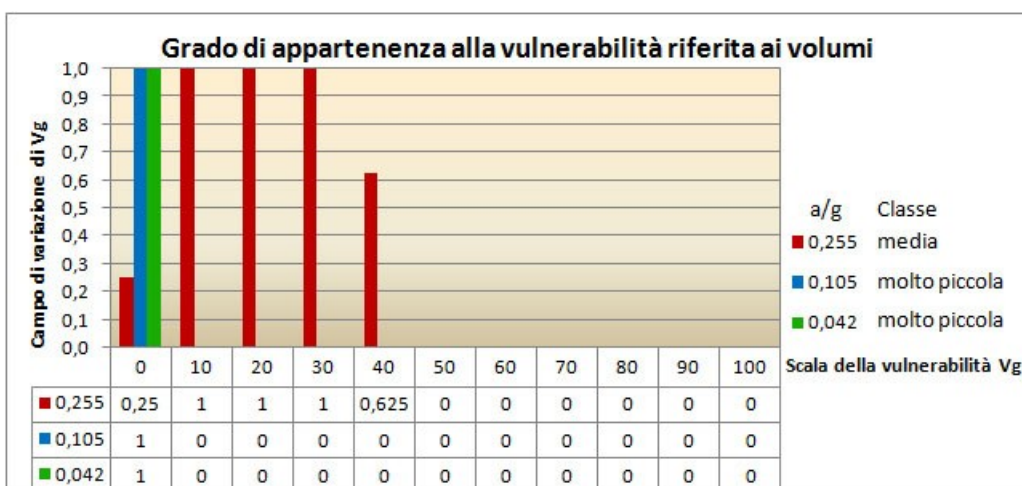


Fig. 5.65 Grado di appartenenza alla vulnerabilità di gruppo  $V_g$  riferita ai volumi

I dati sulla vulnerabilità media  $V_g$  ottenuti possono essere espressi graficamente, come in Figura 5.66, attraverso una curva che rappresenta la misura sfuocata della vulnerabilità, grazie alla quale è possibile individuare l'intervallo più attendibile della frequenza relativa di danno grave<sup>590</sup>.

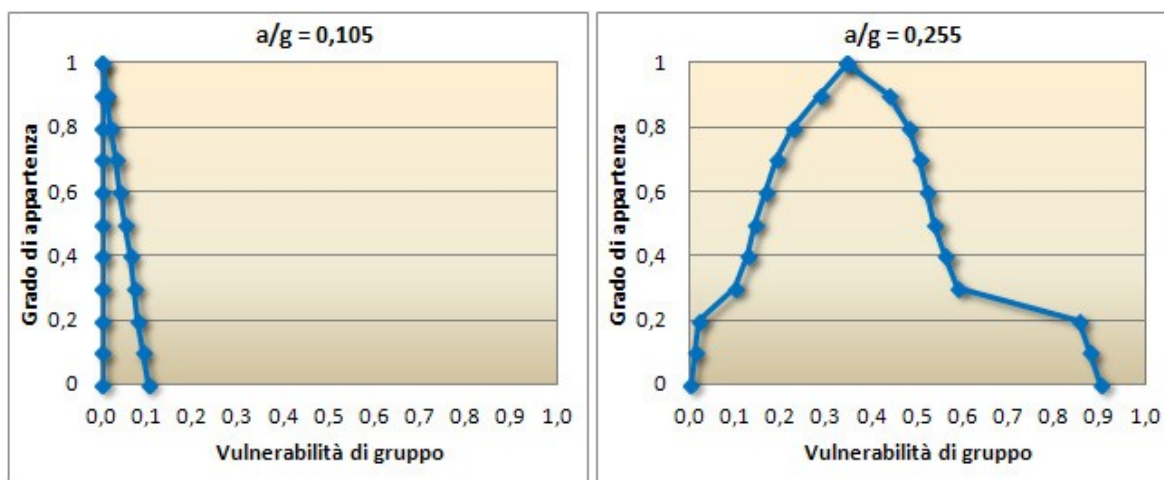


Fig. 5.66 Misure sfuocate della vulnerabilità media  $V_g$

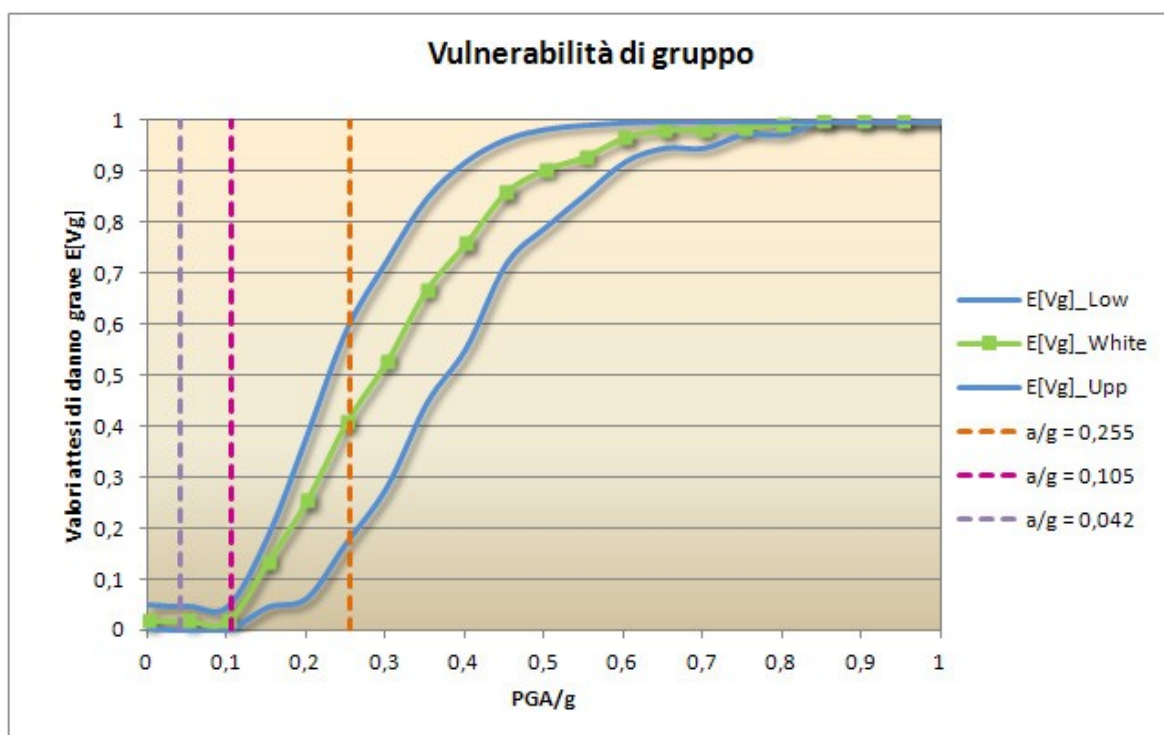
<sup>590</sup> M. Munari, *Sviluppo di procedure per valutazioni sistematiche di vulnerabilità sismica di edifici esistenti in muratura*, Tesi di Dottorato, Ciclo XXII, Supervisore M. R. Valluzzi, Università degli studi di Padova, Dipartimento di Architettura, Urbanistica e Rilevamento, 2010, pp. 198-200.

### 5.3.5 Le Frequenze Attese di Danno

La procedura automatica Vulnus descrive la vulnerabilità del campione in esame anche attraverso i valori attesi di danno grave  $E[Vg]$ , in funzione del rapporto  $PGA/g$ , ossia l'accelerazione di picco e l'accelerazione di gravità. Le tre curve di fragilità, rappresentate in Figura 5.67, indicano i limiti inferiore, superiore e i valori centrali, grazie ai quali è possibile valutare la frequenza di danno grave attesa. In sostanza, le curve  $E[Vg]_{Low}$  e  $E[Vg]_{Up}$  rappresentano l'intervallo all'interno del quale si trovano i più probabili valori della frequenza di danno grave<sup>591</sup>, mentre con  $E[Vg]_{White}$  si indicano i valori centrali della fragilità attesa, che sono evidenziati in tabella, in funzione del rapporto  $PGA/g$ .

**Tabella 5.7 - Valori attesi di danno grave**

	$PGA/g = 0,042$	$PGA/g = 0,105$	$PGA/g = 0,255$
$E[Vg]_{Low}$	0	0	0,190909
$E[Vg]_{White}$	0,020455	0,020455	0,418186
$E[Vg]_{Up}$	0,05	0,05	0,599007



**Fig. 5.67** Rappresentazione della vulnerabilità di gruppo tramite curve di fragilità

In Figura 5.67, i valori  $PGA/g$  considerati sono relazionati alle curve di fragilità, per valutare la percentuale di edifici soggetti a danno grave. Il caso di maggior interesse è quello per cui  $PGA/g = 0,255$ : il valore di  $E[Vg]$  è superiore al 40%, mentre il range delle probabilità varia fra circa il 20% e circa il 60%. Se consideriamo l'intervallo  $0,105 < PGA/g < 0,255$ , non solo decresce, quasi linearmente, il valore atteso di danno, raggiungendo un valore poco superiore al 2%, per  $PGA/g = 0,105$ , ma si riduce anche il range fra il limite superiore e la curva dei valori centrali; resta abbastanza ampio il range delle probabilità

<sup>591</sup> M. Munari, M.R. Valluzzi, A. Saisi, G. Cardani, C. Modena, L. Binda, *The limit analysis of macro-elements in masonry aggregate buildings as a methodology for the seismic vulnerability study: an application to Umbrian city centers*, 11th Canadian Masonry Symposium, Toronto, Ontario, May 31- June 3, 2009; M. Munari, M.R. Valluzzi, G. Cardani, A. Anzani, L. Binda, C. Modena, *Seismic vulnerability analyses of masonry aggregate buildings in the historical centre of Sulmona (Italy)*, in Proceedings of the 13th International Conference SFR 2010, Edinburg, Scotland, 15-17 June 2010.



fra la curva dei valori centrali e quella del limite inferiore. Questi dati evidenziano che, quando il valore del rapporto  $PGA/g$  si abbassa, la percentuale di danno grave non solo si riduce, ma anche i limiti di aspettazione sono confinati all'interno di un intervallo più piccolo. Ancora una volta, per  $PGA/g = 0,042$  si ottengono le stesse percentuali già individuate per  $PGA/g = 0,105$ .

La rappresentazione della vulnerabilità di gruppo tramite curve di fragilità conferma i risultati precedentemente ottenuti, infatti, per  $PGA/g = 0,255$  all'aggregato in esame era stata attribuita una vulnerabilità media, negli altri casi, la classe di vulnerabilità individuata era molto piccola. Dato che per il Comune di Arsita l'intensità locale raggiunta con il terremoto del 2009 è stata del VI grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS)<sup>592</sup>, cui corrisponde, in base alla relazione empirica Guagenti - Petrini, il rapporto  $PGA/g = 0,031$ , possiamo concludere che la vulnerabilità di gruppo del campione in esame, in quell'occasione, è stata molto piccola.

### 5.3.6 Le Curve di Vulnerabilità Ricavate da Vulnus e dalla Scala EMS98

Noti gli esiti di vulnerabilità del campione in esame, è stata individuare la classe di vulnerabilità dell'aggregato. In base alla classificazione introdotta dalla Scala EMS98, ad edifici appartenenti a una stessa tipologia possono corrispondere anche diverse classi di vulnerabilità, essendo il comportamento strutturale influenzato da vari aspetti, di cui tengono conto le schede di rilevamento già in uso oppure proposte. Nel caso in esame, la classificazione degli edifici è stata condotta con l'ausilio del confronto preliminare, effettuato da Vulnus, fra la probabilità cumulativa bianca della vulnerabilità attesa e le classi macrosismiche EMS98 A, B, C per matrici di probabilità di danno > D2 (danno moderato) o > D3 (danno grave) binomiali medie bianche. In questo modo è possibile individuare la classe per la quale il confronto fra gli scenari di danno è più significativo<sup>593</sup>. Nel caso in esame, all'aggregato 2 è stata attribuita la classe EMS98 "C", infatti, come si osserva nel grafico di Figura 5.68, considerando un danno > D2, la curva della probabilità cumulativa bianca si avvicina maggiormente a quella della Classe EMS98 C.

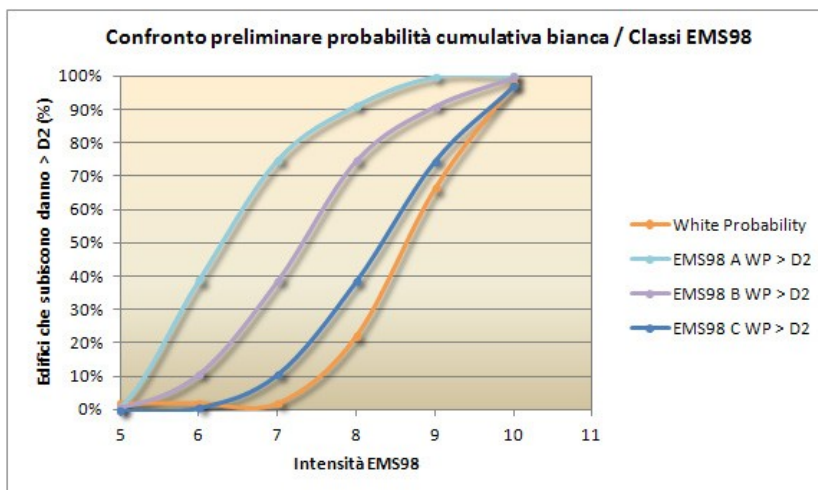


Fig. 5.68 Attribuzione della Classe EMS98 di riferimento per l'aggregato 2

<sup>592</sup> Galli P. e Camassi R. (eds.), 2009. *Rapporto sugli effetti del terremoto aquilano del 6 aprile 2009*, Rapporto congiunto DPC-INGV, in <[http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Elenco\\_centri\\_abitati\\_danneggiati.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Elenco_centri_abitati_danneggiati.pdf)>; M. Indirli, 1A\_01, *Relazione di inquadramento generale*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.

<sup>593</sup> M. R. Valluzzi, M. Munari, C. Modena, *Analisi di aggregati complessi per valutazioni di vulnerabilità sismica: il caso di Castelluccio di Norcia*, in MURST 2004-2006 «Sicurezza e conservazione degli edifici storici in funzione delle tipologie edilizie, della concezione costruttiva e dei materiali», Atti del Workshop, a cura di L. Binda, D. I. S. - Politecnico di Milano, 18-19 dicembre 2006, pp. 195-208 (CD-ROM).



Il confronto, svolto da Vulnus, fra lo scenario di danno ottenuto e quello della Scala EMS98 C per danno > D2, è rappresentato attraverso un grafico, che presenta sull'asse delle ascisse i valori dell'intensità macrosismica e sull'asse delle ordinate la percentuale di edifici che subiscono un danno > D2, analogo al precedente. La relazione PGA/g - Intensità scelta è quella di Petrini, ma il programma ne propone anche altre (Fig. 5.69).

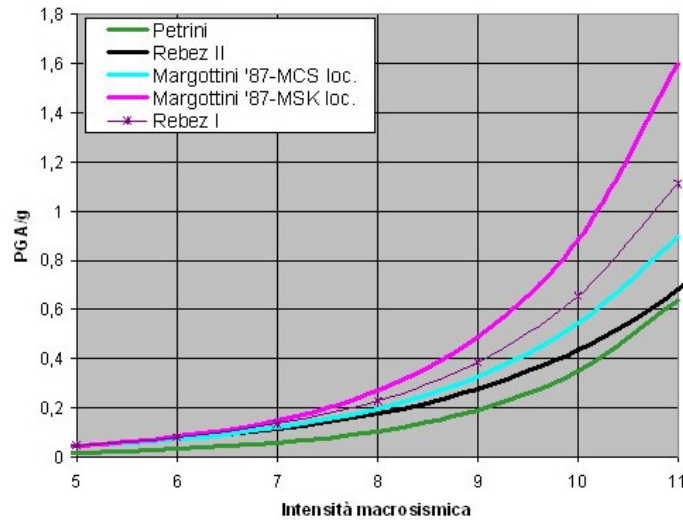


Fig. 5.69 Relazioni PGA/g - Intensità disponibili in Vulnus

Dall'analisi del grafico di Fig. 5.70, sembra che le curve dei limiti inferiori, superiori e dei valori centrali non sono perfettamente sovrapposte. La curva che rappresenta i risultati di Vulnus, al crescere dell'intensità macrosismica, è all'incirca parallela a quella ottenuta con la matrice binomiale media bianca per la Classe EMS98 C con danno > D2. Per il caso in esame, Vulnus sottostima la previsione di danno. Per il terremoto del 1951 ( $I_s = 6,5$ ), lo scarto fra le curve è pari a circa il 5%; per il sisma del 1950 ( $I_s = 8$ ), i valori differiscono di circa il 17%: secondo Vulnus, la percentuale di edifici che subisce un danno maggiore di D2 è infatti pari a circa il 22%, invece, la probabilità di danno fornita dalla scala di intensità macrosismica è pari a circa il 39%. Se considerassimo  $I_s = 9$ , le curve avrebbero uno scarto pari all'8%.

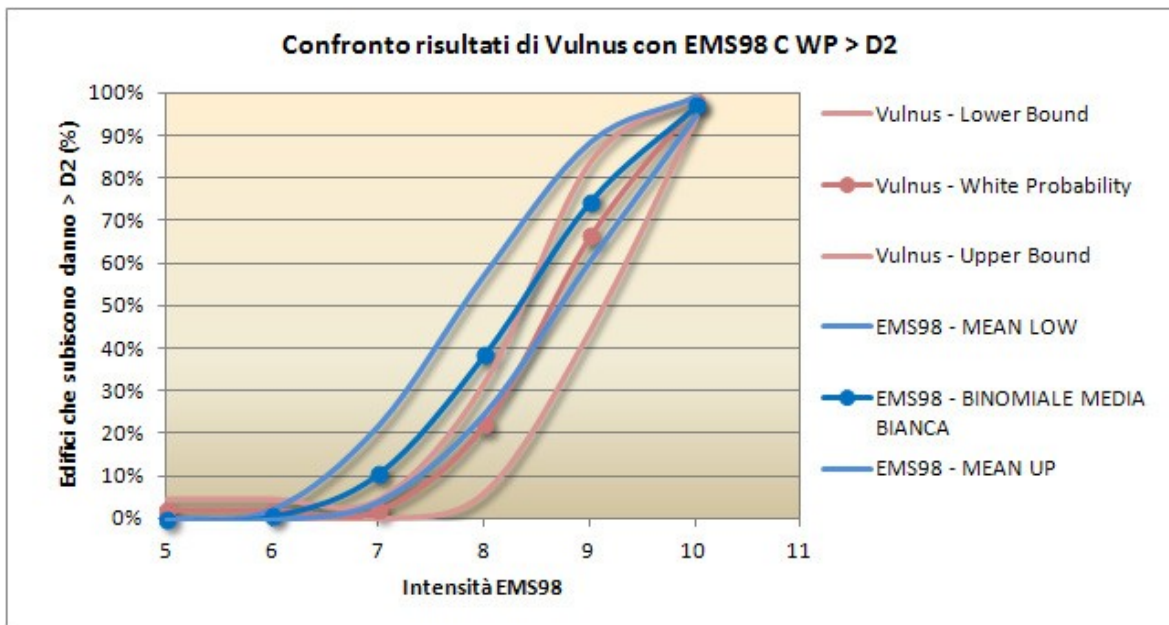


Fig. 5.70 Rappresentazione del confronto fra la probabilità cumulativa bianca con la Classe macrosismica EMS98 C e la matrice di probabilità di danno binomiale media bianca WP >D2

### 5.3.7 Conclusioni

Nelle *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale* sono indicati tre livelli per la valutazione della sicurezza sismica: mentre al primo (LV1) è affidato il compito di individuare le priorità di intervento alla scala territoriale, i livelli di valutazione 2 e 3 (LV2, LV3) si avvalgono di analisi più approfondite per definire gli interventi di miglioramento sismico sui singoli edifici. Il caso di studio, selezionato nel centro storico di Arsità, è stato analizzato attraverso una metodologia *semplificata* (LV1), per ottenere un giudizio sulla vulnerabilità e sulla probabilità di danno del patrimonio edilizio, coerente con le indicazioni dalle *Linee Guida*.

La metodologia proposta nel livello di valutazione LV1 - *analisi qualitativa e valutazione con modelli meccanici semplificati* - non richiede la valutazione della sicurezza sismica di ogni elemento strutturale degli edifici considerati, bensì, il confronto fra l'accelerazione di collasso della struttura, responsabile dei danneggiamenti per meccanismi nel piano, e quella che caratterizza l'azione sismica di progetto, ottenendo in questo modo un indice di sicurezza sismica  $I_S$ <sup>594</sup>. Se  $I_S$  è maggiore di 1, il manufatto è considerato idoneo a sopportare l'azione sismica, in caso contrario è necessario ipotizzare adeguati interventi, che saranno stabiliti nei successivi livelli di valutazione.

Con la procedura automatica Vulnus, invece, è stata effettuata un'analisi globale di vulnerabilità sismica del campione considerato, attraverso la determinazione di tre indici,  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$ , che consentono di valutare la resistenza nel piano, quella fuori piano e un insieme di fattori che concorrono nella determinazione del comportamento strutturale degli edifici. Pertanto è possibile considerare la procedura Vulnus più completa rispetto al modello indicato nelle *Linee Guida* per valutare la sicurezza dei manufatti storici, quali palazzi, ville, chiese, torri, campanili e ponti in muratura. Gli edifici cui si rivolgono le *Linee Guida*, essendo unici nella storia, non possono essere annoverati all'interno di tipologie predefinite. Tuttavia, dato che è possibile individuare dei caratteri ricorrenti, trova giustificazione l'impiego di modelli semplificati. Questo concetto può essere esteso anche agli edifici che sono parte di un aggregato edilizio, come nel caso di studio, in cui le unità sono considerate omogenee in relazione ai materiali e alle caratteristiche costruttive, ad esempio, la tipologia dei solai.

Per valutare, invece, l'attendibilità del giudizio di Vulnus, si potrebbero confrontare gli esiti di vulnerabilità ottenuti con quelli conseguiti con l'applicazione dei modelli schedografici descritti. Questi sono stati concepiti con finalità diverse: si pensi alla differenza fra le Schede AeDES e quelle GNDT, che forniscono, nel primo caso, un giudizio sull'agibilità degli edifici e, nel secondo caso, un indice di vulnerabilità.

A volte, fra un metodo e l'altro sono differenti anche i parametri considerati e l'approccio applicato per l'acquisizione dei dati. Inoltre, in alcune metodologie, i risultati sono espressi in forma numerica, in altre, in forma linguistica, da cui deriva la distinzione fra i modelli di tipo quantitativo e quelli di tipo qualitativo, introdotta un trentennio fa da A. Corsanego<sup>595</sup>.

Infine, in altre metodologie, come il Vulnus, in cui il giudizio letterale è associato a un insieme sfuocato, si applica un modello matematico d'analisi per tradurre i risultati numerici in espressioni linguistiche. In Vulnus, inoltre, gli esiti sono relazionati all'accelerazione considerata, quindi i valori sulla probabilità di danno grave sono diversificati proprio in funzione di  $a/g$ .

Da queste osservazioni sembra difficile effettuare un vero e proprio confronto fra le varie metodologie attualmente conosciute, quindi commenteremo le differenze o le analogie dei

---

<sup>594</sup> Ministero per i Beni e le Attività Culturali, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, Gangemi Editore, Roma, 2006, p. 40.

<sup>595</sup> A. Corsanego, *A review of methodologies for seismic vulnerability assessment*, Proceedings of the International Conference on Reconstruction, Restoration and Urban Planning of Towns and Regions in Seismic Prone Areas, Skopje, pp. 285-301.

A. Corsanego, C. Gavarini, *Ten years of research into the seismic vulnerability of constructions in Italy*, Annali di geofisica, Vol. XXXVI, N. 1, aprile 1993, pp. 149-156.

vari modelli. Si evidenzia che la stessa procedura automatica Vulnus si avvale di alcuni dati delle Schede GNDT di 2° livello per edifici in muratura per il calcolo dell'Indice  $I_3$ , proponendo un primo immediato confronto fra i valori del solo indice  $I_3$  e gli esiti del metodo GNDT.

Dato che le analisi svolte da Vulnus hanno validità soprattutto a scala territoriale, i risultati ottenuti possono essere applicati nelle scelte della pianificazione urbana, evidenziando le implicazioni che possono favorire la sicurezza e la conservazione dei centri storici, come quello di Arsita. A tal fine, come evidenziato, è importante individuare la struttura urbana minima dell'abitato e valutare in relazione agli esiti di vulnerabilità ottenuti, l'accessibilità dei luoghi, l'utilizzo delle infrastrutture esistenti e l'eventuale progettazione di nuovi sistemi di percorrenze.

Si osserva, dunque, come l'applicazione di metodi semplificati per la valutazione della vulnerabilità sismica, fra i quali la procedura automatica Vulnus, abbia una pluralità di ambiti applicativi, diretti e indiretti. I risvolti diretti si individuano nella sfera progettuale, infatti, come indicato dalle *Linee Guida* citate, i modelli d'analisi, da quelli semplificati a quelli di dettaglio, consentono di individuare le priorità d'intervento prima e di scegliere poi le tecniche di intervento. I risvolti indiretti, invece, sono quelli che si riscontrano nell'organismo urbano, un sistema complesso, costituito da pieni e vuoti, l'interno architettonico e l'interno urbano: due dimensioni diverse che sono tuttavia relazionate. Pertanto, non possiamo pensare che il fine della sicurezza sia unidirezionale, rivolto esclusivamente ai pieni, ossia il costruito, ma è necessario applicare tutti gli studi e tutte le analisi di vulnerabilità condotte ad entrambe le dimensioni.

#### 5.3.7.1 Considerazioni sui Risultati delle Metodologie Applicate

Nel Piano di Ricostruzione di Arsita (P.d.R.) sono raccolti i dati della vulnerabilità sismica, ottenuti con i modelli schedografici noti. Il giudizio di agibilità<sup>596</sup>, affidato alle squadre della Protezione Civile, intervenute nell'immediata fase post-sisma, e rivisitato dal gruppo di lavoro del P.d.R., si basa sugli esiti delle Schede AeDES. In Figura 5.71, per ogni unità dell'aggregato 2, sono indicati i giudizi espressi e i meccanismi di danno classificati, invece, secondo la Scheda MEDEA<sup>597</sup>.

Le unità che erano state dichiarate agibili sono anche le stesse che non hanno subito danni, ad eccezione del primo edificio, per il quale è stato individuato un meccanismo locale da irregolarità del materiale, debolezze locali, ecc., secondo la definizione delle istruzioni della Scheda MEDEA. Mentre, le unità che erano state giudicate inagibili oppure temporaneamente inagibili mostrano sia meccanismi globali sia meccanismi locali. Sono stati, infatti, riscontrati danneggiamenti da taglio per azioni nel piano, in alcuni casi localizzati nelle zone alte, meccanismi da cedimento fondale e da irregolarità fra strutture adiacenti. In un solo caso è stato riscontrato il meccanismo locale da ribaltamento della parte alta del cantonale. Il giudizio di agibilità e l'analisi qualitativa, condotta con la metodologia MEDEA, dunque, sono coerenti.

Confrontando tali risultati con l'analisi statistica di Vulnus, in Figura 5.57, è confermata la scarsa resistenza contro i meccanismi da taglio, infatti, l'indice  $I_1$  risulta minore di  $I_2$  in sei casi su sette. Il valore minore di  $I_1$  è proprio quello dell'unità 2 ( $I_1 = 0,157$ ), giudicata inagibile, come l'edificio d'estremità 7, per il quale  $I_1$  assume un valore comunque basso, pari a 0,29.

<sup>596</sup> M. Indirli, 2b\_01\_d, *Valutazioni di agibilità e danno sismico (Scheda AeDES) nel centro storico di Arsita*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.

<sup>597</sup> M. Indirli, 2b\_01\_f, *Metodologie per la valutazione della vulnerabilità strutturale nel centro storico di Arsita*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.

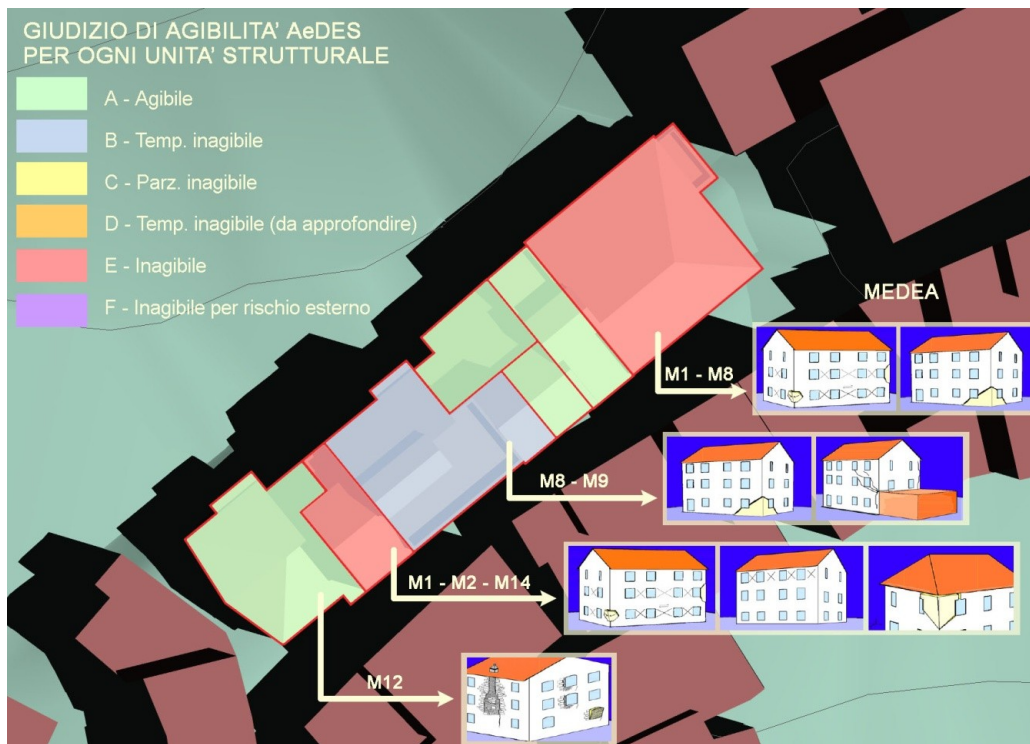


Fig. 5.71 Risultati delle Schede AeDES e MEDEA del campione in esame (Dati: ENEA C. R. Bologna)

Per gli edifici 4, 5 e 6, quelli dichiarati agibili, sono stati raggiunti i valori più alti dell'indice  $I_2$ , indicando una buona risposta delle costruzioni contro i meccanismi fuori piano, come riscontrato durante i rilievi. Si osserva inoltre che solo per l'edificio 1, oggetto di interventi di consolidamento prima del sisma del 2009, l'indice  $I_1$  raggiunge un valore medio, assunto, all'interno del campione, come valore massimo. Lo stesso edificio presenta però il più basso valore dell'indice  $I_2$ , di poco inferiore a quello delle unità 3 e 7. Secondo Vulnus l'unità 1 è quindi quella più svantaggiata nei confronti dei meccanismi fuori piano, anche se nella realtà tali danni non sono stati fortunatamente riscontrati.

Sono stati di seguito riepilogati, per il solo aggregato in esame, i risultati ottenuti con l'applicazione delle metodologie schedografiche di tipo quantitativo, contenuti nelle mappe e nei grafici sulla vulnerabilità del costruito del Piano di Ricostruzione di Arsita<sup>598</sup>.

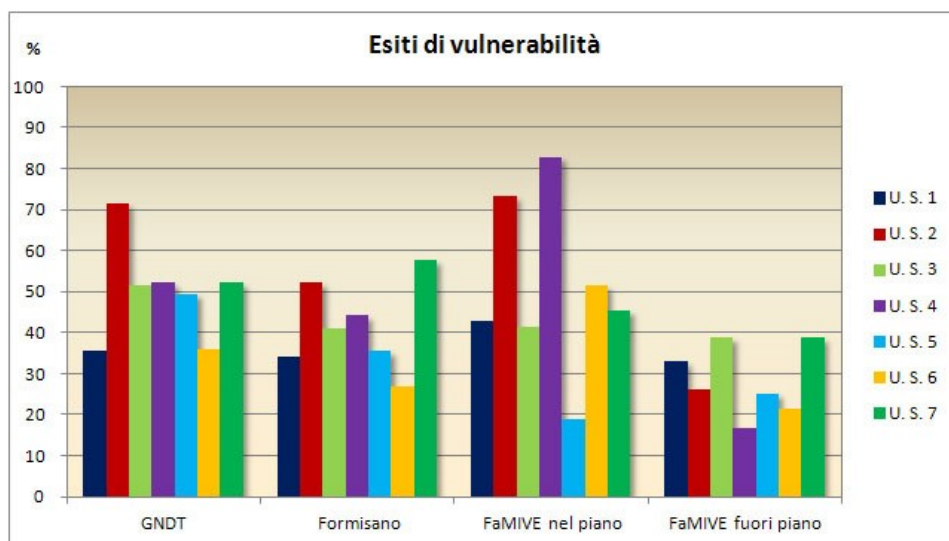


Fig. 5.72 Analisi statistica delle Schede GNDT, Formisano, FaMIVE del campione in esame (Dati: ENEA C. R. Bologna)

<sup>598</sup> A. Formisano, M. Indirli, 3A\_01\_f, *Aspetti strutturali e vulnerabilità*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.

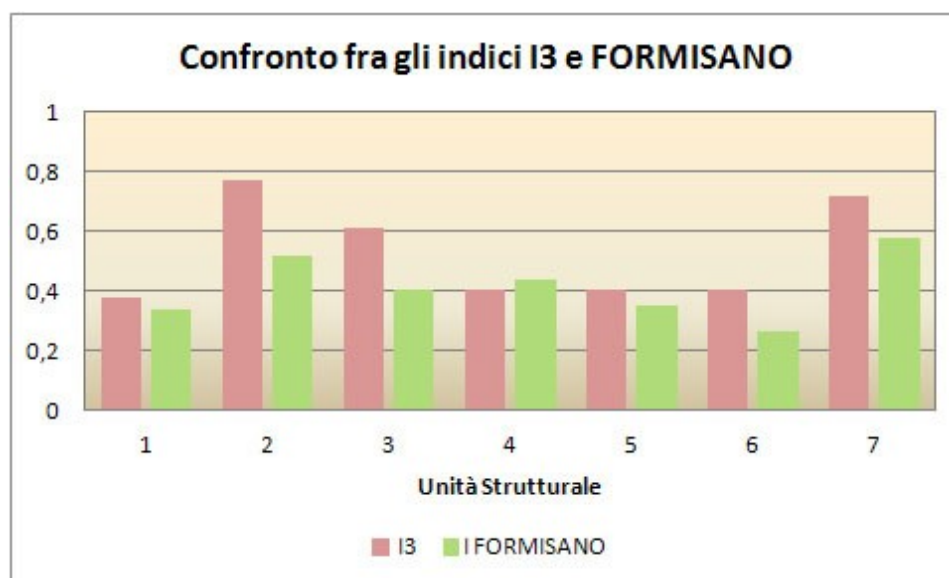
I valori medi degli indici di vulnerabilità, riferiti al totale delle unità strutturali, delle Schede GNDT e della Metodologia Formisano, all'interno del P.d.R., sono stati raggruppati nelle seguenti fasce percentuali, cui è stato attribuito anche un giudizio linguistico:

**Tabella 5.8 - Dati di confronto Indici GNDT, Formisano**

	$I_v < 30$	$30 \leq I_v < 60$	$I_v \geq 60$
	vulnerabilità bassa	vulnerabilità medio - bassa	vulnerabilità medio - alta
<b>GNDT 2° livello</b>	8.0%	75.0%	17.0%
<b>Formisano</b>	8.0%	90.0%	2.0%

Per valori bassi della vulnerabilità ( $I_v < 30$ ) gli esiti ottenuti sono gli stessi. Le maggiori differenze si riscontrano per i valori di vulnerabilità medio - bassa e medio - alta: nel primo caso l'indice stimato con la Metodologia Formisano è maggiore del 15% dell'indice ottenuto con le Schede GNDT; al contrario, nel secondo caso, i valori dell'indice Formisano sono minori del 15% dell'equivalente indice GNDT.

Il valore medio della vulnerabilità, riferito al solo campione analizzato, secondo le Schede GNDT è pari al 49,53%, mentre con la metodologia Formisano  $I_v = 41,47\%$ . Dagli esiti ottenuti, all'aggregato 2 è stata attribuita una vulnerabilità medio – bassa; si osserva come nel secondo caso l'indice stimato sia più basso, con uno scarto di poco superiore all' 8%. Come evidenzia il grafico di Figura 5.72, la differenza maggiore si riscontra per l'unità 2. Sono stati già confrontati i valori dell'indice  $I_3$ , stimati da Vulnus, con quelli delle Schede GNDT (Fig. 5.59), di seguito è riportato, invece, l'istogramma di confronto fra  $I_3$  e gli indici di vulnerabilità ottenuti con la Metodologia Formisano.



**Fig. 5.73** Gli Indici  $I_3$  e Formisano degli edifici del campione ad Arsita

Ad eccezione dell'unità 4, per la quale l'indice Formisano è maggiore di  $I_3$ , come nel confronto fra l'indice GNDT e  $I_3$ , per gli altri edifici del campione accade sempre il contrario. Per le unità 1 e 5, i valori degli indici non sono molto distanti: in assoluto la minor differenza è, infatti, quella riscontrata per l'unità 1, per la quale lo scarto è pari al 3,55%; lo scarto massimo, del 25,28%, è stato riscontrato, invece, per l'unità 2. Infine, il valore medio dell'indice  $I_3$  è pari al 52,68%, dunque, l'esito della procedura automatica Vulnus, per il campione considerato, differisce da quello ottenuto con la metodologia Formisano, per uno scarto dell'11,21%.

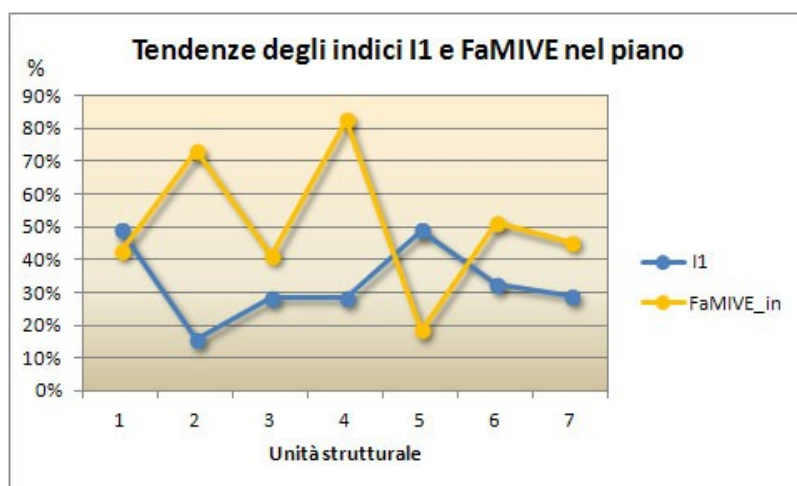


Per le Schede FaMIVE, i valori medi degli indici di vulnerabilità, determinati sia per i meccanismi nel piano, che per quelli fuori piano, riferiti al totale delle unità strutturali, sono stati raggruppati negli intervalli riportati in tabella, a questi è stato attribuito, come nel confronto GNDT/Formisano, un giudizio linguistico:

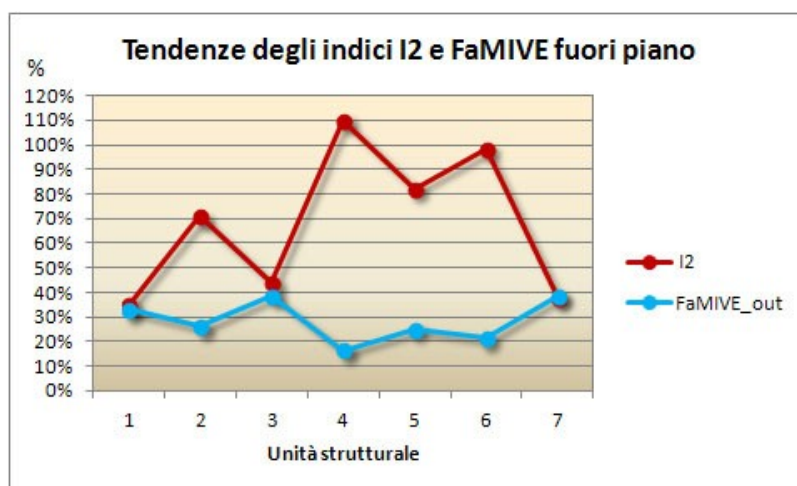
**Tabella 5.9 - Dati di confronto FaMIVE: meccanismi nel piano, meccanismi fuori piano**

	$I_v < 25$	$25 \leq I_v < 50$	$50 \leq I_v < 75$	$I_v \geq 75$
	vulnerabilità bassa	vulnerabilità medio - bassa	vulnerabilità medio - alta	vulnerabilità alta
<b>Meccanismi nel piano</b>	19.0%	50.0%	16.0%	15.0%
<b>Meccanismi fuori piano</b>	73.0%	26.0%	1.0%	0.0%

Dai valori riscontrati si evince che l'edificio di Arsita è più vulnerabile ai meccanismi nel piano: i valori maggiori si registrano nell'intervallo della vulnerabilità medio - bassa, al contrario, per i meccanismi fuori piano è maggiore la percentuale relativa al gruppo della vulnerabilità bassa. Questi dati trovano riscontro anche per il campione di edifici analizzato. Nel grafico di Fig. 5.57 sono stati infatti già rappresentati i risultati dell'indagine statistica effettuata da Vulnus attraverso il confronto degli indici  $I_1$  e  $I_2$ , evidenziando come le unità dell'aggregato risultassero più vulnerabili ai meccanismi nel piano.



**Fig. 5.74** Gli Indici  $I_1$  e FaMIVE nel piano degli edifici del campione ad Arsita



**Fig. 5.75** Gli Indici  $I_2$  e FaMIVE fuori piano degli edifici del campione ad Arsita

Per valutare i risultati di *Vulnus* e quelli della metodologia *FaMIVE* sono stati elaborati dei grafici a linee. In Figura 5.74 si analizza l'andamento dell'indice  $I_1$ , indicativo della resistenza nel piano, in relazione ai valori della vulnerabilità nel piano del modello *FaMIVE*. Analogamente, in Figura 5.75 si analizza l'andamento dell'indice  $I_2$ , indicativo della resistenza fuori piano, in relazione alla vulnerabilità fuori piano del modello *FaMIVE*.

Il grafico lineare degli indici  $I_1$  di *Vulnus* e *FaMIVE* nel piano evidenzia che, per il campione in esame, quando i valori della vulnerabilità diminuiscono, aumentano quelli della resistenza a taglio degli edifici e viceversa tanto più i valori della vulnerabilità aumentano, tanto più si abbassa il livello di resistenza degli edifici. Nel caso dell'unità 1, in cui il valore dell'indice *FaMIVE* per meccanismi nel piano è di circa il 42%, il valore della resistenza è circa del 49%; nel caso dell'unità 5, in cui l'indice di vulnerabilità è di circa il 19%, quello della resistenza raggiunge circa il 49%, con uno scarto maggiore rispetto al caso precedente, pari al 30%.

Invece, fra le unità 3, 6 e 7, il valore medio della vulnerabilità è circa il 46%, mentre il valore medio della resistenza è circa il 30%: per questi edifici sarebbe necessario innalzare il livello prestazionale delle strutture almeno del 16%. Infine, nei casi delle unità 2 e 4, in base ai risultati del grafico, sembrerebbe necessario aumentare per più del 50% l'efficienza strutturale di tali edifici. Questo dato può essere considerato attendibile per l'unità 2, in relazione agli esiti degli altri modelli di valutazione applicati, mentre per l'unità 4, giudicata agibile e per la quale non sono stati rilevati danni dalla metodologia *MEDEA*, non possiamo considerare valido l'esito ottenuto.

Per l'unità 4 il valore di  $I_1$  è maggiore del 28%, quello della vulnerabilità è maggiore dell'82%, tuttavia, secondo le stime effettuate con gli altri modelli di valutazione utilizzati, per quest'edificio, il livello di vulnerabilità sarebbe compreso nell'intervallo 40% - 50%, pertanto possiamo ipotizzare che il valore dell'indice di vulnerabilità nel piano, ottenuto con il modello *FaMIVE*, sovrastimi il livello di vulnerabilità dell'edificio. Sulla base di tale ipotesi lo scarto fra la resistenza opposta ai meccanismi nel piano e il livello di vulnerabilità sarebbe molto più basso e probabilmente più attendibile in relazione al reale comportamento dimostrato a seguito del sisma del 2009.

Anche se i valori dello scarto non sono uniformi, non è quindi possibile individuare una proporzionalità fra resistenza e vulnerabilità per gli edifici del campione, gli esiti delle analisi condotte sono indicativi dell'efficienza strutturale delle costruzioni contro i meccanismi nel piano.

**Tabella 5.10 - Dati di confronto Indici  $I_1$  - *FaMIVE\_in*,  $I_2$  - *FaMIVE\_out***

U.S.	Scarto $I_1$ - <i>FaMIVE_in</i>	Scarto $I_2$ - <i>FaMIVE_out</i>
1	6,13%	2,77%
2	-57,51%	44,92%
3	-12,79%	5,32%
4	-54,39%	93,83%
5	30,24%	57,27%
6	-18,81%	77,12%
7	-16,29%	-0,58%
<b>MEDIA</b>	<b>-17,63%</b>	<b>40,09%</b>

In tabella 5.10 sono indicati, per ogni unità, i valori dello scarto dei due grafici. I valori negativi segnalano la percentuale di inefficienza delle strutture. Come è evidente, per la maggior parte delle unità analizzate, sarebbe opportuno intervenire per aumentare il livello di resistenza a taglio. Invece, la seconda colonna della tabella, che indica lo scarto fra  $I_2$  e l'indice di vulnerabilità *FaMIVE* per meccanismi fuori piano, evidenzia come, ad

eccezione di un solo edificio, per il quale il valore negativo dello scarto è dello 0,58%, le strutture si dimostrano in grado di fronteggiare i meccanismi fuori piano. Anche l'analisi probabilistica di Vulnus (Fig. 5.58) aveva indicato come, al variare di  $a/g$ , per le unità del campione, la probabilità di crollo fosse quasi sempre nulla.

Nel grafico degli indici  $I_2$  di Vulnus e FaMIVE fuori piano si riscontra che, per tre unità del campione, la resistenza opposta ai meccanismi fuori piano e il livello di vulnerabilità a tali meccanismi è quasi lo stesso. Per quattro edifici su sette, invece, il livello di resistenza stimato da Vulnus è molto maggiore rispetto ai valori della vulnerabilità fuori piano: tali edifici, in base a questi risultati, avrebbero adeguate risorse strutturali contro i meccanismi fuori piano.

La Metodologia MEDEA sembra confermare tali esiti per gli edifici 4, 5 e 6, considerati agibili in base al giudizio AeDES; invece, l'edificio 2 è soggetto al meccanismo locale da ribaltamento della parte alta del cantonale (Fig. 5.71), quindi, si può ipotizzare che siano state sovrastimate le risorse dell'edificio.

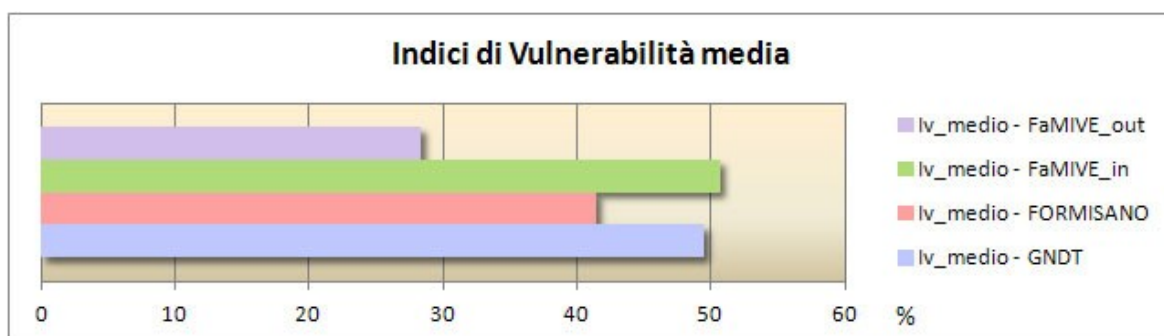


Fig. 5.76 Indici di Vulnerabilità media del campione in esame (Dati: ENEA C. R. Bologna)

Secondo la classifica di vulnerabilità sismica<sup>599</sup> (Fig. 5.76), in cui, per ogni aggregato, è stato determinato il valore medio della vulnerabilità sulla base dei risultati ottenuti con l'applicazione delle Schede GNDT, della Metodologia Formisano, delle Schede FaMIVE per meccanismi nel piano e fuori piano, l'indice di vulnerabilità medio dell'aggregato 2 è pari al 41,2%, risultando uno dei valori più alti della graduatoria. Si osserva che, secondo i risultati della procedura automatica Vulnus, il valore atteso di danno grave ( $E[Vg]$ ), in funzione del rapporto  $PGA/g = 0,255$ , era pari al 41,81% (Fig. 5.67).

### 5.3.7.2 Proposte d'Intervento del Piano di Ricostruzione

L'analisi delle tendenze dei diversi indici ha messo in evidenza la necessità di definire opportuni interventi in grado di ridurre o eliminare le criticità di ciascuna unità del campione. Proprio in risposta all'esigenza di migliorare il comportamento strutturale, innalzando di conseguenza il livello di sicurezza dell'edificato, nonché il grado di resilienza agli eventi sismici, nel Piano di Ricostruzione<sup>600</sup> sono stati individuati gli interventi ritenuti più idonei. In Figura 5.77 sono indicati i soli interventi di natura strutturale, benché ai fini della riqualificazione sostenibile del centro urbano siano stati individuati anche altri interventi di tipo architettonico o indirizzati all'efficientamento energetico dell'edificato.

Gli interventi antisismici sono stati differenziati in relazione alle condizioni rilevate e al grado di danno risultante dagli esiti di vulnerabilità di ciascuna unità del campione: per gli edifici 3 e 5, sono stati *prescritti* soltanto l'inserimento di catene/tiranti e la riparazione delle lesioni leggere; per gli edifici 1 e 6, accanto agli incatenamenti, sono stati previsti

<sup>599</sup> A. Formisano, M. Indirli, 3A\_01\_f, *Aspetti strutturali e vulnerabilità*, cit..

<sup>600</sup> M. Indirli, 3B\_01\_f, *Piano, schede e mappa degli interventi strutturali - Parte I*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.

interventi di consolidamento murario e la riparazione delle lesioni che hanno danneggiato in maniera più incisiva le murature; infine, per gli edifici 2, 4 e 7 sono stati indicati soprattutto interventi di consolidamento, estesi all'intero edificio, quindi strutture verticali, orizzontamenti e coperture, a questi si affianca l'inserimento di catene/tiranti, come per le altre unità.

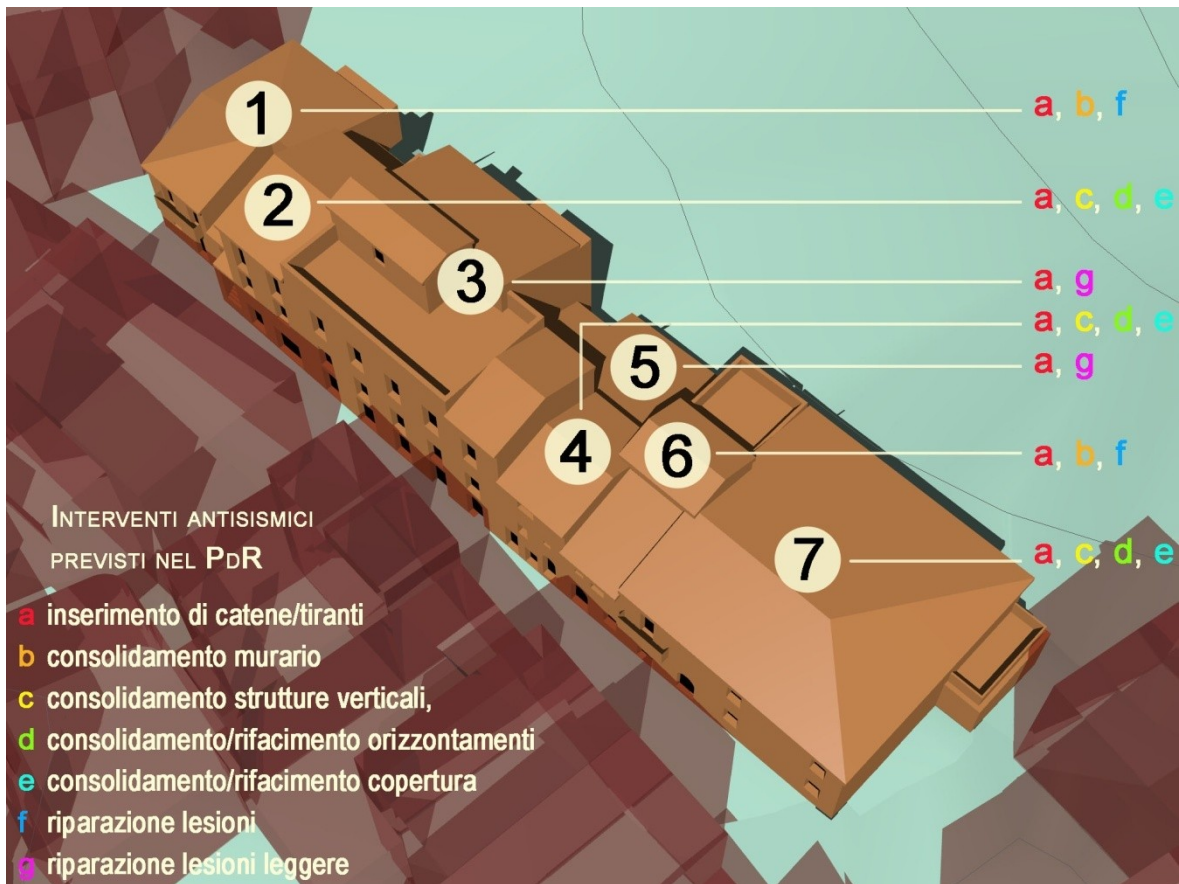


Fig. 5.77 Interventi antisismici previsti nel Piano di Ricostruzione

Gli interventi previsti sono finalizzati da un lato a chiudere le ferite inferte dal sisma: è questo il caso delle riparazioni delle lesioni; dall'altro lato, sono state previste opere di consolidamento chiamate invece a implementare la resistenza degli edifici, accanto all'introduzione di catene/tiranti, previsti per migliorare il comportamento complessivo dell'aggregato. Dato che le analisi precedentemente condotte, hanno dimostrato come l'edificato sia più vulnerabile alle azioni da taglio, l'insieme delle indicazioni fornite è finalizzato proprio a risolvere queste criticità, che in misura diversa riguardano tutti gli edifici del campione.

## 6. LA CHIESA DI SANTA MARIA DELLE GRAZIE A PETTINO (AQ)

### 6.1 IL QUADRO FESSURATIVO

All'indomani del terremoto del 6 aprile 2009, la Chiesa di Santa Maria delle Grazie, nella frazione aquilana di Pettino, era gravemente lesionata. In base ai rilievi dei Vigili del Fuoco sono stati riscontrati i seguenti danni:

- forti lesioni per innesco di meccanismi nel piano in tutte le pareti;
- lesioni fuori piano della parete sul versante a valle e di minore entità anche sulla facciata principale;
- lesioni ai quattro arconi per meccanismi di piano degli stessi;
- la veletta campanaria è crollata a terra lato strada;
- gli architravi delle finestrate sono parzialmente crollati<sup>601</sup>.



Fig. 6.1 Via Antica Arischia: (a) la Chiesa di Santa Maria delle Grazie (b) i fabbricati annessi  
(Fotografie: Il Cenacolo S.r.l.)

Erano parzialmente distrutte anche le due torri della vecchia casa canonica (Fig. 6.2), localizzata a Sud-Ovest della chiesa, ed erano lesionati inoltre i fabbricati, parte dello stesso aggregato edilizio, che sono collocati a Nord dell'aula ecclesiastica, lungo la Via Antica Arischia.

Dopo il sisma, è stato necessario eseguire un intervento di stabilizzazione (Figg. 6.3 e 6.4). Il progetto di massima è stato curato dal Dipartimento di Costruzioni e Trasporti dell'Università degli Studi di Padova<sup>602</sup>. All'interno della chiesa, gli affreschi, danneggiati delle scosse, sono stati staccati prima dell'esecuzione dei lavori di restauro e in seguito ricollocati al loro posto<sup>603</sup>.

<sup>601</sup> F. Sassu, *Intervento di stabilizzazione della Chiesa di Santa Maria delle Grazie (Madonna di Pettino) sita in loc. Pettino - L'Aquila*, in «Professione ingegnere», Bollettino dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Oristano, N. 62, 2009, pp. 21-24.

<sup>602</sup> *Ibid.*

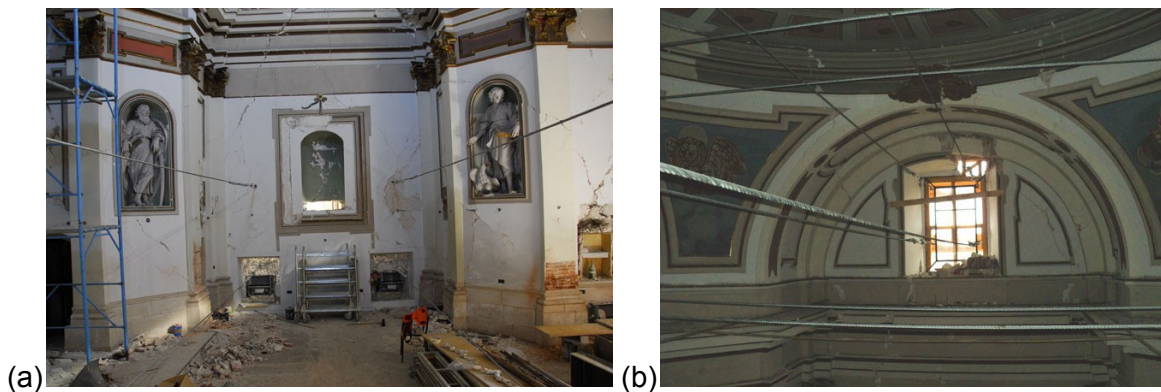
<sup>603</sup> M. Galeota, *Ricostruzione: quasi pronta la chiesa a Pettino "E' l'unica vincolata fuori dal centro storico"*, in <http://www.abruzzoweb.it/contenuti/ricostruzione-quasi-pronta-la-chiesa-a-pettino--e-lunica-vincolata-fuori-dal-centro-storico/527499-302/>.



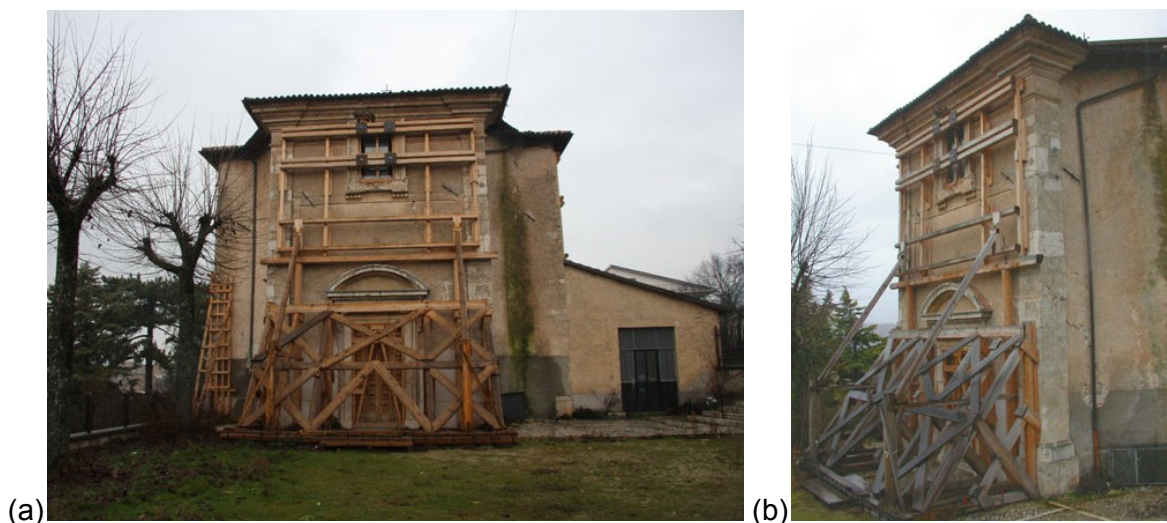


**Fig. 6.2 Cortile interno: (a) facciata Sud-Ovest della casa canonica, (b) dettaglio di una delle torri angolari (Fotografie: Il Cenacolo S.r.l.)**

Le opere di stabilizzazione previste erano di tre tipi: la realizzazione di tirantature per la messa in sicurezza contro i meccanismi di ribaltamento delle pareti; la puntellatura della facciata principale; la sbadacchiatura con puntoni lignei degli architravi della finestratura sul fronte d'ingresso e di quella della facciata Nord della chiesa.



**Fig. 6.3 Tirantatura di collegamento fra le facciate opposte: (a) parete Nord, (b) dettaglio della parte alta (Fotografie: Il Cenacolo S.r.l.)**



**Fig. 6.4 (a) Facciata principale, (b) Puntellatura di ritegno della facciata (Fotografie: Il Cenacolo S.r.l.)**

Il primo intervento è stato eseguito realizzando un graticcio di travi appoggiate alle quattro facciate della chiesa a croce greca: le pareti opposte corrispondenti sono state collegate da tiranti e funi d'acciaio. Il secondo intervento, la puntellatura della facciata, è servito a contrastare lo spanciamento della parete. Per determinare le forze agenti sui puntelli è stato adottato lo schema statico di una trave a due appoggi soggetta all'azione di un carico variabile. La risultante del carico triangolare, applicato ai due terzi dell'altezza considerata, da contrastare con la puntellatura, è stata determinata utilizzando il metodo POR<sup>604</sup>.

Nel 2011 sono state effettuate diverse indagini diagnostiche<sup>605</sup>, di seguito descritte, per il progetto di consolidamento statico e per il miglioramento sismico dell'edificio. La Chiesa di Santa Maria delle Grazie è stata poi sottoposta agli interventi di restauro necessari, grazie ai quali, nell'agosto 2014, è stata riaperta al pubblico<sup>606</sup>.

## 6.2 IL MANUFATTO ARCHITETTONICO

Fino agli anni Trenta del Novecento la struttura urbana del capoluogo abruzzese era confinata all'interno delle mura medioevali; in epoca fascista inizia l'espansione della città verso Nord, tale ampliamento è proseguito soprattutto dopo la Seconda guerra mondiale<sup>607</sup>, portando alla formazione di nuove aree abitate. Santa Maria delle Grazie è uno dei principali luoghi d'interesse del quartiere di Pettino o *Pitinum*, dal nome dell'antico insediamento romano, oggi una delle zone più popolate de L'Aquila: un'area di recente edificazione, sorta nella parte nord-occidentale della città a 632 m s.l.m..

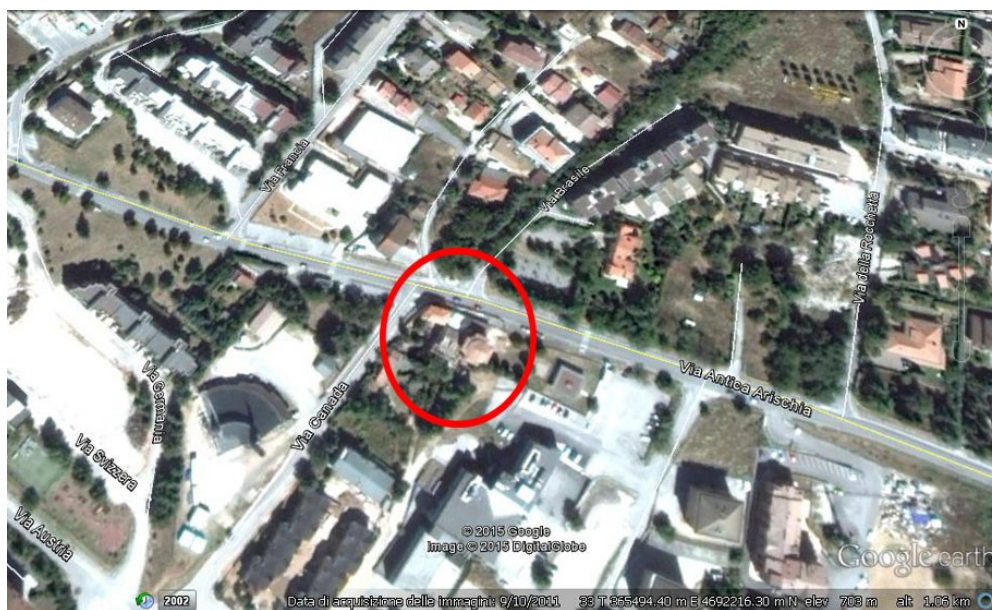


Fig. 6.5 Localizzazione della Chiesa di Pettino sulla mappa Google

<sup>604</sup> Approfondimenti sul metodo POR in:

A. De Maria, E. Del Monte, L. Galano, B. Ortolani, A. Vignoli, *Modellazione e calcolo di costruzioni in muratura*, in AA. VV., *Manuale delle murature storiche*, Vol. 1, direttore scientifico A. Borri, a cura di C. Donà, A. De Maria, D.E.I. tipografia del Genio Civile, Roma, 2011, pp. 363-365.

<sup>605</sup> Il Cenacolo S.r.l., *Chiesa di Santa Maria delle Grazie (Pettino - AQ), Indagini diagnostiche preliminari per il progetto di consolidamento statico ed il miglioramento sismico*, Relazione tecnica elaborata da K. Bianchi, R. Ginanni Corradini, G. Marghella, F. Mattolin.

<sup>606</sup> *Riapre la Madonna delle Grazie di Pettino: il 22 agosto solenne celebrazione con monsignor Petrocchi* in <<http://www.abruzzo24ore.tv/news/Riapre-la-Madonna-delle-Grazie-di-Pettino-il-22-agosto-solenne-celebrazione-con-monsignor-Petrocchi/143132.htm>>.

<sup>607</sup> E. Parodi (direttore scientifico e curatore), A. Cappuccitti (curatore), *Il nuovo manuale di urbanistica*, Mancosu, Roma, 2009, B 280-B 325;  
G. J. Frisch (a cura di), E. Salzano (introduzione), *L'Aquila. Non si uccide così anche una città?*, CLEAN, Napoli, 2009, pp. 10-25.

### 6.2.1 Cenni Storici

Nell'aquilano sono noti due edifici religiosi con pianta centrale a croce greca: la Madonna di Pettino e il San Paolo di Barete<sup>608</sup>, quest'ultimo sito nel centro storico del capoluogo. I due edifici presentano una diversa interpretazione dello spazio cruciforme, infatti, nella chiesa di Pettino, diversamente dal San Paolo di Barete, le spigolosità della croce sono state smussate attraverso setti parietali inclinati a 45°, così da esaltare la centralità dell'edificio, ricostruito agli inizi del Settecento e quindi influenzato dagli echi del Barocco. Nelle vicinanze sono presenti poche altre chiese a pianta centrale, come l'omonima Santa Maria delle Grazie a Scanno<sup>609</sup>, in provincia dell'Aquila, che si distingue per l'impianto ottagonale del corpo centrale.

La tipologia adottata a Pettino lascia presupporre che, come la chiesa di Scanno, l'edificio fosse destinato a essere chiuso da una cupola, evidentemente mai realizzata. L'odierna chiesa presenta un'articolata copertura poligonale. La chiesa di Pettino è l'edificio emergente dell'aggregato, composto di più unità, edificate, forse, in epoche successive. Una stampa di fine Ottocento<sup>610</sup>, ad esempio, testimonia già la presenza, in quel periodo, dell'attuale canonica con le torri angolari.

La chiesa fu costruita nel luogo in cui esisteva una piccola cappella, fatta realizzare sul finire del XVI secolo dalle famiglie Alferi-Ossorio, baroni di Arischia e Pizzoli. Nel 1703, a causa di un violento terremoto, l'edificio fu completamente distrutto, ad eccezione del muro Nord-Ovest, dove era collocato l'affresco della Vergine col Bambino del 1697. L'opera, particolarmente significativa ai suoi devoti per i miracoli operati, fu staccata dalla parete e nel 1730 fu riposizionata sul lato occidentale della nuova chiesa, anche se i lavori di ricostruzione proprio in quell'anno furono interrotti. In pieno Ottocento, dopo varie cessioni e cambi di proprietà, furono ripresi i lavori di ricostruzione: saranno completate le decorazioni a stucco, che le conferiranno un definitivo stile neo-classico.

L'edificio religioso fu sottoposto a un primo intervento di restauro già negli anni Trenta del Novecento. Altri interventi furono compiuti nel decennio 1945-1955: in particolare, è stata rifatta la copertura ed è stata realizzata l'attuale casa canonica nei due locali, donati più di un secolo prima da Raimondo Alferi. Negli anni successivi sono stati inseriti anche l'altare di marmo e il nuovo tabernacolo. In seguito, sono stati costruiti l'edificio scolastico e il doposcuola, mentre i locali della canonica sono stati trasformati in asilo. Con i lavori successivi sono stati realizzati: la nuova pavimentazione, la ritinteggiatura delle pareti e la sistemazione di quattro statue di santi, tuttora presenti, all'interno delle nicchie parietali.

A distanza di circa un trentennio dai primi lavori, Santa Maria delle Grazie era ancora un cantiere aperto: sono state rifatte le decorazioni in stucco con foglia d'oro; sono stati compiuti altri interventi restaurativi per la copertura; è stato realizzato l'impianto termico della chiesa e dell'asilo. La maggior parte di questi lavori saranno nuovamente ripetuti quarant'anni dopo, accanto alla realizzazione dei nuovi infissi e di un moderno impianto elettrico per la chiesa e per i locali adiacenti.

Nonostante gli interventi ripetuti negli anni, il sisma del 2009, come evidenziato, ha provocato gravi danni. I lavori effettuati hanno interessato soprattutto gli elementi di finitura della chiesa, l'impiantistica e le coperture, ma soltanto dopo l'evento sismico, l'attenzione è stata rivolta alle caratteristiche costruttive e strutturali del manufatto e alla qualità della muratura: aspetti decisivi per la sicurezza e la conservazione nel tempo dell'edificio religioso.

<sup>608</sup> O. Antonini, *Chiese dell'Aquila: architettura religiosa e struttura urbana*, Carsa, Pescara, 2004, p. 85.

<sup>609</sup> A. Di Nucci, *L'arte di Costruire in Abruzzo: tecniche murarie nel territorio della Diocesi di Valva e Sulmona*, Gangemi, Roma, 2009, p. 75.

<sup>610</sup> Il Cenacolo S.r.l., *op. cit.*, p. 1.



## 6.2.2 Il Rilievo Geometrico

Sulla base del rilievo eseguito dal "Cenalo S.r.l." abbiamo realizzato un modello 3D, per ricostruire virtualmente le geometrie dell'aggregato e rappresentare le volumetrie in 2D.

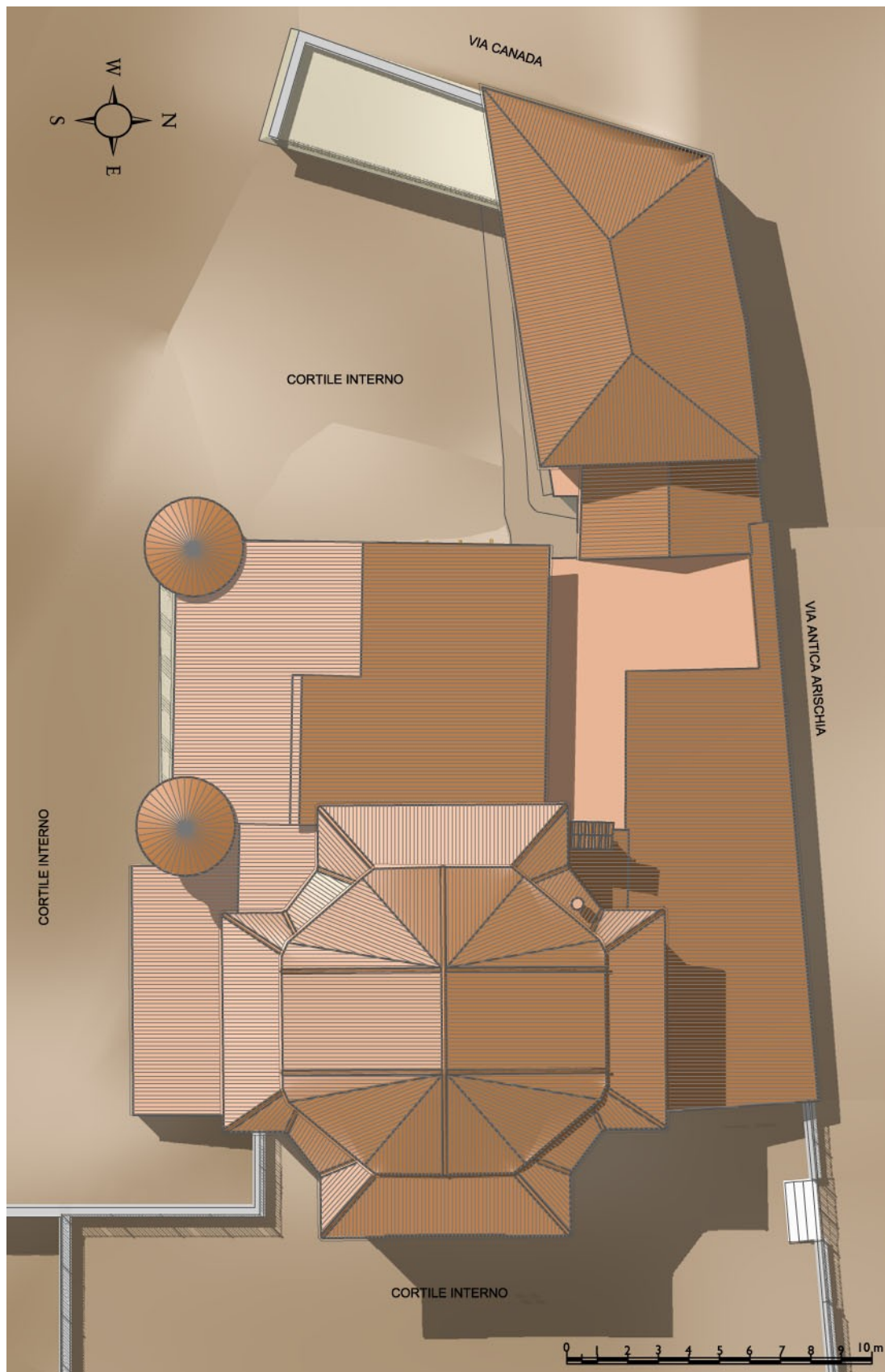


Fig. 6.6 Planivolumetrico (Rilievo: Il Cenacolo S.r.l.)

L'area in esame è caratterizzata da un dislivello maggiore di 4 m fra Via Antica Arischia e il cortile interno del lato a Sud. Probabilmente la conformazione dell'aggregato deriva proprio dalle differenze di quota del suolo: gli edifici sono stati edificati intorno al corpo centrale della chiesa (unità A, in Fig 6.7), elemento di rilievo architettonico dell'area. Nei seguenti prospetti dei fronti stradali è stato evidenziato il quadro fessurativo della chiesa.

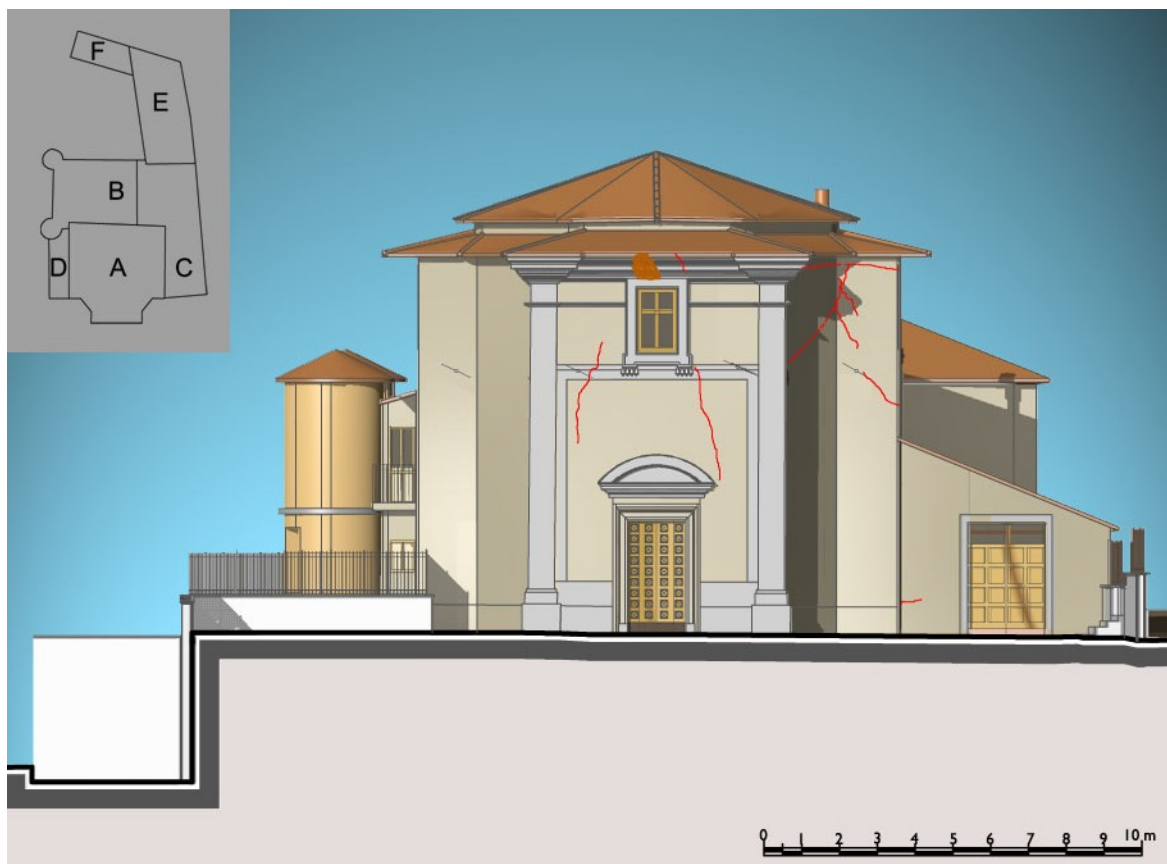


Fig. 6.7 Sezione stradale del lato Est: l'ingresso della chiesa (Rilievo: Il Cenacolo S.r.l.)



Fig. 6.8 Ricostruzione virtuale: vista prospettica del fronte d'ingresso (Rilievo: Il Cenacolo S.r.l.)



Le modanature della chiesa, che decorano il fronte d'ingresso, sono state realizzate in pietra squadrata, mentre tutte le facciate sono intonacate. Sul lato Nord si evidenzia la veletta campanaria (Fig. 6.9, 6.11, 6.12), crollata a causa del terremoto.

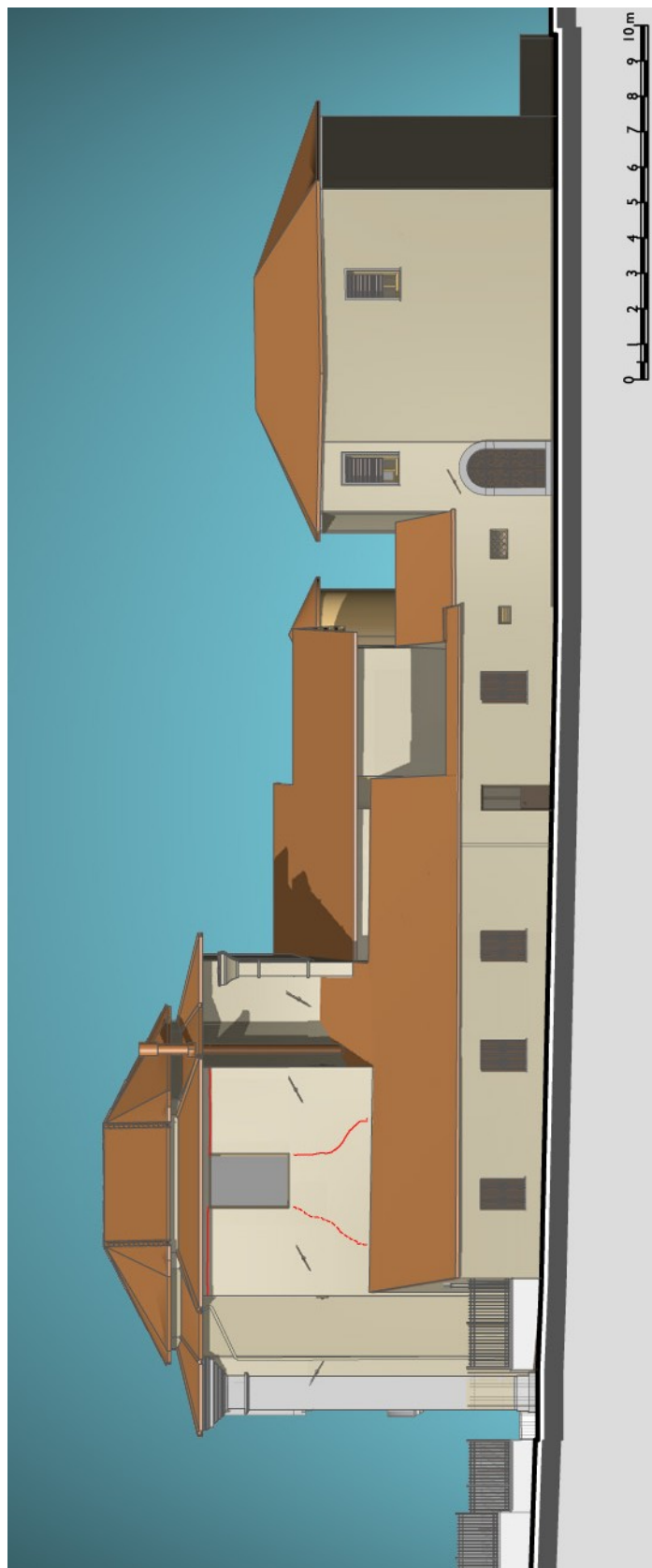


Fig. 6.9 Sezione stradale del lato Nord (Rilievo: Il Cenacolo S.r.l.)

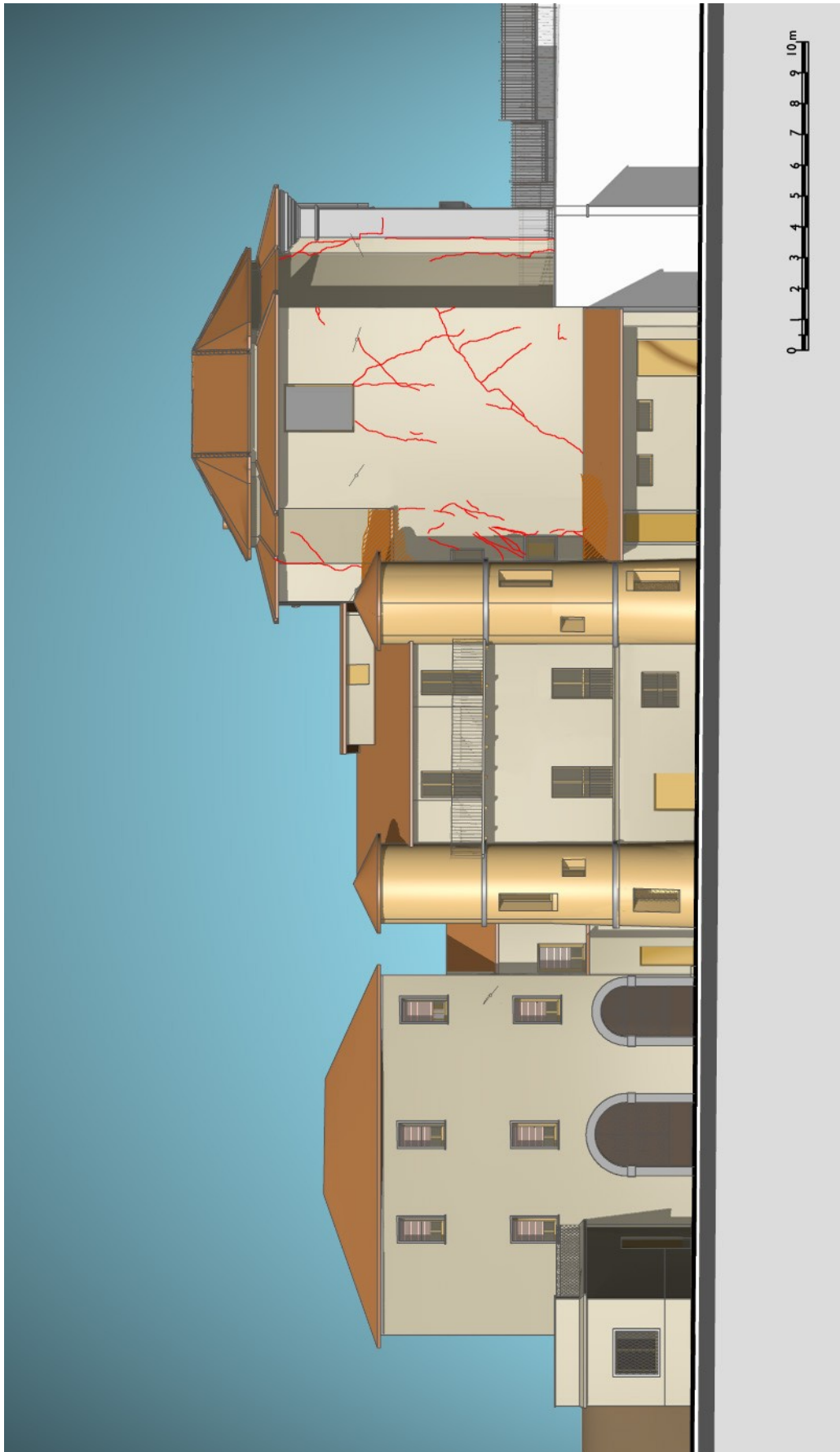


Fig. 6.10 Sezione stradale del lato Sud (Rilievo: Il Cenacolo S.r.l.)



**Fig. 6.11 Ricostruzione virtuale: vista prospettica da Via Antica Arischia (Rilievo: Il Cenacolo S.r.l.)**



**Fig. 6.12 Ricostruzione virtuale: vista prospettica dal cortile interno (Rilievo: Il Cenacolo S.r.l.)**

Il lato Sud, prospettante verso il cortile interno, risulta essere maggiormente lesionato. La parete della chiesa, su questo fronte, raggiunge l'altezza massima di 14,15 m. L'edificio, inoltre, proprio sui lati Est e Sud non è vincolato dalla presenza di altre volumetrie.

### 6.2.3 L'indagine Diagnostica

Santa Maria delle Grazie è stata sottoposta ad alcune indagini per la caratterizzazione meccanica e compositiva della muratura, eseguite dal "Cenacolo S.r.l.", che sono

servite anche a ripercorrere la storia costruttiva dell'edificio. Le indagini<sup>611</sup>, di seguito richiamate, hanno interessato più punti della chiesa; queste comprendono:

- quattro pozzetti di ispezione della struttura superficiale delle fondazioni;
- sette stonacature per il riconoscimento superficiale delle apparecchiature murarie;
- sei esami endoscopici per individuare la composizione interna delle murature;
- due carotaggi per l'osservazione diretta dei materiali costituenti la muratura;
- tre tomografie soniche per la caratterizzazione indiretta delle strutture in elevazione;
- sei prove con martinetti piatti singoli e otto prove con quelli doppi per la valutazione degli stati tensionali e delle caratteristiche meccaniche delle murature;
- analisi di laboratorio di tre campioni prelevati per la caratterizzazione composizionale microscopica di pietre e malte.

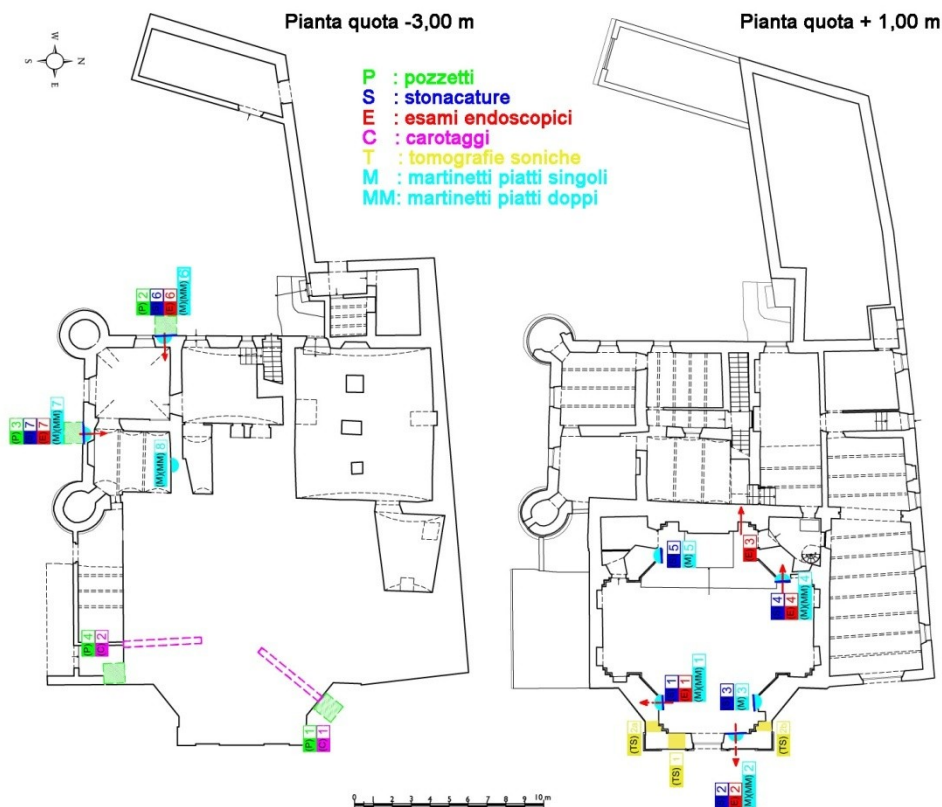


Fig. 6.13 Schema delle prove diagnostiche: ubicazione (Rilievo, piante e dati: Il Cenacolo S.r.l.)

Le fondazioni della chiesa, in base alle osservazioni risultanti dal primo pozzetto, sono costituite della stessa muratura riscontrata al di sopra del piano di calpestio. Il primo pozzetto è stato eseguito nell'ambiente ipogeo, accessibile attraverso una botola presente proprio sul lato destro dell'ingresso principale. Con il primo pozzetto è stata raggiunta la profondità di 3,20 m; è stata evidenziata una muratura omogenea in pietra calcarea, con elementi di forma e dimensioni variabili, che si allarga di cinque centimetri alla profondità di 1,30 m dal piano di calpestio. L'ambiente ipogeo, che si estende lungo il fronte Est della chiesa, è stato realizzato nel 2002, insieme agli interventi di consolidamento della copertura, per fronteggiare il problema dell'umidità di risalita capillare. Gli altri due pozzetti, eseguiti sul lato Ovest e sul lato Sud, raggiungono una profondità poco superiore al metro. Anche in questo caso, i pozzetti sono serviti a evidenziare la presenza di una muratura in pietra calcarea, con elementi disposti in maniera regolare, talvolta intervallati con laterizi. Dal secondo pozzetto non è stato osservato alcun ringrosso della muratura;

<sup>611</sup> Il Cenacolo S.r.l., *op. cit.*



mentre dal terzo si evince un allargamento di dieci centimetri. Dopo una profondità di 80-100 cm, la muratura poggia su materiale detritico grossolano. Un ultimo pozzetto, realizzato sullo spigolo a sinistra del fronte d'ingresso, dove il piano di calpestio è più basso, evidenzia che il ringrosso della muratura è pari a 25 cm e inizia a 60 cm sul livello del suolo, rivestito da intonaco cementizio, lasciando, quindi, presupporre che in passato il livello di calpestio fosse a una quota maggiore. I materiali costituenti la muratura sono gli stessi già riscontrati, ma, in questo caso, è stato osservato che i ricorsi di malta sono piuttosto ampi.



Fig. 6.14 I quattro pozzetti di ispezione (Fotografie: Il Cenacolo S.r.l.)

Le stonacature eseguite, anche queste, in punti diversi della chiesa, hanno messo a nudo la superficie muraria. In alcuni casi, il paramento è composto di file di laterizi disposti regolarmente e intervallati da giunti di 1 o 1,5 cm di malta. La parete a Ovest e quella a Sud sono invece costituite da una muratura in elementi lapidei di forma e dimensioni irregolari, ma disposti in maniera ordinata, talvolta con ricorsi in laterizio, allettata con ampi strati di malta. Questo tipo di paramento è stato riscontrato anche sulla facciata principale della chiesa, ma, in questo caso, gli elementi in pietra sono disposti in maniera più caotica, allettati sempre con ampi ricorsi di malta.



Fig. 6.15 Le stonacature delle paraste (Fotografie: Il Cenacolo S.r.l.)

Gli esami endoscopici (Fig. 6.16), eseguiti su due paraste della chiesa, hanno evidenziato che il paramento più esterno è costituito da laterizi con ricorsi in malta: in un caso, la profondità della muratura in laterizi arriva a 24 cm, nell'altro caso, è raggiunta la profondità di 60 cm. Internamente, invece, sono state rilevate pietre calcaree biancastre di dimensioni variabili. Le altre endoscopie, effettuate quasi sempre nei punti individuati per l'esecuzione delle prove con i martinetti, hanno mostrato come la muratura, nella maggior parte dei casi, sia costituita da elementi in pietra. La struttura muraria è risultata compatta, dunque, priva di un riempimento interno di altro materiale. E' stato già evidenziato (§ 4.1.5.7) come l'indagine abbia anche permesso di rilevare la presenza di un'intercapedine all'interno di una parte di confine fra la chiesa e l'edificio attiguo.

Sono risultati molto utili anche gli esiti dei carottaggi (Fig 6.17), attraverso i quali è stata confermata la consistenza della muratura. Il primo carotaggio, profondo 160 cm, solo nella parte finale ha evidenziato la presenza di materiale terrigeno sciolto. Sulla base di questi dati, è stato ipotizzato che l'esame abbia interessato una volta di sostegno della pavimentazione della chiesa, anche se non è stato possibile verificare la presenza di altri



ambienti interrati e non accessibili. La seconda carota, lunga 70 cm, ha messo in evidenza una muratura di qualità inferiore rispetto alla prima: in questo caso, la malta è più grossolana, non ben aggregata. La presenza di una malta da iniezione marrone, ha lasciato presupporre, inoltre, che siano stati eseguiti interventi di consolidamento per riempire gli interstizi.

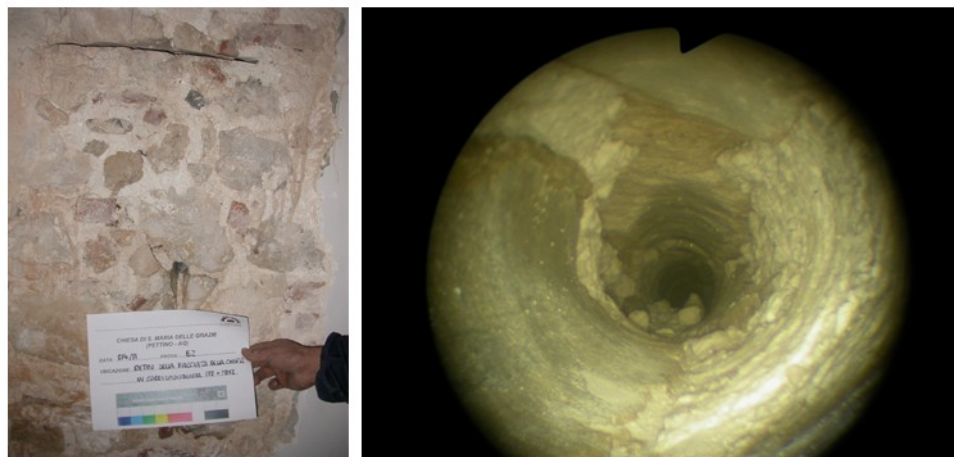


Fig. 6.16 Esame endoscopico 2: parete Est (Fotografie: Il Cenacolo S.r.l.)



Fig. 6.17 Carotaggio 1 a destra dell'ingresso principale (Fotografie: Il Cenacolo S.r.l.)

L'analisi diagnostica prevedeva anche l'esecuzione di tre tomografie, tuttavia, come evidenziato (§ 4.1.5.3), nell'impossibilità di proseguire utilmente la prova in tutte le pareti selezionate, a causa delle lesioni presenti, è stata effettuata, in un solo caso, la misurazione sonica diretta. I valori elevati della deviazione standard hanno indicato che la muratura fosse scarsamente omogenea.

Le prove eseguite con i martinetti piatti singoli (§ 4.1.5.8) prevedevano tre basi di misura distanziate fra loro (Fig. 6.18 (a)), poste a cavallo del taglio; nelle prove con i martinetti piatti doppi, oltre alle tre basi di misura verticali, è stata prevista anche una base di misura orizzontale. I risultati ottenuti nei vari punti hanno evidenziato come le caratteristiche delle murature, all'interno dello stesso edificio siano molto variabili. Ad esempio, lo stato tensionale delle paraste, in due casi, è pari a 0.34 MPa; in un caso,  $\sigma_v$  è di 0.60 MPa; in un altro caso ancora,  $\sigma_v$  vale 1,06 MPa. Anche le caratteristiche di deformabilità sono molto diverse. In particolare, le prove con martinetti piatti doppi eseguite sulle paraste hanno evidenziato che una delle due ha una maggiore resistenza. Tale risultato può essere motivato con la presenza di una piccola irregolarità in quella che ha resistenza minore. Lo stato tensionale, misurato sulla parte interna della facciata d'ingresso, è, invece, più basso ( $\sigma_v = 0.26$  MPa), probabilmente a causa del meccanismo di ribaltamento, innescato dal sisma.

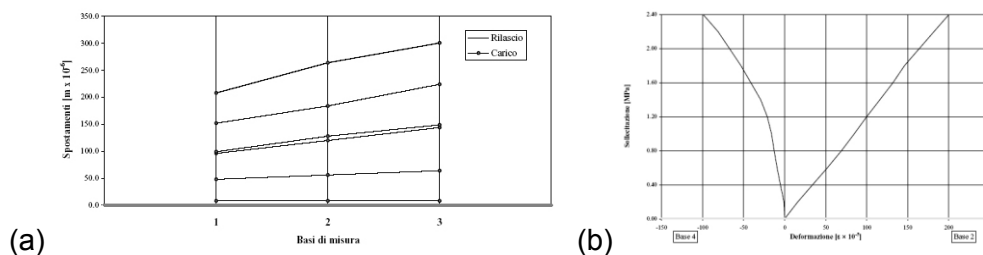


Fig. 6.18 Esame 4: (a) Martinetti piatti singoli, (b) Martinetti piatti doppi (Grafici: Il Cenacolo S.r.l.)

Infine, le analisi di laboratorio sono state eseguite per ottenere la caratterizzazione microscopica dei materiali costituenti le murature. Attraverso la prima sezione sottile di un elemento lapideo naturale biancastro è stata identificata una roccia sedimentaria riferibile a un calcare spatico compatto, con porosità bassa e in buono stato di conservazione. La seconda sezione sottile ha interessato, invece, un frammento di malta biancastro-brunastra di allettamento e un elemento lapideo naturale grigiastro. La malta è composta di un legante di calce e un aggregato di sabbia calcarea biancastra e da una frazione terrigena brunastro-ocracea. La granulometria della sabbia è variabile, così come, la sfericità. Il rapporto legante/aggregato è pari a circa 1/2,5 in volume. La porosità riscontrata è medio-bassa, tali porosità sono spesso ricoperte da una ricristallizzazione di sali, responsabile del cattivo stato di conservazione del materiale. La parte lapidea analizzata, invece, ha permesso di individuare, ancora una volta, un elemento di roccia sedimentaria. Anche la terza sezione sottile è stata eseguita per analizzare una malta di colore biancastro-brunastra di allettamento, gli esiti ottenuti sono stati pressoché analoghi a quelli del precedente campione.

### 6.3 L'APPLICAZIONE DI c-SISMA

La Chiesa di Pettino, in relazione ai danneggiamenti subiti a causa del sisma del 2009, si è dimostrata vulnerabile sia ai ribaltamenti fuori del piano, sia alle lesioni nel piano delle pareti. In particolare, per valutare lo stato della costruzione nei confronti dei meccanismi del primo modo, è stata condotta un'analisi dei meccanismi attivati tramite l'applicazione di c-Sisma (§ 4.2.3). La procedura, infatti, restituisce il calcolo di  $c = a/g$  ossia il coefficiente di attivazione di 20 cinematismi elementari per strisce verticali, svolgendo, inoltre, le verifiche di sicurezza prescritte dalla vigente normativa. A tal fine, sono stati individuati i parametri sismici da assumere e sono di seguito presentati gli esiti delle analisi condotte. Attraverso i risultati ottenuti sono state proposte delle ipotesi d'intervento.

#### 6.3.1 I Parametri Considerati

Dopo il terremoto de L'Aquila sono stati condotti vari studi sugli aspetti geologici e sulla pericolosità sismica del territorio<sup>612</sup>. La microzonazione sismica della conca aquilana è stata effettuata per macroaree: il territorio, diviso in dodici parti, è stato analizzato con le metodologie proprie delle indagini geofisiche, come l'accelerometria e velocimetria, l'analisi dei microtremiti, il metodo ESAC, la prova Down-Holl (DH), la prova mediante dilatometro sismico (SDMT), la prova MASW, le indagini ReMi, la Tomografia di Resistività Elettrica (ERT)<sup>613</sup>. Accanto alle indagini su campo, sono state condotte anche

<sup>612</sup> Gruppo di Lavoro MS-AQ (2010), *Microzonazione sismica per la ricostruzione dell'area aquilana*, Regione Abruzzo – Dipartimento della Protezione Civile, L'Aquila, 3 vol. e Cd-rom, Parte I e II in <[http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Impaginato\\_MCZ\\_2010\\_partel\\_II.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Impaginato_MCZ_2010_partel_II.pdf)>.

<sup>613</sup> *Ibid.*, pp. 93-119.

prove di laboratorio<sup>614</sup>, come la prova di colonna risonante, la prova di torsione ciclica, quella di taglio ciclico. E' stata poi effettuata, attraverso specifici codici di calcolo, l'analisi numerica<sup>615</sup> della risposta sismica locale. Grazie agli studi condotti sono state descritte le principali caratteristiche geotecniche dei terreni per ogni macroarea considerata. Tali risultati possono essere utilmente applicati nella definizione dei parametri sismici.

L'area in cui si colloca la chiesa di Pettino è localizzata nella Macroarea 2 (L'Aquila Ovest: Cansatessa-Pettino-Coppito) che presenta caratteristiche geologiche confrontabili con quelle della Macroarea 1 (L'Aquila centro). Le due aree sono separate dall'autostrada. La Macroarea 2, in particolare, «si estende per circa 20 km<sup>2</sup>, da W a E dalla Scuola della Guardia di Finanza di Coppito a S. Antonio-Pile e, da N a S, dai contrafforti del M. Pettino a quelli di Roio comprendendo trasversalmente per intero la valle del F. Aterno e del suo affluente Raio: corrisponde al bacino in tramontano plio-quadernario dell'Aquila Ovest»<sup>616</sup>. Nelle vicinanze dell'edificio religioso, in Via Francia e in Via Milonia, sono stati eseguiti due dei sondaggi effettuati per individuare la tipologia dei terreni<sup>617</sup>.

I suoli appartenenti alla Macroarea 2 sono risultati fortemente eterogenei<sup>618</sup>. E' stata rilevata la presenza di tutte le frazioni granulometriche, dalle argille alle ghiaie, con prevalenza dei termini a composizione più grossolana. Uno dei dati ottenuti, utile per la scelta della categoria di sottosuolo, è la velocità delle onde di taglio  $V_s$ , che, in base alle indagini condotte (prove Down Hole, MASW e SDMT), è tendenzialmente crescente con la profondità e generalmente compresa tra circa 300-400 m/s e 600 m/s. I valori del modulo di taglio a piccole deformazioni  $G_0$  ricavati da  $V_s$  variano, invece, tra circa 100-200 MPa e 400-500 MPa. Utilizzando gli esiti di tali ricerche e con riferimento alla classificazione delle NTC, si è assunto che la categoria di sottosuolo è la "B"<sup>619</sup>.

La condizione topografica dell'area in esame è stata invece valutata analizzando i dislivelli presenti, ad esempio, fra il livello stradale e il cortile interno sul lato opposto; dato che l'inclinazione massima,  $i$ , è di circa 15°, è possibile assumere la categoria topografica T1.

Anche per i beni culturali è necessario stabilire un livello di sicurezza sismica di riferimento relazionato alle caratteristiche dei manufatti e al loro uso<sup>620</sup>. Per questo, in base alle NTC, le azioni sismiche sulla costruzione sono valutate in funzione di un periodo di riferimento  $V_R$  definito attraverso la vita nominale  $V_N$  dell'edificio e la classe d'uso  $C_U$ . La vita nominale dovrebbe essere *molto lunga*<sup>621</sup> per garantire la conservazione del bene nel tempo nei riguardi di azioni sismiche che hanno un elevato periodo di ritorno, ma ciò renderebbe necessari interventi *troppo invasivi*<sup>622</sup> sul manufatto. Dato che le norme prevedono la possibilità di limitare gli interventi su tali beni ai soli miglioramenti, si farà riferimento a una vita nominale di 50 anni. Per la definizione del coefficiente  $C_U$ , invece, con riferimento alla classificazione effettuata per i beni culturali, si assume la Classe II - *uso frequente con normali affollamenti*<sup>623</sup>. L'edificio religioso, infatti, ha una superficie di circa 100 m<sup>2</sup>: date le sue limitate dimensioni non è prevedibile che la chiesa in esame sia oggetto di *affollamenti significativi*<sup>624</sup>.

<sup>614</sup> *Ibid.*, pp. 120-125.

<sup>615</sup> *Ibid.*, pp. 126-131.

<sup>616</sup> Gruppo di Lavoro MS-AQ (2010), *Microzonazione sismica per la ricostruzione dell'area aquilana*, Regione Abruzzo – Dipartimento della Protezione Civile, L'Aquila, 3 vol. e Cd-rom, Parte III in <[http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Impaginato\\_MCZ\\_2010\\_parte\\_III\\_M1\\_M6.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Impaginato_MCZ_2010_parte_III_M1_M6.pdf)>.

<sup>617</sup> *Ibid.*, pp. 11-14.

<sup>618</sup> *Ibid.*, pp. 67-72.

<sup>619</sup> D. M. 14 gennaio 2008, Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, par. 3.2.2, *Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche*, Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo*.

<sup>620</sup> Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 9 febbraio 2011, «*Linee guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008*» - 2.4 Livelli di sicurezza sismica.

<sup>621</sup> *Ibid.*

<sup>622</sup> *Ibid.*

<sup>623</sup> *Ibid.*

<sup>624</sup> Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, par. 2.4.2 *Classi d'uso*.

Noto il periodo di riferimento  $V_R$ , possono essere condotte le verifiche allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), cui è associata una probabilità di eccedenza del 10% nel periodo di riferimento considerato. Con la verifica allo SLV è garantita non solo l'incolumità delle persone, ma anche la conservazione del manufatto nel tempo. Per i beni culturali le verifiche allo SLD servono, invece, a valutare la perdita di funzionalità del manufatto; infine, per tali beni, nel caso in cui siano presenti anche opere di valore artistico, in alcune parti della costruzione, deve essere tutelato anche lo Stato Limite di danno dei beni Artistici (SLA)<sup>625</sup>, per la cui verifica possono essere adottati gli stessi criteri validi per stabilire l'agibilità dell'edificio, pertanto, è possibile ricorrere, a livello locale, ai modelli di verifica allo Stato Limite di Danno.

Utilizzando l'applicazione *Spettri NTC* del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici<sup>626</sup> si ottengono i parametri necessari per la definizione dell'azione sismica; in particolare, sono stati evidenziati i valori dei parametri riferiti allo Stato Limite di salvaguardia della Vita.

**Tabella 6.1 - Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno SL**

STATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0,079	2,399	0,272
SLD	50	0,104	2,332	0,281
<b>SLV</b>	<b>475</b>	<b>0,261</b>	<b>2,364</b>	<b>0,347</b>
SLC	975	0,334	2,400	0,364

Per la città de L'Aquila (LON. 13,394; LAT. 42,366), i dati di interesse per la definizione dell'azione sismica sono sintetizzati come segue.

Parametri indipendenti	Accelerazione orizzontale massima al sito	$a_g$	0,261 g
	Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale	$F_0$	2,364
	Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale	$T_C^*$	0,347 s
	Categoria di sottosuolo	B	
	Categoria topografica	T1	
	Coefficienti di amplificazione stratigrafica	$S_S$	1,200
	Coefficiente funzione della categoria di sottosuolo	$C_C$	1,360
	Coefficienti di amplificazione topografica	$S_T$	1,000
	Fattore di struttura	$q$	2,25
Parametri dipendenti	Coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche - $S = S_S \cdot S_T$	$S$	1,200
	Periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante - $T_B = T_C / 3$	$T_B$	0,157 s
	Periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a velocità costante - $T_C = C_C \cdot T_C^*$	$T_C$	0,471 s
	Periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante - $T_D = 4,0 \cdot (a_g/g) + 1,6$	$T_D$	2,643 s

<sup>625</sup> Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 9 febbraio 2011, *op. cit.*, - 2.3 *Definizione di stati limite di riferimento per il patrimonio culturale.*

<sup>626</sup> Spettri-NTC ver 1.03. Il documento Excel fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti dell'azione sismica di progetto per il generico sito del territorio nazionale. In <<http://www.cslp.it/cslp/>>.

Alcuni di questi dati e l'altezza dell'edificio devono essere inseriti nella sezione di c-Sisma, dedicata all'*Azione Sismica*. Nella Figura seguente è rappresentata la finestra del software riguardante il Fattore di Confidenza, FC, che è individuato sulla base dei dati conoscitivi disponibili sull'oggetto di studio. Il programma prevede, oltre a un eventuale valore definito dall'utente, anche la possibilità di stimare il Fattore di Confidenza sulla base della tabella delle *Linee Guida per la valutazione del rischio sismico del patrimonio culturale* (§ 4.2.3)<sup>627</sup>. Dato che il livello di conoscenza acquisito è esteso ed esauriente, si assume  $FC = 1$ .

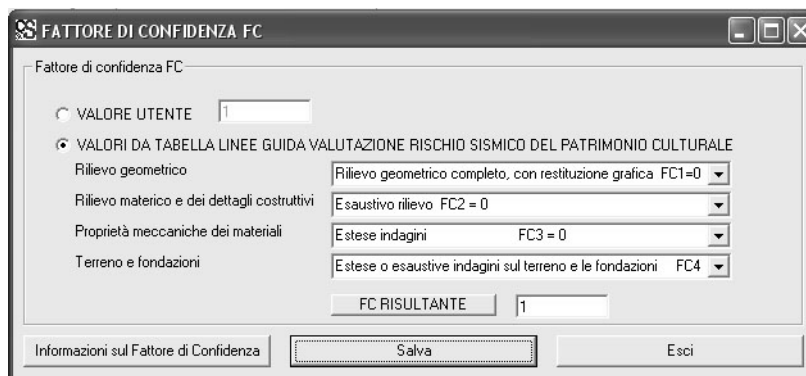


Fig. 6.19 Determinazione del Fattore di Confidenza (Finestra del software c-Sisma)

### 6.3.2 Le Analisi Svolte

Le puntellature realizzate nella parte bassa della facciata d'ingresso rappresentano un'opera provvisoria, prevista per evitare eventuali crolli, dovuti, nel caso in esame, alla flessione verticale (§ 4.2.1). Un analogo spanciamiento è stato riscontrato anche nella parete a Sud. Le puntellature presentano l'inconveniente di essere molto ingombranti e di impedire l'uso dell'edificio e degli spazi aperti a esso adiacenti; l'intervento effettuato non è certo una soluzione risolutiva del problema, essendo solo un sostegno temporaneo. Per individuare un intervento risolutivo sono state preliminarmente valutate le capacità delle pareti interessate dal meccanismo flessionale, in termini di spostamento.

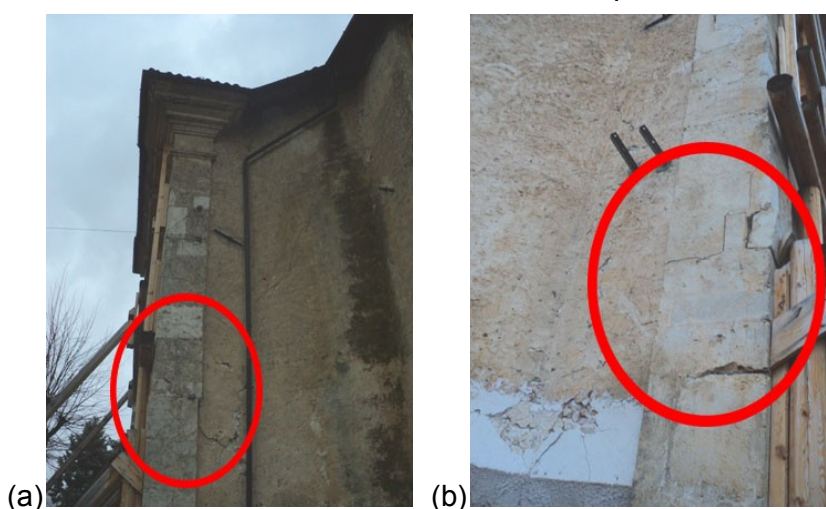


Fig. 6.20 (a) Dettaglio del lato sinistro della facciata Est, (b) Dettaglio del lato destro della facciata Est (Fotografie: Il Cenacolo S.r.l.)

<sup>627</sup> Ministero per i Beni e le Attività Culturali, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, Gangemi Editore, Roma, 2006, pp. 35-36.



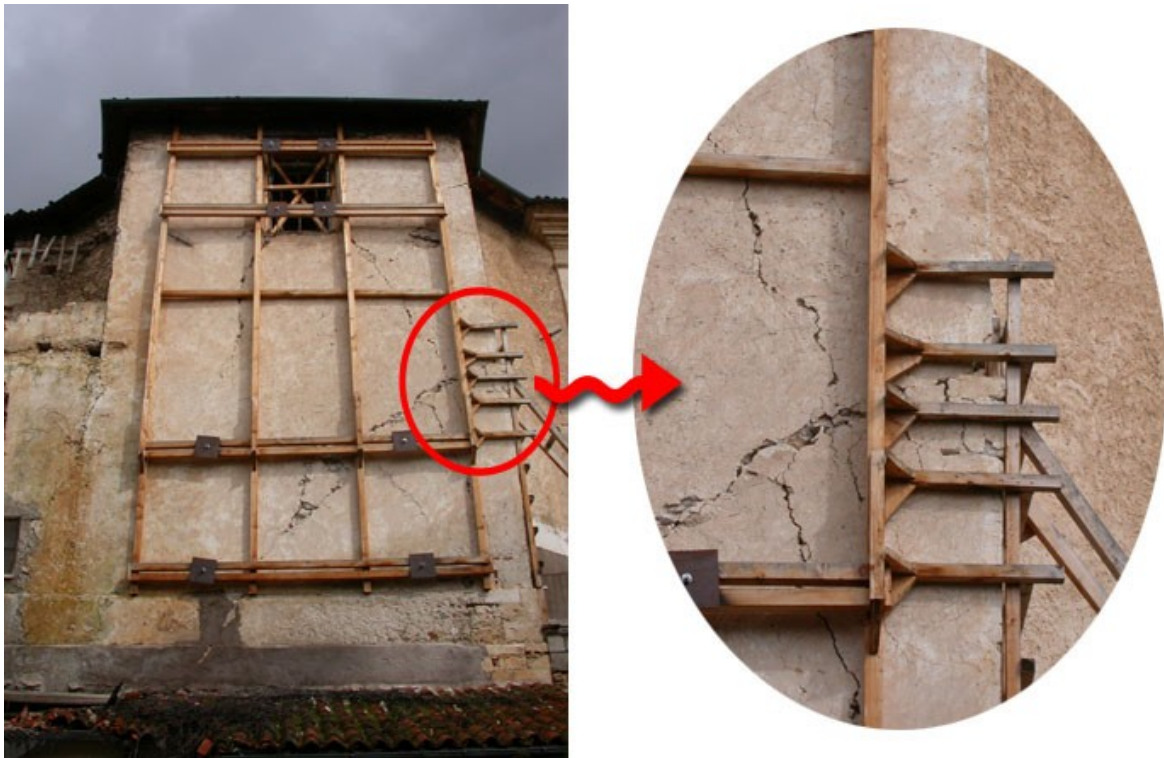


Fig. 6.21 Parete Sud: dettaglio delle opere provvisorie (Fotografie: Il Cenacolo S.r.l.)

Il ribaltamento innescato dal sisma ha coinvolto le uniche due facciate che, diversamente dalle altre pareti, confinanti con le unità dello stesso aggregato, vincolate dalla presenza delle coperture poste a quota inferiore, sono libere di ruotare: in definitiva, queste pareti sono più soggette ai meccanismi del primo modo. La flessione verticale che si è innescata è compatibile con le caratteristiche costruttive dell'edificio, infatti, come testimoniano le ricerche storiche, negli anni sono stati eseguiti diversi interventi di consolidamento della copertura, con la probabile realizzazione dei cordoli, dunque, possiamo ipotizzare che le pareti dell'edificio abbiano un buon ammassamento fra loro e siano ben collegate con la copertura. Con tali considerazioni, l'unica zona delle due facciate, che è libera di ruotare, è proprio quella centrale. Nella parte superiore della chiesa sono state realizzate delle tirantature, che durante il sisma hanno probabilmente ridotto i potenziali danni; nella parte bassa, invece, non sono stati eseguiti interventi per contrastare efficacemente i meccanismi attivabili, inoltre, proprio in questa parte delle pareti sono presenti delle nicchie per l'alloggiamento delle statue, che hanno ridotto localmente lo spessore murario. Per queste ragioni, probabilmente, l'angolo di rotazione del blocco in basso sembra maggiore della parte superiore.

E' stato considerato più cautelativo assumere il caso delle pareti non trattenute dai tiranti, valutando il comportamento dell'edificio nella situazione più sfavorevole. Il cinematismo attivato dal sisma è stato assimilato al meccanismo 1.8 di c-Sisma: *parete 1 piano trattenuta da cordolo ortogonale*. Come evidenzia il *Manuale*<sup>628</sup> del programma, «si considera un'effettiva funzione di contenimento del cordolo (sono presenti dei tiranti ortogonali che vincolano il cordolo oppure il cordolo è presente attorno all'intero edificio con una corona completa) e si suppone perfetto l'ammorsamento esistente tra il cordolo e la muratura sottostante». In tali circostanze, si forma una cerniera cilindrica orizzontale a una certa altezza della parete, i due blocchi murari tendono a ruotare reciprocamente, come indica lo schema seguente.

<sup>628</sup> Università degli Studi di Padova, Facoltà di Ingegneria, Dipartimento di Costruzioni e Trasporti, *Manuale d'uso del Programma c-Sisma 3.0 PRO*, programma di C. Modena, M. R. Valluzzi, M. Zenere, con i contributi di G. Benincà, E. Barbetta, M. Munari, novembre 2009, p. 39.

SCHEMA PIANTA q. + 7.00

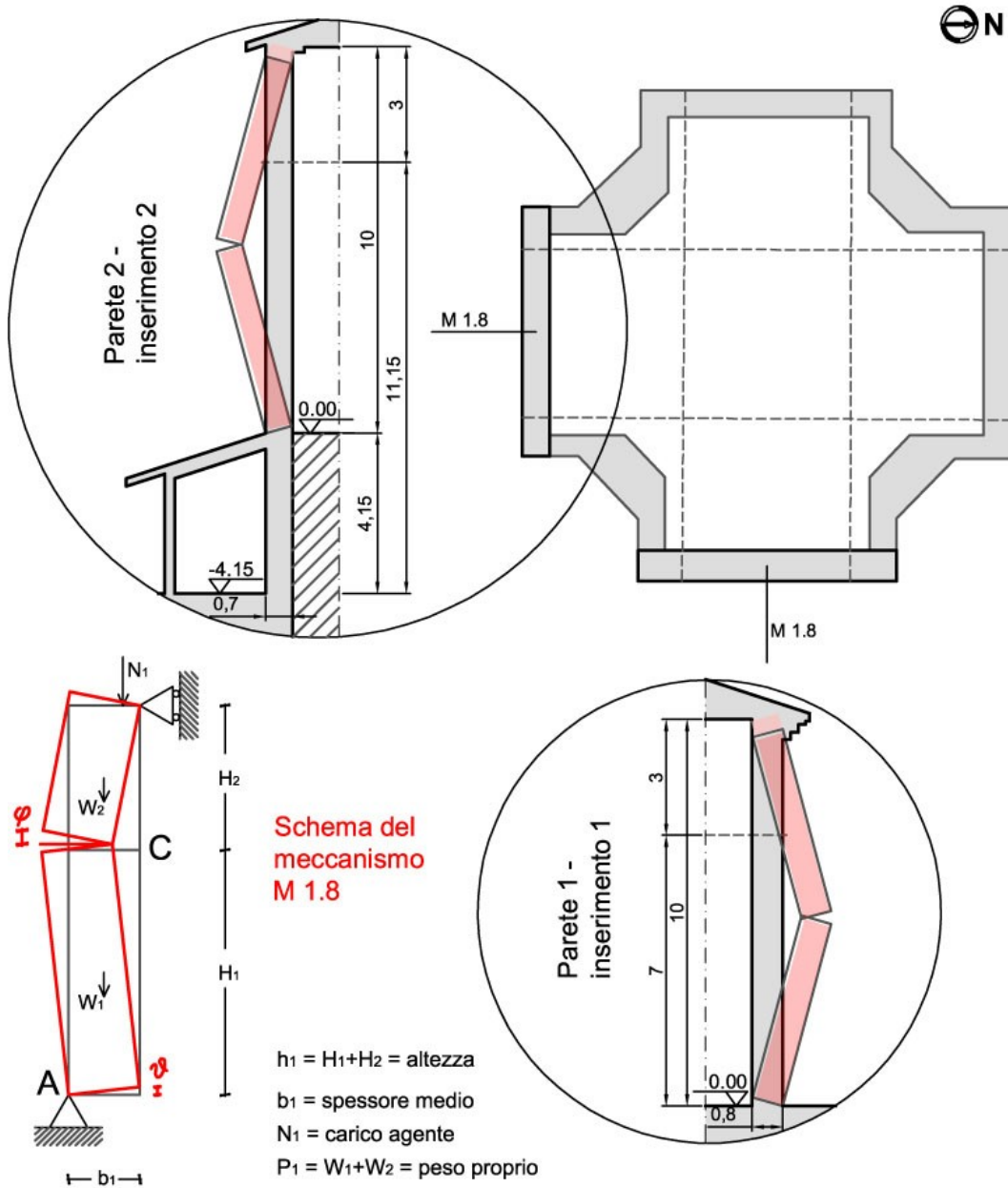


Fig. 6.22 Schema del meccanismo flessionale

In sintesi, le due facciate, investite dall'azione sismica con direzione ortogonale al piano delle pareti, sono soggette a un momento ribaltante, responsabile delle rotazioni dei blocchi murari, contrastato dall'azione del momento stabilizzante, di segno opposto. Il problema può essere affrontato, in alternativa, assegnando una rotazione virtuale al generico blocco k. In questo modo, è possibile determinare in funzione della rotazione considerata e della geometria della struttura, gli spostamenti delle diverse forze applicate nella rispettiva direzione. Applicando il Principio dei Lavori Virtuali, è possibile determinare il valore del moltiplicatore  $\alpha_0$  in termini di spostamenti, uguagliando il lavoro totale eseguito dalle forze esterne e interne applicate al sistema in corrispondenza dell'atto di moto virtuale. Il coefficiente di attivazione c, chiamato  $\alpha_0$  nelle NTC, è calcolato da c-Sisma con la seguente formula, derivante dall'applicazione delle metodologie richiamate:

$$c = \frac{b_1}{H_1} \left[ 2 + \frac{N_1}{P_1} \left( \frac{h_1}{h_1 - H_1} + 1 \right) \right]$$

Il punto in cui si forma la cerniera C non è noto, la sua posizione può essere individuata imponendo la condizione  $\frac{dc}{dH_1} = 0$ :

$$H_1 = \frac{h_1 \sqrt{2 \frac{P_1 + N_1}{N_1}}}{1 + \sqrt{2 \frac{P_1 + N_1}{N_1}}}$$

Applicando quest'ultima formula è stato osservato come le tirantature realizzate prima dell'evento sismico del 2009 siano state poste proprio all'altezza dell'eventuale cerniera.

Noti gli aspetti geometrici delle pareti sono stati compilati i forms dati del software. Oltre ai parametri dimensionali è stata individuata anche la tipologia di muratura. Considerando i risultati delle indagini diagnostiche sono stati assunti i valori forniti dalla Tabella C8A.2.1 della Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 (§ 3.3.1.8 - Tabella 3.10) per *Muratura in pietre a spacco con buona tessitura*. Nell'archivio di c-Sisma è già presente un elenco materiali, pertanto, è stato selezionato il numero che corrisponde ai valori individuati nella tabella citata. Sono stati inseriti in seguito i dati necessari per la combinazione di carico "personalizzata". I carichi permanenti e accidentali (§ 4.1.3), i coefficienti di combinazione  $\psi_{2j}$  (§ 4.2.3), il carico provocato dalla neve, gli effetti dell'azione sismica sono valutati secondo le NTC<sup>629</sup>.

Il programma confronta i valori di  $c$  stimati per ogni parete, individuando, in questo modo, quello minimo. Nel caso della chiesa in esame il valore minore si ottiene per la parete Sud (parete 2 - inserimento2), come lasciava intendere anche l'analisi speditiva dei Vigili del Fuoco, compiuta dopo il terremoto. Le verifiche di sicurezza, secondo normativa, sono svolte proprio per la parete con  $c$  minimo.

Pur non essendo obbligatoria la verifica allo Stato Limite di Danno, il software verifica che l'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo sia superiore a quella di picco della domanda sismica, effettuando i seguenti confronti<sup>630</sup>: il primo riguardante l'elemento isolato; il secondo, svolto in aggiunta al precedente, se il meccanismo locale interessa una porzione della costruzione posta a una certa quota, come nel caso in esame.

- 1)  $a^*_{0} \geq a_g (P_{V_R}) S$
- 2)  $a^*_{0} \geq S_e(T_1) \cdot \psi(Z) \cdot \gamma$

In Figura 6.23 è rappresentato l'esito della verifica condotta, con i riferimenti normativi.

S.L.U.		S.L.D.	
		NTC 2008	
$a_g$			0,104
S			1,2
accelerazione C8A.4.7 [g]			0,1248
accelerazione C8A.4.8 [g]			0,1856
VERIFICATO		SI	

Fig. 6.23 Verifica allo S.L.D.

<sup>629</sup> DM 14 gennaio 2008, Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, par. 2.5.1.3, *Classificazione delle azioni secondo la variazione della loro intensità nel tempo*; par. 2.5.3, *Combinazioni delle azioni*; par. 3.1.3, *Carichi permanenti non strutturali*; par. 3.1.4, *Carichi variabili*; par. 3.2.4, *Combinazione dell'azione sismica con le altre azioni*; par. 3.4, *Azioni della neve*.

<sup>630</sup> Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, par. C8A.4.2.3, *Verifiche di sicurezza*.

Analogamente è svolta anche la verifica allo Stato Limite di salvaguardia della Vita. In questo caso, c-Sisma rende disponibili due tipi di verifiche: la prima si basa su un'analisi cinematica lineare (verifica semplificata con fattore di struttura q), la seconda è effettuata mediante spettro di capacità (analisi cinematica non lineare). Di seguito è presentato l'esito delle verifiche condotte col primo metodo, già descritto (§ 4.2).

S.L.U.		S.L.D.	
		NTC 2008	
ag		0,261	
S		1,153198	
accelerazione C&A. 4.9 [g]		0,1338	
accelerazione C&A. 4.10 [g]		0,2017	
VERIFICATO		SI	

Fig. 6.24 Verifica allo S.L.V. (analisi lineare)

I valori dei parametri ottenuti sono i seguenti:

- Massa partecipante:  $M^* = \frac{(\sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i})^2}{g \sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}^2} = 143,325 \text{ kN};$

- Frazione di massa partecipante al meccanismo:  $e^* = \frac{g M^*}{\sum_{i=1}^{n+m} P_i} = 0,4886;$

- Accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo:  $a_0^* = \frac{\alpha_0 \sum_{i=1}^{n+m} P_i}{M^* F C} = \frac{\alpha_0 g}{e^* F C} = 1,3634 \text{ m/s}^2;$

- Spostamento spettrale dell'oscillatore equivalente:  $d_0^* = d_k \frac{\sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}^2}{\delta_{x,k} \sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}} = 0,2587 \text{ m}.$

Nel caso dell'analisi cinematica non lineare, si valuta l'evoluzione del cinematismo al variare della rotazione  $\theta_k$ . Pertanto, definita la curva, moltiplicatore  $\alpha$  - spostamento  $d_k$ , si passa all'individuazione della curva di capacità dell'oscillatore equivalente, in termini di accelerazione e spostamento spettrali ( $a^*$ ,  $d^*$ ).

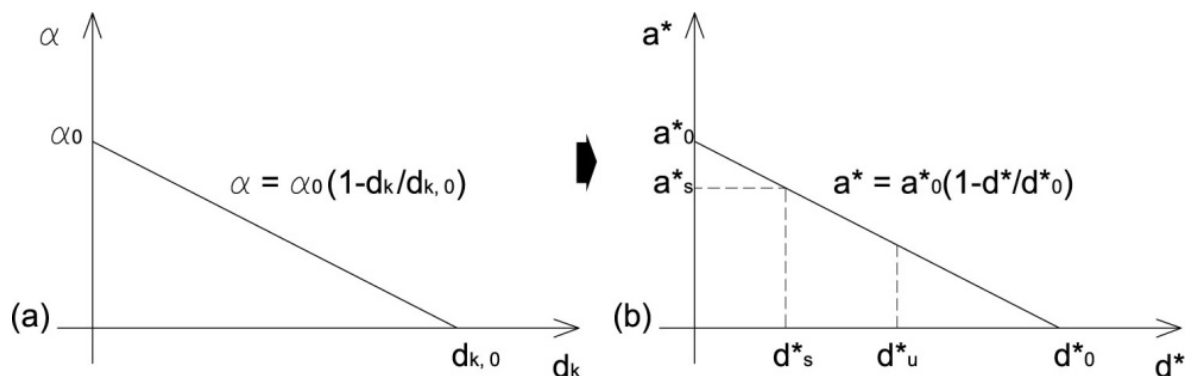


Fig. 6.25 (a) Curva di capacità lineare, (b) Curva di capacità dell'oscillatore equivalente

Dopo aver definito lo spostamento spettrale  $d_u^{*631} = 0.4 \cdot d_0^* = 0,1035 \text{ m}$  (§ 4.2), che rappresenta la capacità di spostamento ultima del sistema, si verifica se la domanda di spostamento richiesta alla struttura in caso di sisma,  $\Delta_d$ , è inferiore alla capacità di spostamento ultima del sistema, per collasso del meccanismo,  $d_u^*$ :  $\Delta_d (T_s) < d_u^*$ . La domanda di spostamento è ottenuta dallo spettro di spostamento in corrispondenza del

<sup>631</sup> Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, par. C&A.4.2.2, Valutazione della curva di capacità (oscillatore equivalente).

periodo secante  $T_s = f(d_s^*, a_s^*)$ ; i valori di  $d_s^*$  e  $a_s^*$  sono individuati sulla curva di capacità:

$$d_s^* = 0.4 \cdot d_u^* = 0,0414 \text{ m}; \quad a_s^* = a_0^*(1 - d_s^*/d_0^*) = 1,1452 \text{ m/s}^2; \quad T_s = 2\pi \sqrt{\frac{d_s^*}{a_s^*}} = 1,1946 \text{ s.}$$

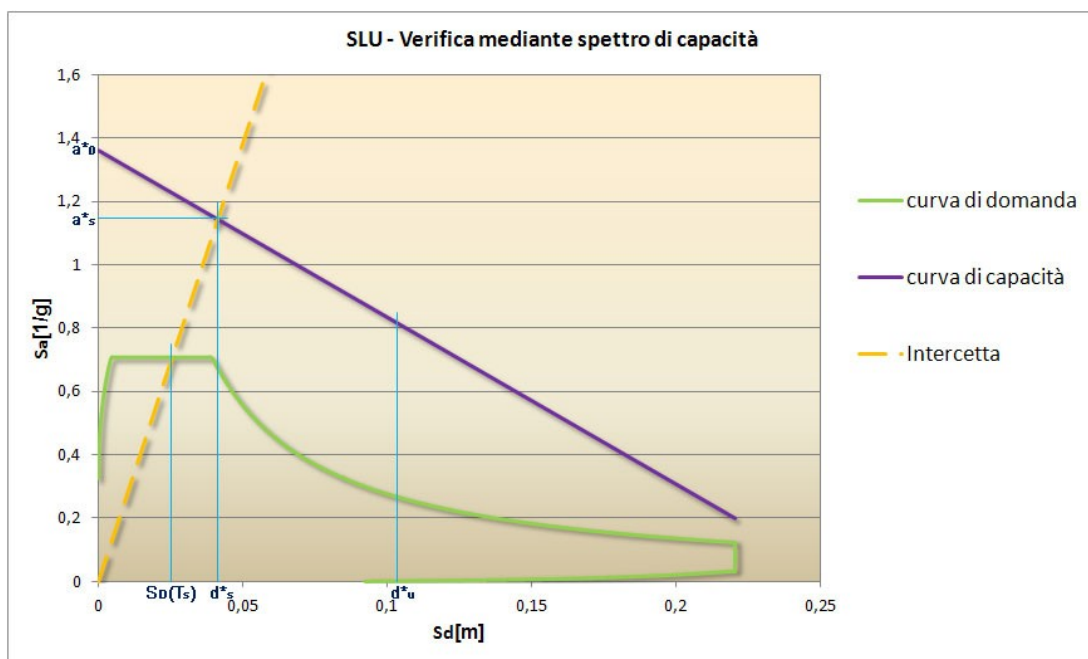


Fig. 6.26 Diagramma ADSR (Acceleration Displacement Response Spectrum)

Nel caso della Chiesa di Pettino, la rotazione finita che annulla il momento stabilizzante, ossia  $\theta$ , è pari a  $4,5837^\circ$ ; la formula C8A.4.11 della circolare richiamata (§ 4.2), è verificata, infatti, la domanda di spostamento ultima  $\Delta_d = 0,0255 \text{ m}$ , mentre la formula C8A.4.12 della stessa circolare, non è verificata, essendo  $\Delta_d = 0,1082 \text{ m}$ .

### 6.3.3 Conclusioni

L'analisi condotta attraverso la verifica dei meccanismi locali, attivati dal terremoto del 2009, può essere utilmente applicata per un livello di valutazione degli interventi di tipo LV2 (riparazione o intervento locale)<sup>632</sup>. In questo modo, possono essere individuati i provvedimenti da realizzare in zone limitate del manufatto, senza alterare il comportamento dell'edificio, secondo le indicazioni delle *Linee guida* dei Beni Culturali già citate. Lo stesso documento considera attendibili gli esiti dei modelli d'analisi locale, giacché l'esperienza fornita dai precedenti terremoti, ha evidenziato che per gli edifici in muratura, il collasso è raggiunto, nella maggior parte dei casi, per perdita dell'equilibrio di porzioni limitate della costruzione, dette macroelementi.

Per i beni culturali non è sempre possibile ottenere le stesse prestazioni di una moderna costruzione nei confronti dell'azione sismica. La scelta degli interventi più opportuni si basa non solo sull'analisi del comportamento strutturale del manufatto, ma si fonda anche su osservazioni qualitative, integrate dalla conoscenza storica e costruttiva dell'oggetto edilizio. Gli interventi di miglioramento, le riparazioni e gli interventi locali, secondo le NTC<sup>633</sup>, hanno l'obiettivo di implementare il livello di sicurezza dell'edificio, prevedendo un livello di protezione non necessariamente pari a quello dell'adeguamento. Per questo, tali

<sup>632</sup> Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 9 febbraio 2011, «Linee guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008» - 2.2 Criteri per la valutazione della sicurezza sismica e dell'efficacia dell'intervento.

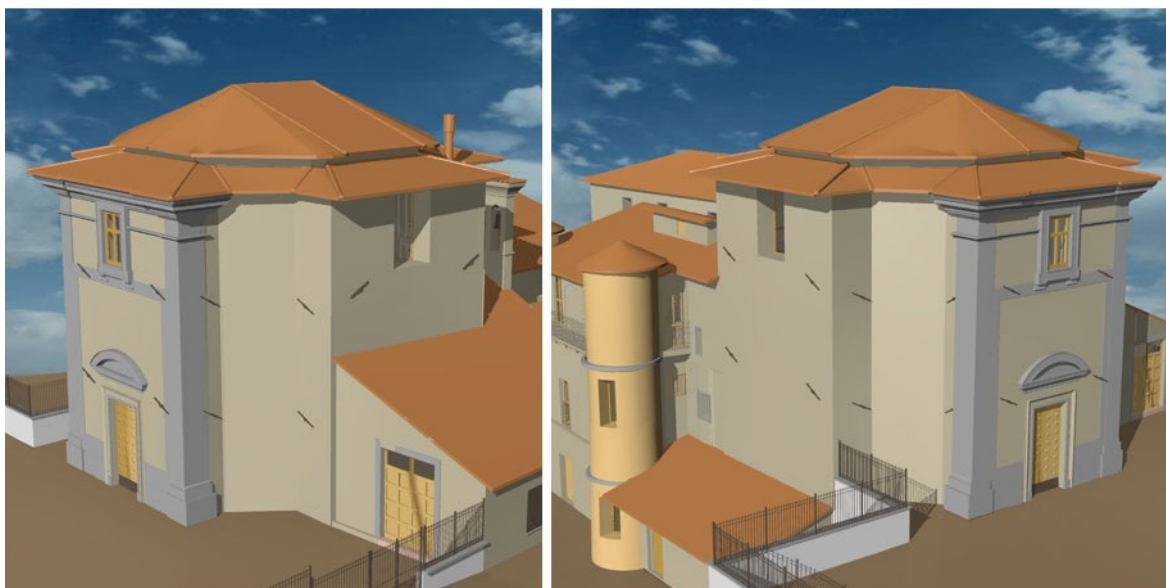
<sup>633</sup> D. M. 14 gennaio 2008, Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, par. 8.4, *Classificazione degli interventi*.



interventi sono spesso progettati e verificati localmente, all'interno di un progetto unitario, in grado di migliorare complessivamente le prestazioni dei fabbricati.

Nel caso della Chiesa di Pettino, lo studio del comportamento strutturale è stato condotto in maniera semplificata, essendo chiari i meccanismi innescati dal sisma in alcune porzioni ben definite dell'edificio ed essendo questi evidenziati dalle lesioni presenti dopo l'evento sismico. I dislivelli dell'area su cui è stato edificato l'intero aggregato e le irregolarità altimetriche della chiesa sono certamente responsabili dei danneggiamenti subiti. Possiamo ipotizzare che se la parete Sud fosse stata posta alla stessa quota di quella Est, l'edificio sarebbe stato meno vulnerabile, dunque, la configurazione in elevazione ha inciso notevolmente sugli esiti delle indagini condotte. Anche in assenza di più approfondite analisi globali, lo studio locale dei cinematismi attivati dal sisma ha evidenziato il comportamento della scatola muraria, che è caratterizzata da pareti alte, non collegate tramite impalcati intermedi, ma ammorsate solo fra loro e collegate con la copertura.

Non è noto il periodo in cui sono state realizzate le tirantature attualmente presenti, per collegare le pareti opposte dell'edificio, né i criteri di progettazione adottati. Tuttavia, dal quadro fessurativo, conseguente al sisma, sembra che i tiranti esistenti non siano riusciti a evitare l'innescò dei fenomeni flessionali, anche se il meccanismo non ha portato al crollo dell'edificio. L'azione dei tiranti ha probabilmente spostato più in basso la formazione delle cerniere nelle due pareti interessate dal cinematismo, alterando dimensionalmente la geometria dei blocchi murari coinvolti nella rotazione. Per questo, l'individuazione dei nuovi interventi deve essere basata sulla verifica dell'azione esplicata dai tiranti già presenti e può prevedere l'eventuale realizzazione di una nuova tirantatura posta a una quota inferiore, in aggiunta a quella esistente, come indicato, ad esempio, nelle viste seguenti.



**Fig. 6.27 Proposta progettuale: le tirantature (Rilievo: Il Cenacolo S.r.l.)**

Una scelta di questo tipo può essere motivata dalla primaria necessità di rispettare il monumento, individuando una soluzione poco invasiva, reversibile e coerente con gli interventi già messi in atto, ma può essere giustificata anche da esigenze pratiche. Le tirantature, infatti, sono di agevole realizzazione e sono riutilizzabili, pertanto, offrono la possibilità di apportare anche altri interventi, individuati in un secondo momento, in relazione all'evoluzione del progresso tecnologico. In assenza di solai intermedi, in grado di legare trasversalmente le pareti, le tirantature rappresentano per l'edificio in esame una buona risposta al problema della deformabilità delle murature che hanno generalmente una scarsa resistenza alle azioni orizzontali, cui sono assimilate quelle sismiche. I tiranti oltre a legare la scatola muraria, sono chiamati ad assorbire le azioni flettenti o taglianti.

Le lesioni diffuse, esibite dall'edificio, inducono a ritenere consigliabile anche un consolidamento complessivo delle murature. Un eventuale intervento di miglioramento può essere affrontato sia ricorrendo a tecniche note, sia progettando soluzioni innovative con l'impiego di materiali sperimentali. Tali interventi non implicano la modifica formale della pianta e della geometria dell'edificio, ma si basano sulla risarciture delle lesioni con i modi usualmente adottati e sul rinforzo delle murature.

I metodi tradizionali<sup>634</sup> per rinforzare le murature lesionate o dissestate, già citati (§ 4.3), prevedono iniezioni di leganti a base di miscele cementizie, iniezioni armate oppure la realizzazione di contromuri armati ammorsati a quelli da rinforzare, in alternativa, possono essere disposte su entrambe le facce del muro reti elettrosaldate spruzzate di miscela cementizia. Tuttavia, dato che tali tecniche sono molto invasive e la loro realizzazione non garantisce la conservazione dei decori interni dell'edificio, si considera l'ipotesi di ricorrere a tecniche alternative.

Accanto ai sistemi tradizionali, infatti, sono ormai ampiamente utilizzati, anche nell'ambito del restauro di edifici esistenti, le cosiddette Fiber Reinforced Plastics o materiali compositi. Questi sono costituiti da due componenti, una matrice e un rinforzo, pertanto, sfruttano le capacità della matrice, che tiene unite le fibre di materiale trasferendo loro i carichi esterni applicati, e le capacità del rinforzo, che sopporta le sollecitazioni agenti sul materiale<sup>635</sup>. I compositi a matrice polimerica (FRP) sono quelli maggiormente impiegati per le proprietà dimostrate, come l'elevata resistenza meccanica nella direzione delle fibre, abbinata alla notevole leggerezza del composito. Le caratteristiche prestazionali del materiale devono essere progettate in maniera personalizzata, infatti, la scelta del tipo di fibra e del tipo di matrice è determinante per raggiungere predefiniti livelli di resistenza. Per applicare al caso di Pettino tale tecnologia occorre, quindi, valutare preliminarmente il tipo di composito più adatto.

In alcune realizzazioni eseguite su edifici in muratura nell'ultimo ventennio sono stati utilizzati, ad esempio, nastri di fibre di carbonio unidirezionali, preimpregnati in resine epossidiche. Un caso applicativo di tale composito è il Duomo di Città di Castello (PG)<sup>636</sup>. In questo caso, l'intervento, eseguito già nel 1997, è stato effettuato per consolidare due cupole in muratura, quella dell'abside e quella del transetto, che risultavano fessurate.



Fig. 6.28 Ipotesi di rinforzo con FRP (Fotografie: Il Cenacolo S.r.l.)

<sup>634</sup> M. L. Scillone, M. Di Segni, *Tecniche antisismiche per il recupero strutturale di fabbricati in muratura tradizionale*, Edizioni Kappa, Roma, 2000, pp. 31-33.

<sup>635</sup> G. Minguzzi, *Fiber reinforced plastics: utilizzo dei materiali compositi a matrice polimerica in edilizia civile*, Alinea, Firenze, 1998.

<sup>636</sup> *Ibid.*, p. 275.

Nella chiesa di Pettino possiamo ipotizzare un'analogia applicazione per i quattro arconi, collocati all'incrocio dei due bracci ortogonali, che presentano lesioni per innesco di meccanismi nel piano degli stessi (Fig. 6.28). Le fasciature possono essere agevolmente applicate alle arcate, essendo i compositi adattabili alle geometrie curve.

Le soluzioni individuate sono guidate soprattutto dal fine della conservazione, dalla ricerca della sostenibilità progettuale e dalla volontà di implementare le performance del sistema rendendo l'edificio più resiliente. Tali argomenti, filo conduttore del percorso intrapreso all'interno del presente lavoro, rappresentano attualmente i principali obiettivi perseguiti nel processo di tutela dei singoli beni monumentali e degli interi centri urbani, organismi vulnerabili, che solo attraverso opportune cure possono continuare a sopravvivere e a tramandare il passato nel futuro.

## BIBLIOGRAFIA

### Introduzione

G. Antista, D. Sutura (a cura di), *Belice 1968-2008: Barocco perduto, Barocco dimenticato*, Caracol, Palermo, 2008.

G. Belli, A. Belluzzi, *Una notte d'estate del 1944*, Edizioni Polistampa, Firenze, 2013.

G. Caporale, *L'Aquila non è Kabul. Cronaca di una tragedia annunciata*, Castelvechi Editore, Roma, 2009.

Carta della conservazione e del restauro degli oggetti d'arte e di cultura, 1987, Quinta parte, Allegato B - Istruzioni per la conservazione, manutenzione e restauro delle opere di interesse architettonico - *Considerazioni preliminari*, in

<[http://www.webalice.it/inforestauo/carta\\_b.htm](http://www.webalice.it/inforestauo/carta_b.htm)>.

M. G. Castellano, S. Infanti, *Sistemi di protezione per la sicurezza delle costruzioni*, in Atti del Convegno Internazionale «Bioarchitettura e ingegneria ambientale - Progetti di sviluppo e mobilità sostenibile per il territorio», Pistoia, 3-5 ottobre 2007, in <[http://www.fipindustriale.it/public/area\\_stamp/pub-it/NT1702.pdf](http://www.fipindustriale.it/public/area_stamp/pub-it/NT1702.pdf)>.

*Disastro di Fukushima Dai-ichi*, in

<[http://it.wikipedia.org/wiki/Disastro\\_di\\_Fukushima\\_Dai-ichi](http://it.wikipedia.org/wiki/Disastro_di_Fukushima_Dai-ichi)>.

M. Forni, M. Indirli, A. Martelli, G. Venturi, F. Armani, M. G. Castellano, R. Medeot, G. Borellini, D. Rinaldis, *Rehabilitation of Cultural Heritage Damaged by the 15<sup>th</sup> October 1996 Earthquake at San Martino in Rio, Reggio Emilia, Italy*, in Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control of Seismic Vibrations of Structures - Proceedings of the International Post-SMiRT Conference Seminar, Taormina, Italia, 25-27 agosto 1997; GLIS, Bologna, 1998, pp. 767-781.

A. Giuffré, *Monumenti e terremoti*, Multigrafica Editrice, Roma, 1988.

A. Giuffré, *Studi e interventi sull'edilizia storica*, in C. Gavarini, A. Giuffré, G. Longhi, *Ingegneria antisismica*, Milano, ESA, 1991, Vol. 2, pp. 203-385.

*I maggiori terremoti nel mondo a partire dal 1000 d. C.*, in

<[http://www.markrage.it/nuova\\_pagina\\_5.htm](http://www.markrage.it/nuova_pagina_5.htm)>.

*Il terremoto del 2003*, in <[http://it.wikipedia.org/wiki/Bam\\_\(Iran\)](http://it.wikipedia.org/wiki/Bam_(Iran))>.

M. Indirli, R. Cami, B. Carpani, C. Algeri, P. Panzeri, G. Rossi, L. Piova, *The antiseismic rehabilitation of Marchesale Castle at San Giuliano di Puglia*, Proc. V International Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions, Possibilities of Numerical and Experimental Techniques (SAHC), New Delhi, India, 6-8 Novembre 2006.

M. Indirli, B. Carpani, M. G. Castellano, P. Clemente, M. Forni, A. Martelli, *L'Applicazione Pilota dei Dispositivi con Lega a Memoria di Forma: il Campanile della Chiesa di S. Giorgio in Trignano*, Proc. 28° Convegno Nazionale AIM "Il Convegno del 2000", 8-10 novembre 2000, Milano, Italia.

M. Indirli, M. G. Castellano, *Shape Memory Alloy devices for the structural improvement of masonry heritage structures*, in «International Journal of Architectural Heritage», Vol. 2, N. 2, 2008, pp. 93-119.

M. Indirli, P. Clemente, B. Carpani, A. Martelli, B. Spadoni, M. G. Castellano, *Research, Development and Application of Advanced Anti-Seismic Techniques for Cultural Heritage in Italy*, Proc. 8<sup>th</sup> World Seminar on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures, Ottobre 2003, Yerevan, Armenia.

M. Indirli, P. Corvaglia, R. Angiuli, L. Lanza, M. Merlin, R. Rizzoni, A. Chiozzi, A. Tralli, S. Briccoli Bati, M. Fagone, *Fibre Reinforced Polymers (FRP) strips in series with Shape*

*Memory Alloy (SMA) wires: theory, application and experimental results of a prototypal anti-seismic device in the framework of the MAMAS project*, 15<sup>th</sup> WCEE, 15th World Conference of Earthquake Engineering, 24-28 Settembre 2012, Lisbona, Portogallo.

A. Martelli, M. Forni, *La protezione degli edifici dal terremoto mediante isolamento sismico e dissipazione d'energia*, in «Energia, Ambiente e Innovazione», 3/2009, pp. 89-106.

M. Indirli, I. A. Kouris, A. Formisano, R. P. Borg, F. M. Mazzolani, *Seismic damage assessment of unreinforced masonry structures after the Abruzzi 2009 earthquake: the case study of the historical centres of L'Aquila and Castelvechio Subequo*, in «International Journal of Architectural Heritage», Vol. 7, N. 5, 2013, pp. 536-578.

M. Indirli, A. Martelli, *Innovative protection of cultural heritage and urban habitats against earthquakes and other natural disasters*, Proc. EACH 2009, Cultural Heritage Congress, Science and Technology, Cairo, Egitto, 2-4 dicembre, 2009.

*La normativa antisismica prima del 2003*, in

<[http://www.camera.it/cartellecomuni/leg4/RapportoAttivitaCommissioni/testi/08/08\\_cap15\\_sch01.htm](http://www.camera.it/cartellecomuni/leg4/RapportoAttivitaCommissioni/testi/08/08_cap15_sch01.htm)>.

*Normativa antisismica*, in

<[http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/leg\\_rischio\\_sismico.wp](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/leg_rischio_sismico.wp)>

R. Pane, *Il restauro dei monumenti*, in «Aretusa», 1/1944, pp. 7-20 e R. Pane, *Restauro dei Monumenti*, in «La ricostruzione del patrimonio artistico italiano», Libreria dello Stato, Roma, 1950, p. 10 cit. in M. P. Sette, *Il restauro in Architettura: quadro storico*, UTET, Torino, 2001.

R. Pane, *Restauro dei Monumenti*, in «La ricostruzione del patrimonio artistico italiano», Libreria dello Stato, Roma, 1950, p. 10 cit. in M. P. Sette, *Il restauro in Architettura: quadro storico*, UTET, Torino, 2001.

R. King Reitherman, *Frank Lloyd Wright's Imperial Hotel: a seismic re-evaluation*, Proceedings 7WCEE (7 World Conference on Earthquake Engineering), 1980, Istanbul, Turkey, vol. 4, pp. 145-152, in

<[http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/7\\_vol4\\_145.pdf](http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/7_vol4_145.pdf)>.

A. Martelli, U. Sonnino, A. Parducci, F. Braga, *Moderni sistemi e tecnologie antisismici. Una guida per il progettista*, 21<sup>mo</sup> Secolo, Milano, 2008.

A. Marzo, G. Marghella, M. Indirli, *The Emilia-Romagna earthquake: damages to precast/prestressed reinforced concrete factories*, in «Ingegneria sismica», Anno XXIX, N. 2-3, 2012, pp. 132-147.

A. Parducci, *Nuove concezioni per il progetto sismico. Una sfida per l'architettura e l'ingegneria*, in «La sfida dell'isolamento sismico», EdA, speciale giugno 2007.

B. B. Pfeiffer, *Frank Lloyd Wright*, Taschen, Köln, 2007.

G. Rocchi, *La basilica di San Francesco ad Assisi: interpretazione e rilievo*, Sansoni, Firenze, 1982;

G. Rocchi, *La basilica di San Francesco ad Assisi: prima, durante e dopo il 1997*, Alinea, Firenze, 2002.

M. P. Sette, *Il restauro in Architettura: quadro storico*, UTET, Torino, 2001.

*Terremoto del Belice 1968*, in

<[http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/terremoto\\_belice.wp.%3Bjsessionid=F80114040B0940BA200466BCC2A60CF4](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/terremoto_belice.wp.%3Bjsessionid=F80114040B0940BA200466BCC2A60CF4)>.

L. Trigilia (a cura di), *1693 Iliade funesta. La ricostruzione delle città del Val di Noto*, Arnaldo Lombardi, Palermo, 1994.



## Capitolo 1

*Android Network* in <<http://www.disaster-resilience.net>>.

G. Amendola (a cura di), *Paure in città. Strategie ed illusioni delle politiche per la sicurezza urbana*, Liguori, Napoli, 2003.

C. Bassi, *Nuova guida di Ferrara*, Italo Bonavolonta editore, Ferrara, 2012.

P. Bertoldi, D. Bornàs Cayuela, S. Monni, R. Piers de Raveschoot, *Linee Guida "Come sviluppare un piano di azione per l'energia sostenibile - PAES"*, Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea, Lussemburgo, 2010.

V. Bettini, *Elementi di ecologia urbana*, Einaudi, Torino, 1996.

*Bologna Iperbole 2020. Uno spazio partecipato per l'agenda digitale* in <<http://iperbole2020.tumblr.com/smartcity>>.

E. Caiaffa (a cura di), *Sistemi Informativi Geografici*, Edizioni ENEA, 2006.

F. Calò, M. Bonano, F. Casu, R. Lanari, M. Manunta, M. Manzo, A. Pepe, G. Zeni, *La tecnica SBAS - DInSAR a supporto della gestione del rischio ambientale in aree urbane: il caso della città di Roma*, in AIT, ENEA, IREA, «Telerilevamento e le Nuove Scienze della Terra», Editore da Enea, 2011.

G. Caniggia, G. L. Maffei, *Composizione architettonica e tipologia edilizia*, vol. 1 - *Lettura dell'edilizia di base*, Marsilio, Venezia, 1995.

S. Capocchin, A. Torre (a cura di), *Recupero edilizio e restauro*, Il sole 24 ore, Milano, 2010.

A. Caragliu, C. Del Bo e P. Nijkamp, *Smart cities in Europe*, III Central European Conference in Regional Science, Amsterdam, 2009.

Carta di Aalborg, Danimarca, 27 maggio 1994.

A. Colucci, *Le città resilienti: approcci e strategie*, Polo Interregionale di Eccellenza Jean Monnet - Università degli Studi di Pavia, Quarto d'Altino (VE), 2012.

A. Colucci, *Towards resilient cities. Comparing approaches/strategies*, in «TeMA», Vol. 5 n. 2 August 2012.

Commission of the European Communities, *A Technology Roadmap*, Brussels, 07 ottobre 2009.

Commission of the European Communities, *Green paper on the urban environment*, Brussels, 27 giugno 1990.

R. Davidsohn, *Storia di Firenze. Le origini*, Edizioni di storia e letteratura, Roma, 2009.

Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment, Stockholm, 1972.

F. el-Dahdah, *Lucio Costa: Brasilia's superquadra*, Prestel, Monaco, 2005.

*European smart cities – Un nuovo strumento scientifico per la valutazione delle città europee di media grandezza*, Conferenza Stampa, Expo Real, Monaco di Baviera, 10 ottobre 2007, <<http://www.smartcities.eu>>.

G. Fera, *Comunità, urbanistica, partecipazione. Materiali per una pianificazione strategica comunitaria*, FrancoAngeli, Milano, 2008.

Ch. Fertner, R. Giffinger, H. Kramar, E. Meijers, *City ranking of European medium-sized cities*, 51<sup>st</sup> IFHP World Congress "Future of Cities", Copenhagen, 2007.

Fondazione per lo sviluppo sostenibile, *Piacenza Smart City 2020*, in <<http://web2.comune.piacenza.it/smartcity>>.

T. Gambatesa, *The urban resilience in historic centres damaged by the earthquake: the case of Emilia Romagna Region (Italy)*, ANDROID Residential Doctoral School, Cyprus 23-24 October 2013, in

<[http://www.disaster-resilience.net/image/Docs/ds1\\_proceedings.pdf](http://www.disaster-resilience.net/image/Docs/ds1_proceedings.pdf)>.

F. Geremei, L. Moretti, A. Marzo, G. Marghella, and M. Indirli, *3D modelling of Arsita town in the framework of the reconstruction*, Proc. CC2013, The 14th Intl. Conf. on Civil, Struct. and Environ. Engineering Computing, Cagliari, Italia, 3-6 settembre 2013.

M. A. Gomarasca, *Elementi di geomatica*, Edizioni Associazione Italiana di Telerilevamento, Galliate Lombardo (VA), 2004.

A. Giuffrè (a cura di), *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso Ortigia*, Editori Laterza, Roma - Bari, 2006.

E. Guidoni, *Il Medioevo: secoli VI-XII*, Laterza, Roma - Bari, 1991.

E. Guidoni, A. Marino, *Il Seicento*, Laterza, Roma - Bari, 1979.

R. G. Hollands, *Will the real smart city please stand up?*, in «City», Vol. 12, N. 3, 2008, pp. 303-320.

C. S. Holling, *Resilience and stability of ecological systems*, in «Annual Review of Ecol. Syst.», no 4, 1973.

R. Hopkins, *The transition handbook. From oil dependency to local resilience*, Green Books Ltd, Devon (UK), 2008.

*Il Patto dei Sindaci* in <[http://www.pattodeisindaci.eu/about/covenant-of-mayors\\_it.html](http://www.pattodeisindaci.eu/about/covenant-of-mayors_it.html)>.

M. Indirli, *Organization of a Geographic Information System (GIS) Database on Natural Hazards and Structural Vulnerability for the Historic Center of San Giuliano Di Puglia (Italy) and the City of Valparaiso (Chile)*, in «International Journal of Architectural Heritage», n. 3, 2009, pp. 276-315.

M. Indirli, *The 6<sup>th</sup> April 2009 L'Aquila Earthquake: from ruins to reconstruction*, Conference organized by Kamra Tal Periti, La Valletta, Malta, 26 aprile - 2 maggio, 2010; Seismicity and Earthquake Engineering, L'Aquila Earthquake of April 2009, Ed. Ruben Paul Borg.

M. Indirli, S. Bruni, F. Geremei, G. Marghella, A. Marzo, L. Moretti, A. Formisano, C. Castaldo, L. Esposito, G. Florio, R. Fonti, E. Spacone, S. Biondi, E. Miccadei, I. Vanzì, A. Tralli, C. Vaccaro, T. Gambatesa, *The reconstruction plan of the town of Arsita after the 2009 Abruzzo (Italy) seismic event*, Proc. SAHC 2014 – 9<sup>th</sup> International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, Mexico City, Messico, 14–17 Ottobre 2014.

M. Indirli, B. Carpani, G. Marghella, A. Marzo, T. Gambatesa, *Terremoti e patrimonio culturale: l'evento sismico del 2012 in Emilia-Romagna*, Proc. XV Convegno ANIDIS (Associazione Nazionale Italiana di Ingegneria Sismica), Padova, 40 giugno - 4 luglio, 2013.

M. Indirli, P. Clemente, B. Spadoni, *The Reconstruction of San Giuliano di Puglia after the October 31<sup>st</sup> 2002 Earthquake*, Proc. 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada, 1-6 agosto 2004.

M. Indirli, S. Knezic, R. P. Borg, Y. Kaluarachchi, B. Ranguelov, F. Romagnoli, C. Rochas, *The ANDROID case study, Venice and its territory: a general overview*, 4th International Conference on Building Resilience, Building Resilience 2014, 8-10 Settembre 2014, Salford Quays, United Kingdom, *ScienceDirect, Procedia Economics and Finance*, in <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>.

International Conference: *Multi-Hazard Mitigation: A challenge for Sustainability and Safety* in

<<http://www.laboratoriricostruzione-er.it/>>.

- IUCN-UNEP-WWF, *World Conservation Strategy. Living Resource Conservation for Sustainable Development*, 1980.
- P. Jodidio, *Niemeyer*, Taschen, Köln, 2012
- La cittadinanza virtuale di Venezia* in  
<[http://www.myvenice.org/cittadinanza\\_virtuale.html](http://www.myvenice.org/cittadinanza_virtuale.html)>.
- Laboratori territoriali* in  
<[http://www.comune.roma.it/wps/portal/pcr?jp\\_pagecode=dip\\_pol\\_riq\\_per\\_lab.wp&ahew=jp\\_pagecode](http://www.comune.roma.it/wps/portal/pcr?jp_pagecode=dip_pol_riq_per_lab.wp&ahew=jp_pagecode)>.
- M. Liberti, *La crisi energetica del 1973. In lotta per il petrolio*, in  
<[http://www.instoria.it/home/Crisi\\_energetica\\_73.htm](http://www.instoria.it/home/Crisi_energetica_73.htm)>.
- K. Lynch, *A Theory of good city form*, MIT Press, Cambridge, 1981.
- P. Marconi, *Materia e significato: la questione del restauro architettonico*, Laterza, Roma, 2003.
- Ministero dell'Ambiente, *Piano Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile*, approvato dal CIPE il 28 dicembre 1993.
- G. Longhi, *Linee guida per una progettazione sostenibile*, Officina Edizioni, Roma, 2003.
- G. Marghella, B. Carpani, S. Bruni, M. Indirli, *2B\_01\_e, Valutazioni tipologie murarie e quadro fessurativo* in  
<<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.
- G. Martinotti (a cura di), *La dimensione metropolitana: sviluppo e governo della nuova città*, Il mulino, Bologna, 1999.
- L. Mumford, *La città nella storia*, Bompiani, Milano, 2002, Vol. 2.
- L. Mumford, *La cultura della città*, Edizioni di Comunità, Torino, 1999.
- F. Pannunzio (a cura di), *Il piano di mitigazione degli effetti del sisma a scala comunale: sperimentazione operativa sul comune di Benevento*, in A. N. I. SPE. R., *Interventi post-sismici sul patrimonio storico-architettonico*, BetaGamma editrice, Viterbo, 1991.
- G. F. Panza (a cura di), A. Peresan (con il contributo di), *Previsione dei terremoti e scenari deterministici del moto del suolo*, in M. Dolce, A. Martelli, G. Panza, *Proteggersi dal terremoto: le moderne tecnologie e metodologie e la nuova normativa sismica, 21<sup>mo</sup> SECOLO*, Milano, 2005.
- M. Pelling, *The vulnerabilities of cities. Natural disaster and social resilience*, Earthscan, Londra (UK), 2003.
- Piano di ricostruzione di Arsita* in <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it>>.
- F. Purini, R. Albiero, V. Tronchin, *Città e luoghi: materiali per la "Città rimossa"*, Gangemi, Roma, 2004.
- Report of the United Nations Conference on environment and development*, Rio de Janeiro, 3-14 June 1992.
- Research Prospectus. A Resilience Alliance Initiative for Transitioning Urban Systems towards Sustainable Futures* in  
<[http://www.resalliance.org/files/1172764197\\_urbanresilienceresearchprospectusv7feb07.pdf](http://www.resalliance.org/files/1172764197_urbanresilienceresearchprospectusv7feb07.pdf)>.
- R. Rimondi, *Ferrara: la nuova guida*, Cirelli e Zanirato Editore, Ferrara, 2011.
- E. Salzano, *Fondamenti di urbanistica*, Laterza, Roma, 2010.
- B. Sanyal, L. J. Vale, C. D. Rosan, *Planning ideas that matter: livability, territoriality, governance and reflective practice*, MIT Press, Cambridge-London, 2012.
- P. Sica, *Il Novecento*, Laterza, Roma - Bari, 1991.

- P. Sica, *Il Settecento*, Laterza, Roma - Bari, 1979.
- P. Sica, *L'Ottocento*, Laterza, Roma - Bari, 1992.
- G. Simoncini, *Città e società nel Rinascimento*, Einaudi, Torino, 1974.
- Second United Nations Conference on Human Settlements (Habitat II), *The Habitat Agenda Goals and Principles, Commitments and the Global Plan of Action*, Istanbul, 1996.
- Smart City Exhibition 2013* in <<http://www.smartcityexhibition.it/>>.
- A. G. Tansley, *The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms* in «Ecology», Vol. 16, N 3, 1935.
- Technology Roadmap* in  
<<http://setis.ec.europa.eu/set-plan-implementation/technology-roadmaps>>.
- The Aalborg Commitments, *Agenda 21 Locale*, 2004.
- Torino Smart City* in <<http://torinosmartcity.csi.it/>>.
- Unione Europea, Libro Verde, 1990.
- Unione Europea, Protocollo di Kyoto della Convenzione sui Cambiamenti Climatici, 1998.
- UNISDR, The United Nation Office for Disaster Risk Reduction, *How to Make Cities More Resilient*, United Nations, Geneva, 2012, p. 10, in <<http://www.unisdr.org/files>>.
- UNU/IAS Report, *Defining an Ecosystem Approach to Urban Management and Policy Development*, Peter J. Marcotullio and Grant Boyle, Jingumae, Shibuya-ku, Tokyo, 2003.
- Urban Center Metropolitano* in <<http://www.urbancenter.to.it/>>.
- H. van Bohemen, *Ecosystem Thinking: Ecological Principles for Buildings, Roads and Industrial and Urban Areas* in E. van Bueren, H. van Bohemen, L. Itard, H. Visscher, *Sustainable Urban Environments: An Ecosystem Approach*, Springer science + Business Media B. V., Dordrecht, 2012.
- Vienna University of Technology, University of Ljubljana, Delft University of Technology, *Smart cities – Ranking of European medium-sized cities*, Centre of Regional Science, Vienna UT, ottobre 2007, <<http://www.smartcities.eu>>.
- D. Watkin, *Storia dell'architettura occidentale*, Zanichelli, Bologna, 2000.
- A. White, *Water and the city. Risk, Resilience and planning for a sustainable future*, Routledge, Abingdon (UK), 2010
- World Commission on Environment and Development, *Our Common Future*, 1987.

## Capitolo 2

- Atti del IV Congresso degli Ingegneri e degli Architetti, 1883.
- G. Barbaro, *Dry ice blasting technology, o criosabbiatura: quando la CO2 diventa una risorsa*, in  
<<http://www.architetturaecosostenibile.it/architettura/criteri-progettuali/dry-ice-blasting>>.
- C. Boito, *I restauri in architettura. Dialogo primo*, tratto da *Restaurare e conservare in Questioni pratiche di belle arti*, Hoepli, Milano, 1893.
- C. Boito, *Il nuovo e l'antico in architettura*, a cura di M. A. Crippa, Jaca Book, Milano, 1989.
- R. Bonelli, *Il restauro architettonico* in «Enciclopedia universale dell'arte», 1963.

- R. Bonelli, *Il restauro come forma di cultura*, in «Architettura e restauro», Venezia, 1959.
- C. Brandi, *Il concetto di restauro. Principi per il restauro dei monumenti* in «Teoria del restauro», Roma, 1963.
- C. Brandi, *Il restauro. Teoria e pratica*, a cura di M. Cordaro, Editori Riuniti, Roma, 1996.
- G. Caniggia, G. L. Maffei, *Composizione architettonica e tipologia edilizia*, vol. 1 - *Lettura dell'edilizia di base*, Marsilio, Venezia, 1995.
- G. Carbonara, *Restauro architettonico: principi e metodo*, m.e. Architectural Book and Review, Roma, 2012.
- G. Carbonara (diretto da), *Trattato di restauro architettonico*, UTET, Torino, 2007, Vol. 1.
- C. Carocci, *Caratteri formali e materiali dei partiti architettonici*, in A. Giuffrè (a cura di), *Sicurezza e conservazione dei centri storici: il caso Ortigia*, Editori Laterza, Roma, 2006.
- U. Casellato, M. Favaro, *La criosabbatura per la pulitura di superfici dell'edilizia storica*, in A. Ferrari, A. P. Vigato, *Spazio tecnologico della ricerca. Ricognizione delle tecnologie per il patrimonio culturale*, Editrice Uni Service, Trento, 2007.
- P. L. Cervellati, *Ripristino, città e campagna* in L. Masetti Bitelli, M. Cuoghi Costantini (a cura di), *Ripristino architettonico: restauro o restaurazione?*, Nardini editore, Fiesole, 1999.
- Comune di Bologna - Ente bolognese manifestazioni artistiche, *Bologna: centro storico, Catalogo per la Mostra «Bologna/Centro Storico»*, Bologna, Palazzo d'Accursio, 1970, Edizioni Alfa, Bologna, 1970.
- A. Corsanego, *Meccanica delle strutture e restauro strutturale* in A. Bellini (a cura di), *Tecniche della conservazione*, Franco Angeli, Milano, 1988.
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008*.
- G. De Angelis d'Ossat, *Danni di guerra e restauro dei monumenti*, in Atti del V Convegno Nazionale di Storia dell'Architettura, Perugia, 1948, in G. De Angelis d'Ossat, *Sul restauro dei monumenti architettonici*, a cura di S. A. Curuni, prefazione di G. Miarelli Mariani, Bonsignori, Roma, 1995.
- G. De Angelis d'Ossat, *Il restauro dei monumenti: provvidenze legislative, esperienze, suggerimenti*, in «Orientamenti dell'Arte Sacra dopo il Vaticano II», Bergamo, 1969, in G. De Angelis d'Ossat, *Sul restauro dei monumenti architettonici*, a cura di S. A. Curuni, prefazione di G. Miarelli Mariani, Bonsignori, Roma, 1995.
- G. De Angelis d'Ossat, *Relazione introduttiva al convegno ICOMOS, "Il restauro in Italia e la Carta di Venezia"*, Napoli - Ravello, 1977, in «Restauro» nn. 33-34, in G. De Angelis d'Ossat, *Sul restauro dei monumenti architettonici*, a cura di S. A. Curuni, prefazione di G. Miarelli Mariani, Bonsignori, Roma, 1995.
- D. M. 21 Luglio 1882 e Circolare 21 Luglio 1882 N. 683 Bis.
- D. M. 14 gennaio 2008, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.
- P. Eisenman, *Il giardino dei passi perduti*, Marsilio, Venezia, 2004.
- G. Fiengo, *Il recupero dell'architettura medioevale nei pensatori francesi del primo Ottocento*, in «Restauro», nn. 47-48, 1980.
- G. Giovannoni, *Vecchie città ed edilizia nuova*, a cura di F. Ventura, Città Studi, Torino, 1995.
- F. Gurrieri, *Dal restauro dei monumenti al restauro del territorio*, Sansoni, Firenze, 1983.
- F. Gurrieri, *Teoria e cultura del restauro dei monumenti e dei centri antichi*, Cooperativa Editrice Universitaria, Firenze, 1977.
- La Dichiarazione di Washington del 1987.
- La Carta di Amsterdam e la Dichiarazione di Amsterdam del 1975.



La Carta di Atene del 1931.

La Carta di Cracovia del 2000.

La Carta C.N.R. del 1987.

La Carta di Firenze del 1981.

La Carta di Machu Picchu del 1978.

La Carta di Noto del 1986.

La Carta del Restauro del 1932.

La Carta del Restauro del 1972.

La Carta di Venezia del 1964.

*L'abbazia di Montecassino*, in <<http://montecassinoabbey.org>>.

*La città fortificata di Carcassonne*, in

<<http://www.france.fr/it/siti-e-monumenti/la-citta-fortificata-di-carcassonne.html>>.

*La criosabbiatura per la pulitura di superfici dell'edilizia storica*, in

<<http://www.cultura-territorio.cnr.it/km/act/act.00181>>.

P. Marconi, *Materia e significato: la questione del restauro*, Laterza, Roma, 2003.

G. Pigafetta, *Saverio Muratori Architetto*, Saggi Marsilio, Venezia, 1990.

A. M. Racheli, *Restauro e Architettura: teoria e critica del restauro architettonico e urbano dal XVIII al XXI secolo*, Gangemi Editore, Roma, 2007.

Regolamento (CE) n. 1907/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 18 dicembre 2006, concernente la registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche (REACH), in

<[http://europa.eu/legislation\\_summaries/internal\\_market/single\\_market\\_for\\_goods/chemical\\_products/l21282\\_it.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/internal_market/single_market_for_goods/chemical_products/l21282_it.htm)>.

Regolamento (CE) n. 1272/2008 CLP - classificazione, etichettatura e imballaggio delle sostanze e delle miscele, in <<https://osha.europa.eu/it/topics/ds/clp-classification-labelling-and-packaging-of-substances-and-mixtures>>.

A. Riegl, *Il culto moderno dei monumenti, il suo carattere e i suoi inizi* (1903), a cura di S. Scardocchia, tr. it. Abscondita, Milano, 2011.

P. Rocchi (a cura di), *Trattato di consolidamento*, Mancosu Editore, Roma, 2003.

J. Ruskin, *Le sette lampade dell'architettura* (1848), con una presentazione di R. Di Stefano, tr. it. Jaca Book, Milano, 2007.

*Salvaguardia e risanamento dei centri storico-artistici*. Dichiarazione finale del "Convegno sulla salvaguardia e il risanamento dei centri storico-artistici", Gubbio, 1960 in «Urbanistica», n. 32, 1960.

E. Salzano, *Fondamenti di urbanistica: la storia e la norma*, GLF editori Laterza, Roma, 2010.

E. Salzano, *Restauro, recupero, riuso: memoria e società*, in L. Masetti Bitelli, M. Cuoghi Costantini (a cura di), *Ripristino architettonico: restauro o restaurazione?*, Nardini editore, Fiesole, 1999.

*Scuderie mediche*, in <<http://www.comune.poggio-a-caiano.po.it/citta/?act=f&fid=728>>.

B. Secchi, *Immagini della città* in A. Bellini (a cura di), «Tecniche della conservazione», FrancoAngeli, Milano, 1988.

M. P. Sette, *Il restauro in Architettura: quadro storico*, UTET, Torino, 2001.

- I. Tagliaventi, *Viollet-Le-Duc e la cultura architettonica dei revivals*, Patron, Bologna, 1976.
- B. P. Torsello (da un'idea di), *Che cos'è il restauro*, Marsilio, Venezia, 2005.
- E. Viollet-Le-Duc, *L'architettura ragionata: estratti dal dizionario (1854-1868)*, saggio introduttivo, commento e apparati di M. A. Crippa, tr. it. Jaca Book, Milano, 2002.
- G. Zucconi, *La città dell'Ottocento*, GLF editori Laterza, Roma, 2001.

### Capitolo 3

- A. Bernardini, S. Giovinazzi, S. Lagomarsino, S. Parodi, *Matrici di probabilità di danno implicite nella scala EMS-98*, Atti del XII Convegno ANIDIS 2007 «L'Ingegneria Sismica in Italia», Pisa, 10 -14 giugno 2007.
- A. Bernardini, S. Giovinazzi, S. Lagomarsino, S. Parodi, *Vulnerabilità e previsione di danno a scala territoriale secondo una metodologia macrosismica coerente con la scala EMS-98*, Atti del XII Convegno ANIDIS 2007 «L'Ingegneria Sismica in Italia», Pisa, 10 -14 giugno 2007.
- C. Boido, *Sviluppi e approfondimenti di un metodo di rilievo: la Norma UNI7310/74 per lo studio di tessuti urbani storici a rischio sismico*, in R. Ientile, M. Naretto, *Patrimonio architettonico e rischio sismico: un percorso tra conoscenza e obiettivi di conservazione*, Celid, Torino, 2013.
- J.J. Bommer, N. A. Abrahamson, *Why do modern probabilistic seismic hazard analyses often lead to increased hazard estimates?*, in «Bulletin of the Seismological Society of America», 9, 2006, pp. 1967-1977.
- A. Borri, A. De Maria, *IMQ Indice di Qualità Muraria, Applicazione nell'ambito delle NTC 2008*, in  
<[http://www.mastrodicasa.com/pubblicazioni/imp%20Borri\\_ED160.pdf](http://www.mastrodicasa.com/pubblicazioni/imp%20Borri_ED160.pdf)>.
- A. Borri, G. Cangi, A. De Maria, C. Donà, *Metodi qualitativi per la valutazione della qualità muraria*, in AA. VV., *Manuale delle murature storiche*, Vol. 1, direttore scientifico A. Borri, a cura di C. Donà, A. De Maria, D.E.I. tipografia del Genio Civile, Roma, 2011.
- W. Belz, K. Gösele, K. Hoffmann, R. Jenisch, R. Pohl, H. Reichert, *Atlante della Muratura*, Utet, Torino, 1998.
- B. Borzi, H. Crowley, R. Pinho, *Simplified pushover-based earthquake loss assessment (SP-BELA) for masonry buildings*, in «International Journal of Architectural Heritage», n. 2, 2008.
- E. Candigliota, F. Immordino, L. Moretti, M. Indirli, D. Abate, G. Furini, S. Pierattini, A. Screpanti, M. Angelini, T. Gambatesa; C. Massaia, A. Formisano, G. Florio, R. Fonti, A. Marzo, *Remote Sensing, Laser Scanner survey and GIS integrated method for assessment and preservation of historic centers: the example of Arsita*, Proceedings 15WCEE (15 World Conference on Earthquake Engineering), 24-28 settembre 2012, Lisbon, Portugal, Paper 2233,  
<[http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012\\_2233.pdf](http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_2233.pdf)>.
- C. F. Carocci, C. Borgia, M. Costa, C. Circo, D. Indelicato, M. Marino, S. Lagomarsino, S. Cattari, F. Cianci, A. Dal Bò, S. Degli Abbatì, D. Ottonelli, C. Romano, M. Rossi, N. Serafino, G. Stagno, G. Cifani, A. Martinelli, A. Castellucci, A. Lemme, M. Liris, F. Martegiani, A. Mazzariello, L. Milano, C. Morisi, D. Petracca, C. Tocci, D. Pittaluga, R. Vecchiatini, *Una metodologia per la conservazione di centri storici danneggiati dal sisma: rilievo costruttivo, indagini ed indicazioni per il recupero di Casentino (AQ)*, Atti del

convegno «Sicurezza e conservazione nel recupero dei beni culturali colpiti da sisma», Venezia, 8-9 aprile 2010.

C. F. Carocci, C. Circo, D. Indelicato, S. Lagomarsino, S. Cattari, G. Stagno, G. Cifani, A. Martinelli, A. Castellucci, A. Lemme, M. Liris, F. Martegiani, A. Mazzariello, L. Milano, C. Morisi, D. Petracca, C. Tocci, *Una metodologia per la conservazione di centri storici gravemente danneggiati dal sisma: la rimozione delle macerie e la messa in sicurezza di Villa Sant'angelo (AQ)*, Atti del convegno «Sicurezza e conservazione nel recupero dei beni culturali colpiti da sisma», Venezia, 8-9 aprile 2010 in

<[http://www.comune.laquila.gov.it/moduli/output\\_immagine.php?id=4038](http://www.comune.laquila.gov.it/moduli/output_immagine.php?id=4038)>.

S. Cattari, E. Curti, A. Galasco, S. Resemini, *Analisi sismica lineare e non lineare degli edifici in muratura*, Sistemi editoriali, Napoli, 2005.

*Che cos'è il rischio?*, in

<[http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/che\\_cose.wp?contentId=APP40344](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/che_cose.wp?contentId=APP40344)>.

G. P. Cimellaro, A. M. Reinhorn, M. Bruneau, *Framework for analytical quantification of disaster resilience*, in «Engineering Structures», 32, 2010, pp. 3639-3649.

G. P. Cimellaro, O. Villa, A. M. Reinhorn, M. Bruneau, H. U. Kim, *Resilience-Based design of Natural Gas Pipelines*,

Proceedings 15WCEE (15 World Conference on Earthquake Engineering), 24-28 settembre 2012, Lisbon, Portugal, in

<[http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012\\_5721.pdf](http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_5721.pdf)>.

G. P. Cimellaro, A. M. Reinhorn, M. Bruneau, *Seismic resilience of a hospital system*, in «Structure and Infrastructure Engineering», Vol. 6, n. 1-2, febbraio - aprile 2010, pp 127-144.

M. Colombi, B. Borzi, H. Crowley, M. Onida, F. Meroni, R. Pinho, *Deriving vulnerability curves using Italian earthquake damage data*, in «Bulletin of Earthquake Engineering», n. 6, 2008.

CNR-GNDT, *Rischio sismico di edifici pubblici. Parte I - aspetti metodologici*, Bologna, 1993.

H. Crowley, B. Borzi, R. Pinho, M. Colombi, M. Onida, *Comparison of Two Mechanics-Based Methods for Simplified Structural Analysis in Vulnerability Assessment*, in «Advances in Civil Engineering», Article ID 438379, 2008.

H. Crowley, R. Pinho, *Using Basic Principles of Mechanics of Materials to Assess the Seismic Risk of Entire Countries*, in «Environmental Semeiotics», Vol. 1, No. 1, 2008.

D. D'Ayala, E. Speranza, *An integrated procedure for the assessment of seismic vulnerability of historic buildings*, 12th European Conference on Earthquake Engineering, Londra, 9 - 13 settembre 2002, in

<[http://home.anadolu.edu.tr/~yguney/cemil\\_historical/Historical\\_Buildings/oct\\_2006/strengthening/ar561D'Ayala.pdf](http://home.anadolu.edu.tr/~yguney/cemil_historical/Historical_Buildings/oct_2006/strengthening/ar561D'Ayala.pdf)>.

L. Decanini, F. Mollaioli, G. F. Panza, F. Romanelli, F. Vaccari, *Probabilistic vs deterministic evaluation of seismic hazard and damage earthquake scenarios: a general problem, particularly relevant for seismic isolation*, Proc. 7<sup>th</sup> International Post-Smirt Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control of Vibration of Structures, Assisi, Italia, 2-5 ottobre, 2001.

Dipartimento della Protezione Civile, *Descrizione del rischio sismico*, in

<[http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/descrizione\\_sismico.wp?pagtab=2](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/descrizione_sismico.wp?pagtab=2)>.

Dipartimento della Protezione Civile, *Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AeDES)*, Roma, 2009.

Dipartimento della Protezione Civile, *Verifiche di agibilità*, in

<[http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/le\\_verifiche\\_di\\_agibilit.wp](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/le_verifiche_di_agibilit.wp)>.

D. lgs. 22 gennaio 2004, n. 42, Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio.

D. M. 14 gennaio 2008, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

D.P.R. 6 giugno 2001 n. 380, «Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia».

FEMA 433, *Using HAZUS-MH for Risk Assessment. How-to Guide*, agosto 2004, 4-1, in <<http://www.fema.gov/pdf>>.

G. Fera, *La città antisismica*, Gangemi, Roma 1991.

G. Fera, F. Cavallaro, E. D'Amore, S. Nicocia, F. Novelli, *Esposizione vulnerabilità e rischio in un comune di grandi dimensioni e con forti presenze funzionali: il caso di Messina*.

S. A. Freeman, *Review of the development of the capacity spectrum method*, in ISET «Journal of Earthquake Technology», Paper No. 438, Vol. 41, No. 1, marzo 2004.

T. Gambatesa, *The urban resilience in historic centres damaged by the earthquake: the case of Emilia Romagna Region (Italy)*, ANDROID Residential Doctoral School, Cyprus 23-24 ottobre 2013, in

<[http://www.disaster-resilience.net/image/Docs/ds1\\_proceedings.pdf](http://www.disaster-resilience.net/image/Docs/ds1_proceedings.pdf)>.

D. Giardini, G. Grünthal, K. M. Shedlock, P. Zhang, *The GSHAP global seismic hazard map*, in «Annali di Geofisica», 42, 1999, pp.1225-1230.

S. Giovinazzi, S. Lagomarsino, S. Pampanin, *Vulnerability Methods and Damage Scenario for Seismic Risk Analysis as Support to Retrofit Strategies: an European Perspective*, 2006 NZSEE Conference, «Remembering Napier 1931 - Building on 75 Years of Earthquake Engineering in NZ», Napier, Nuova Zelanda, 10-12 marzo 2006, in

<<http://www.nzsee.org.nz/db/2006/Paper14.pdf>>.

A. Giuffrè, *Restauro e sicurezza dei centri urbani e degli edifici storici in zona sismica: proposte per una regolamentazione degli interventi*, in A. Giuffrè, *Monumenti e terremoti. Aspetti statici del restauro*, Multigrafica Editrice, Roma, 1988.

Glossario per l'edilizia storica nei trattati dal XV al XIX secolo - CNR-ICR, Roma 1994.

G. Grünthal, *European Macroseismic Scale 1998*, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxembourg, 1998.

I. Iervolino, F. De Luca, E. Chioccarelli, M. Dolce, *L'azione sismica registrata durante il main shock del 6 aprile 2009 a L'Aquila e le prestazioni del DM 14.01.2008 V.1*, Rapporto ReLUIS, 2010.

M. Indirli, *Organization of a Geographic Information System (GIS) Database on Natural Hazards and Structural Vulnerability for the Historic Center of San Giuliano Di Puglia (Italy) and the City of Valparaiso (Chile)*, in «International Journal of Architectural Heritage», n. 3, 2009, pp. 276-315.

M. Indirli, *Overview on risk assessment approaches for natural hazards*, Proc. Workshop of EU Project COST Action C26 Urban Habitat under Catastrophic Events, Praga, Repubblica Ceca, 30-31 marzo, 2007.

M. Indirli, 2B\_01\_f, *Metodologie per la valutazione della vulnerabilità strutturale nel centro storico di Arsita oggetto del piano di ricostruzione*, in

<<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.

- M. Indirli, S. Bruni, F. Geremei, G. Marghella, A. Marzo, L. Moretti, A. Formisano, C. Castaldo, L. Esposito, G. Florio, R. Fonti, E. Spacone, S. Biondi, E. Miccadei, I. Vanzi, A. Tralli, C. Vaccaro, T. Gambatesa, *The reconstruction plan of the town of Arsita after the 2009 Abruzzo (Italy) seismic event*, Proc. SAHC 2014 – 9<sup>th</sup> International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, Mexico City, Messico, 14–17 ottobre 2014.
- M. Indirli, P. Clemente, B. Spadoni, R. Cami, E. Speranza, M. Mucciarella, F. Pistola, *Seismic protection of historical centers using innovative techniques, with focus on San Giuliano di Puglia after the 2002 Molise earthquake*, Proc. Structural analysis of historical construction (SAHC)”, IV International Seminar, Padova, Italia, 10-13 novembre 2004.
- M. Indirli, L. A. Kouris, F. Formisano, R. P. Borg, M. Mazzolani, *Seismic damage assessment of unreinforced masonry structures after the Abruzzo 2009 earthquake: the case study of the historic centres of L’Aquila and Castelvechio Subequo*, in «International Journal of Architectural Heritage», Vol. 7, N. 5, 2013, pp. 536-578.
- M. Indirli, H. Razafindrakoto, F. Romanelli, C. Puglisi, L. Lanzoni, E. Milani, M. Munari, S. Apablaza, *Hazard Evaluation in Valparaíso: the MAR VASTO Project*, in «Pure and Applied Geophysics», 168, 3-4, 2010, 543-582.
- Hazus*, in <<http://www.fema.gov/hazus>>.
- J.U. Klügel, *Error inflation in probabilistic seismic hazard analysis*, in «Engineering Geology», 90, 2007, pp. 186–192.
- J. U. Klügel, L. Mualchin, G. F. Panza, *A scenario-based procedure for seismic risk analysis*, in «Engineering Geology», Vol. 88, 2006, pp. 1-22.
- V. Kossobokov, A. Nekrasova, *Global Seismic Hazard Assessment Program Maps Are Misleading*, poster presentation at the AGU Fall Meeting 2010, U13A-0020.
- S. Lagomarsino, S. Podestà (CD a cura di), *Inventario e vulnerabilità del patrimonio monumentale dei parchi dell’Italia centro-meridionale e meridionale*, Vol. III - Analisi di vulnerabilità e rischio degli edifici monumentali, INGV/GNDT-Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia / Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, L’Aquila, 2005.
- Legge 5 agosto 1978 n. 457.
- Legge 17 febbraio 1992, n. 179, «Norme per l’edilizia residenziale pubblica».
- Legge 27 dicembre 1997, n. 449, «Misure per la stabilizzazione della finanza pubblica».
- Legge 27 dicembre 2013 n. 147.
- Manuale per il rilevamento della vulnerabilità sismica degli edifici. Istruzione per la compilazione della scheda di 2° livello*, giugno 2007.
- A. Masi, L. Chiauuzzi, *Preliminary analyses on the main shock of the Aquilano earthquake occurred on April 06, 2009*, Rapporto ReLUIIS 2009.
- Making Cities Resilient - My City is Getting Ready!* in <[www.unisdr.org/campaign](http://www.unisdr.org/campaign)>.
- E. Miccadei, C. Vaccaro, M. Indirli, 3A\_01\_a1, *Relazione illustrativa - Aspetti geologici, geomorfologici e idrogeologici*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», in <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.
- Ministero per i Beni e le Attività Culturali, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico e del patrimonio culturale*, Gangemi Editore, Roma, 2006.
- Modello ISTAT CP.ED, in
- <[http://www.provincia.bz.it/astat/it/censimento-popolazione/download/CP.ED\\_IT.pdf](http://www.provincia.bz.it/astat/it/censimento-popolazione/download/CP.ED_IT.pdf)> e
- <[http://www.provincia.bz.it/astat/it/censimento-popolazione/download/Anleitungen\\_CP-ED-it.pdf](http://www.provincia.bz.it/astat/it/censimento-popolazione/download/Anleitungen_CP-ED-it.pdf)>.
- P. Mouroux, E. Bertrand, M. Bour, B. Le Brun, S. Depinois, P. Masure, And The Risk-Ue Team, *The European Risk-Ue Project: an Advanced Approach to Earthquake Risk*



- Scenarios*, 13<sup>th</sup> World Conference On Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, 1-6 agosto, 2004, in <[http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13\\_3329.pdf](http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_3329.pdf)>.
- C. Negro, R. Vitaliani, A. Saetta, L. Berto, G. F. Panza, F. Vaccari, A. Martelli, M. Indirli, *Comparison of seismic hazard assessment procedures and equilibrium limit state analysis for the Prigioni statues of Michelangelo*, Proc. SE-50 EEE (Skopje Earthquake 50 Years of European Earthquake Engineering) Conference, Skopje, Former Republic of Macedonia, 29 - 31 maggio 2013.
- G. F. Panza, F. Romanelli, F. Vaccari, *Seismic wave propagation in laterally heterogeneous anelastic media: theory and applications to seismic zonation*, in «Advances in Geophysics», vol. 43, Academic Press, San Diego, 2001, pp. 1–95.
- F. Papa, G. Zuccaro, *MEDEA - Un modello di valutazione della vulnerabilità, del danno e dell'agibilità post-sismica*, in Regione Marche, CNR - ITC, Università degli Studi dell'Aquila, *Repertorio dei meccanismi di danno, delle tecniche di intervento e dei relativi costi negli edifici in muratura*, Tipografia Grafiche Scarponi s.r.l., Osimo (AN), 2007.
- S. Parodi, L. Milano, A. Martinelli, A. Mannella, S. Lagomarsino, A. Bernardini, *Vulnerability and damage assessment of current buildings in Italy: an application to Sulmona town*, The 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, Cina, 12-17 ottobre 2008.
- I. A. Parvez., F. Romanelli, G. F., Panza, *Long period ground motion at bedrock level in Delhi city from Himalayan earthquake scenarios*, in «Pure and Appl. Geophysics», 168, 3-4, 2010, pp. 409-477.
- I. Paskaleva, M. Kouteva, F. Vaccari, G. F. Panza, *Some Contributions of the Neo-Deterministic Seismic Hazard Assessment Approach to the Earthquake Risk Assessment for the City of Sofia*, in «Pure and Appl. Geophysics», 168, 3-4, 2010, pp. 521-541.
- A. Peresan, E. Zuccolo, F. Vaccari, A. Gorshkov, G. F. Panza, *Neodeterministic seismic hazard and pattern recognition techniques: time dependent scenarios for North-Eastern Italy*, in «Pure and Applied Geophysics», 168, 3-4, 2010, pp. 583-607.
- K. A. Porter, A. S. Kiremidjian, J. S. LeGrue. *Assembly-based vulnerability of buildings and its use in performance evaluation*, in «Earthq Spectra», Vol. 17, N. 2, 2001.
- Rapporto ENEA, in «Energia, Ambiente e Innovazione», 2009.
- Recupero edilizio e prevenzione sismica*, DEI, Roma, 2004.
- Resilience Framework*, in  
<[http://mceer.buffalo.edu/research/Resilience\\_Framework/default.asp](http://mceer.buffalo.edu/research/Resilience_Framework/default.asp)>.
- Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban Areas Against Seismic Disasters*, in  
<<http://geohaz.org/projects/radius.html>>.
- H. Sandi, *Vulnerability and risk analysis for individual structures and systems*, in Proceedings of 8<sup>o</sup> European Conference on Earthquake Engineering, Lisbona, 1986.
- Scheda di Primo Livello per il Rilievo della Tipologia e della Qualità della Muratura*, Progetto Reluis d.p.c. 2005-09.
- Syner-G project, Work Package 3, D3.2 - *Fragility functions for common masonry building types in Europe*, marzo 2011, pp. 5-6, in  
<[http://www.vce.at/SYNER-G/pdf/deliverables/D3.2\\_Syner-G\\_MASONRY\\_final.pdf](http://www.vce.at/SYNER-G/pdf/deliverables/D3.2_Syner-G_MASONRY_final.pdf)>.
- M.S. Teramo, H. Crowley, M. Lopez, R. Pinho, G. Cultrera, A. Cirella, M. Cocco, M. Mai, A. Teramo, *A damage scenario for the city of Messina, Italy, using displacement-based loss assessment*, 14<sup>th</sup> World Conference On Earthquake Engineering, Beijing, China, 12-17 ottobre, 2008, in <[http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/14\\_07-0023.PDF](http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/14_07-0023.PDF)>.
- UNI 10914 - 1:2001, *Edilizia. Qualificazione e controllo del progetto edilizio di interventi di nuova costruzione e di interventi sul costruito. Terminologia*.

- UNISDR's *Disaster Risk Reduction Terminology* in <<http://www.unisdr.org/terminology>>.
- United Nations, UNISDR, *How To Make Cities More Resilient - A Handbook For Local Government Leaders*, Geneva, 2012.
- L. Zevi (direttore scientifico), *il Manuale del Restauro Architettonico*, Mancosu Editore, Roma, 2001.
- G. Zuccaro (CD a cura di), *Inventario e vulnerabilità del patrimonio edilizio residenziale del territorio nazionale, mappe di rischio e perdite socio - economiche* – Napoli, 2004, in <[ftp://ftp.ingv.it/pro/gndt/Att\\_scient/Prodotti\\_attesi\\_2004/Dolce\\_Zuccaro/Mappe/SAVE\\_tas\\_k1.pdf](ftp://ftp.ingv.it/pro/gndt/Att_scient/Prodotti_attesi_2004/Dolce_Zuccaro/Mappe/SAVE_tas_k1.pdf)>.
- E. Zuccolo, F. Vaccari, A. Peresan, A. Dusi, A. Martelli, G. F. Panza, *Neo-deterministic definition of seismic input for residential seismically isolated buildings*, in «Engineering Geology», Vol. 101, 2008, pp. 89-95.
- E. Zuccolo, F. Vaccari, A. Peresan, G. F. Panza, *Neo-Deterministic and Probabilistic Seismic Hazard Assessments: a Comparison over the Italian Territory*, in G. F. Panza, K. Irikura, M. Kouteva, A. Peresan, Z. Wang, R. Saragoni, *Advanced Seismic Hazard Assessment*, Birkhauser, 2011, pp. 70-73.

#### Capitolo 4

- AA.VV., *Manuale delle murature storiche*, Volume I, direttore scientifico A. Borri, a cura di C. Donà, A. De Maria, D.E.I. tipografia del Genio Civile, Roma, 2011.
- AA. VV., *Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica degli edifici, Regione Umbria*, a cura di F. Gurrieri, DEI - Tipografia del Genio Civile, 1999.
- L. B. Alberti, *L'Architettura [De Re Aedificatoria]*, Edizioni Il Polifilo, Milano, 1966, Libro III, cap. VII.
- L. Benevolo, *Storia dell'architettura del Rinascimento*, Editori Laterza, Bari, 1995.
- A. Bernardini (a cura di), *La vulnerabilità degli edifici: valutazione a scala nazionale della vulnerabilità sismica degli edifici ordinari*, CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti - Roma, 2000, 175 pp. + CD-ROM allegato.
- L. Binda, G. Mirabella Roberti, C. Tiraboschi, *Problemi di misura dei parametri meccanici della muratura e dei suoi componenti*, Atti del Convegno Nazionale «La Meccanica delle Murature tra Teoria e Progetto», 18-20 settembre 1996, Messina, <<http://www.reluis.it/dbuninadist/foto/059.pdf>>.
- A. Borri, G. Cangi, A. De Maria, *Caratterizzazione meccanica delle murature (anche alla luce del recente sisma in Emilia) e interpretazione delle prove sperimentali a taglio*, Atti del XIV Convegno ANIDIS 2013 «L'Ingegneria Sismica in Italia», Padova, 30 giugno - 4 luglio 2013.
- A. Borri, M. Corradi, A. Vignoli, *Il problema della valutazione della resistenza a taglio della muratura mediante prove sperimentali*, Atti del XIV Convegno ANIDIS 2013 «L'Ingegneria Sismica in Italia», Potenza - Matera, 9-13 settembre 2001.
- S. Bracciali, *Restaurare Leon Battista Alberti: il caso di Palazzo Rucellai*, Libreria Editrice Fiorentina, Firenze, 2006.
- G. Brunetti, *Tecniche non distruttive per la diagnosi*, in A. Bellini (a cura di), *Tecniche della conservazione*, Franco Angeli, Milano, 1988.
- C. A. Castigliano, *The theory of equilibrium of elastic systems and its applications*, trad. ingl. di E. S. Andrews, New York, Dover, 1966.

- Nicola Cavalieri di San Bertolo, *Istruzioni di architettura statica e idraulica*, dalla tipografia Cardinali e Frulli, Bologna, 1826-1827, Vol. II, Libro Terzo, in  
<<http://www.e-rara.ch/zut/content/titleinfo/4957074>>, Link permanente:  
<<http://dx.doi.org/10.3931/e-rara-15899>>.
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008*.
- M. Como, *Statica delle costruzioni storiche in muratura*, ARACNE editrice, Roma, 2011.
- R. Corazzi, G. Conti, *Il segreto della Cupola del Brunelleschi a Firenze*, Angelo Pontecorboli Editore, Firenze, 2011.
- M. Corradi, A. Borri, A. Vignoli, *Experimental study on the determination of strength of masonry walls*, in «Construction and Building Material», Elsevier, n. 17, 2003, pp. 325-337.
- S. Di Pasquale, *L'arte del costruire: tra conoscenza e scienza*, Marsilio, Venezia, 1996.
- S. Di Pasquale, *La teoria delle distorsioni impresse e la statica delle murature - Appunti delle lezioni per gli allievi del Dottorato di Ricerca in "Storia delle scienze e delle tecniche costruttive", 1991-1995 - Università degli Studi di Firenze, Facoltà di Architettura, Dipartimento di Costruzioni, Preprint*.
- Dipartimento della Protezione Civile, *Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AeDES)*, Roma, 2009.
- Dipartimento Protezione Civile, ReLUIIS, AGI, ALGI, ALIG, *Linee guida per modalità di indagine sulle strutture e sui terreni per i progetti di riparazione, miglioramento e ricostruzione di edifici inagibili*, in  
<[http://www.reluis.it/doc/pdf/Linee\\_guida2.pdf](http://www.reluis.it/doc/pdf/Linee_guida2.pdf)>.
- D. Donghi (a cura di), *Manuale dell'architetto*, Unione tipografico Editrice Torinese, Torino, 1923, Vol. I.
- D. M. LL. PP. 20/11/1987 - Allegato 2.
- D. M. 14 gennaio 2008, *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*.
- G. Cataldi, *Sistemi statici in architettura*, Cedam, Padova, 1979.
- Eurocodice 6 - *Progettazione delle strutture di muratura*.
- A. Giuffré, *Lecture sulla meccanica delle murature storiche*, Edizioni Kappa, Roma, 1991.
- A. Giuffré (a cura di), *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso Ortigia*, Editori Laterza, Bari, 2006.
- J. Heymann, *The Stone Skeleton*, Cambridge University Press, 1995.
- Il Cenacolo S.r.l., *Chiesa di Santa Maria delle Grazie (Pettino - AQ), Indagini diagnostiche preliminari per il progetto di consolidamento statico ed il miglioramento sismico*, Relazione tecnica, elaborato eseguito da K. Bianchi, R. Ginanni Corradini, G. Marghella, F. Mattolin.
- A. Masi, M. Dolce, M. Vona, D. Nigro, G. Pace, M. Ferrini, *Indagini sperimentali su elementi strutturali estratti da una scuola esistente in c.a.*, Atti del XII Convegno ANIDIS 2007 «L'Ingegneria Sismica in Italia», Pisa, 10 -14 giugno 2007.
- Ministero per i Beni e le Attività Culturali, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, Gangemi Editore, Roma, 2006.
- Navier, *Résumé des leçons ecc. sur l'application de la mécanique a l'établissement des constructions et des machines*, Parte I, sez. II, art. III.
- Regione Marche, Consiglio Nazionale delle Ricerche - I.T.C., Università degli Studi dell'Aquila, *Repertorio dei meccanismi di danno, delle tecniche di intervento e dei relativi costi negli edifici in muratura*, Tipografia Grafiche Scarponi, Osimo (AN), 2007.

J. B. Rondelet, *Trattato teorico e pratico dell'arte di edificare*, Prima traduzione italiana sulla sesta edizione originale con note e giunte importantissime per cura di Basilio Soresina, Mantova, a spese della società editrice coi tipi di L. Caranenti, MDCCCXXXI, in <<http://risorseelettroniche.biblio.polimi.it/rondelet/cd/index2.htm>>.

M. L. Scillone, M. Di Segni, *Tecniche antisismiche per il recupero strutturale di fabbricati in muratura tradizionale*, Edizioni Kappa, Roma, 2000.

Università degli Studi di Padova, Facoltà di Ingegneria, Dipartimento di Costruzioni e Trasporti, *Manuale d'uso del Programma c-Sisma 3.0 PRO*, programma di C. Modena, M. R. Valluzzi, M. Zenere, con i contributi di G. Benincà, E. Barbetta, M. Munari, novembre 2009.

Università degli Studi di Padova, Facoltà di Ingegneria, Dipartimento di Costruzioni e Trasporti, *Manuale d'uso del Programma Vulnus 4.0*, programma originario di A. Bernardini, R. Gori, C. Modena, versione Vb a cura di M. R. Valluzzi, con i contributi di G. Benincà, E. Barbetta, M. Munari, dicembre 2009.

Venturoli, *Elementi di meccanica e di idraulica*, Vol. I, Libro IV, cap. I, II e III.

E. E. Viollet-le-Duc, *L'architettura ragionata: estratti dal Dizionario*. Saggio introduttivo, commento e apparati di M. Antonietta Crippa, Jaca Book, Milano, 2002.

D. Watkin, *Storia dell'architettura occidentale*, Zanichelli, Bologna, 2000.

L. Zevi (direttore scientifico), *il Manuale del Restauro Architettonico*, Mancosu Editore, Roma, 2001.

## Capitolo 5

A. L. Antinori, *Corografia storica degli Abruzzi e de' luoghi circonvicini*, manoscritto della Biblioteca Provinciale "M. Delfico" di Teramo.

Atti dell'Archivio Comunale di Arsita, *Progetto per la costruzione della strada di circonvallazione nord*, Arsita, 1951-1954.

E. Candigliota, F. Immordino, L. Moretti, M. Indirli, D. Abate, G. Furini, S. Pierattini, A. Screpanti, M. Angelini, T. Gambatesa, C. Massaia, A. Formisano, G. Florio, R. Fonti, A. Marzo, *Remote Sensing, Laser Scanner survey and GIS integrated method for assessment and preservation of historic centers: the example of Arsita*, Proceedings 15WCEE (15 World Conference on Earthquake Engineering), 24-28 settembre 2012, Lisbon, Portugal, Paper 2233,

<[http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012\\_2233.pdf](http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_2233.pdf)>.

A. Cherubini, *Inventario e Vulnerabilità dei Sistemi Urbani - Analisi di vulnerabilità e rischio sismico delle Reti e dei Sistemi Urbani*, INGV/GNDT- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia / Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 2006, <[ftp://ftp.ingv.it/pro/gndt/Att\\_scient/Prodotti\\_consegnati/Dolce\\_Zuccaro/prodotti\\_Dolce\\_Zuccaro.htm](ftp://ftp.ingv.it/pro/gndt/Att_scient/Prodotti_consegnati/Dolce_Zuccaro/prodotti_Dolce_Zuccaro.htm)>.

R. Chiarini, M. Indirli, 3A\_01\_h, *Indagine etnografica*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.

Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008*.

A. Corsanego, *A review of methodologies for seismic vulnerability assessment*, Proceedings of the International Conference on Reconstruction, Restoration and Urban Planning of Towns and Regions in Seismic Prone Areas, Skopje, pp. 285-301.

- A. Corsanego, C. Gavarini, *Ten years of research into the seismic vulnerability of constructions in Italy*, Annali di geofisica, Vol. XXXVI, N. 1, aprile 1993, pp. 149-156.
- D.P.R. 6 giugno 2001 n. 380, «Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia».
- A. Formisano, M. Indirli, 3A\_01\_f, *Aspetti strutturali e vulnerabilità*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita»,  
<<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.
- A. Formisano, M. Indirli, 3A\_02\_e, *Indicazioni progettuali*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.
- Galli P. e Camassi R. (eds.), 2009. *Rapporto sugli effetti del terremoto aquilano del 6 aprile 2009*, Rapporto congiunto DPC-INGV, in  
<[http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Elenco\\_centri\\_abitati\\_danneggiati.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Elenco_centri_abitati_danneggiati.pdf)>.
- T. Gambatesa, M. Indirli, 3A\_01\_c, *Cenni storici ed evoluzione delle strutture insediative*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita»,  
<<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.
- T. Gambatesa, M. Indirli, 3A\_01\_e, *Aspetti urbanistici*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.
- M. C. Gibelli, E. Salzano (a cura di), *No Sprawl: perché è necessario controllare la dispersione urbana e il consumo dei suoli*, Alinea, Firenze, 2006.
- A. Giuffrè, *Restauro e sicurezza dei centri urbani e degli edifici storici in zona sismica: proposte per una regolamentazione degli interventi*, in A. Giuffrè, *Monumenti e terremoti. Aspetti statici del restauro*, Multigrafica Editrice, Roma, 1988.
- L. Giustiniani, *Dizionario geografico ragionato del Regno di Napoli*, tomi 13, Napoli, 1796-1816, ristampa anastatica Forni Editore, Bologna, 1969.
- E. Guagenti, V. Petrini, *Il caso delle vecchie costruzioni: verso una nuova legge danni-intensità*. Atti del 4° Convegno Nazionale di Ingegneria Sismica, Milano, 1989, Vol. I, pp. 145-153.
- E. Guidoboni, *I terremoti storici dell'area aquilana: preziose informazioni con qualche ombra*, in «Geoitalia», N. 28 - settembre 2009.
- M. Indirli, 1A\_01, *Relazione di inquadramento generale*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.
- M. Indirli, 1A\_02, *Relazione sullo stato dei luoghi*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.
- M. Indirli, 2B\_03\_a-b, *Eventuali proposte di modifica*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.
- M. Indirli, 2b\_01\_d, *Valutazioni di agibilità e danno sismico (Scheda AeDES) nel centro storico di Arsita*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita»,  
<<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.
- M. Indirli, 2b\_01\_f, *Metodologie per la valutazione della vulnerabilità strutturale nel centro storico di Arsita*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita»,  
<<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.
- M. Indirli, 3A\_02\_a2, *Microzonazione sismica del territorio di Arsita*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita»,  
<<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.
- M. Indirli, 3A\_04, *Relazione di integrazione con il Piano Regolatore Esecutivo del Comune di Arsita*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita»,



<<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.

M. Indirli, 3B\_01\_f, *Piano, schede e mappa degli interventi strutturali \_ Parte I*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita»,

<<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.

*Linee di indirizzo strategico per la riqualificazione del territorio*, di cui all'art. 1 del Decreto del Commissario delegato per la Ricostruzione del 09/03/2010, n. 3.

E. Miccadei, C. Vaccaro, M. Indirli, 3A\_01\_a1, *Relazione illustrativa - Aspetti geologici, geomorfologici e idrogeologici*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita», <<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.

L. R. Abruzzo 12 aprile 1983, n. 18.

L. R. Umbria 22 febbraio 2005, n.11, *Norme in materia di governo del territorio:pianificazione urbanistica comunale*.

L. R. Umbria 10 febbraio 2006, n. 4.

L. R. Umbria 26 marzo 2008, n. 5.

L. R. Umbria 10 luglio 2008, n. 12.

L. R. Umbria 26 giugno 2009, n. 13.

L. R. Umbria 16 febbraio 2010, n. 12.

*Linee guida per la definizione della struttura urbana minima (Sum) nel PRG, ai fini della riduzione della vulnerabilità sismica urbana (art. 3, comma 3, let. d) della l.r. 11/2005*, emanate con DGR Umbria n. 164 del 08/02/2010.

*L'evento del 1461*, in

<<http://www.bo.ingv.it/indagini-terremoto-del-06042009-in-abruzzo-laquila.html>>.

G. Marghella, B. Carpani, S. Bruni, M. Indirli, 2b\_01\_e, *Valutazioni sulle tipologie murarie e del quadro fessurativo \_ Parte seconda \_ Allegati*, in «Piano di Ricostruzione del Comune di Arsita»,

<<http://www.pdr-arsita.bologna.enea.it/documentazione-finale>>.

Ministero per i Beni e le Attività Culturali, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, Gangemi Editore, Roma, 2006.

M. Munari, *Sviluppo di procedure per valutazioni sistematiche di vulnerabilità sismica di edifici esistenti in muratura*, Tesi di Dottorato, Ciclo XXII, Supervisore M. R. Valluzzi, Università degli studi di Padova, Dipartimento di Architettura, Urbanistica e Rilevamento, 2010, pp. 198-200.

M. Munari, M.R. Valluzzi, G. Cardani, A. Anzani, L. Binda, C. Modena, *Seismic vulnerability analyses of masonry aggregate buildings in the historical centre of Sulmona (Italy)*, in Proceedings of the 13th International Conference SFR 2010, Edinburg, Scotland, 15-17 June 2010.

M. Munari, M.R. Valluzzi, A. Saisi, G. Cardani, C. Modena, L. Binda, *The limit analysis of macro-elements in masonry aggregate buildings as a methodology for the seismic vulnerability study: an application to Umbrian city centers*, 11th Canadian Masonry Symposium, Toronto, Ontario, May 31- June 3, 2009.

*Principali studi del rischio sismico condotti sul territorio nazionale dal Dipartimento di Protezione Civile (DPC), Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT), Servizio Sismico Nazionale (SSN) e Istituto Nazionale Di Geofisica (ING)*, in

<[http://www.provincia.teramo.it/aree-tematiche/sicurezza-e-prevenzione/protezione-civile/protezione-civile-e-difesa-del-suolo/Rel\\_Gen\\_Def1.pdf/at\\_download/file](http://www.provincia.teramo.it/aree-tematiche/sicurezza-e-prevenzione/protezione-civile/protezione-civile-e-difesa-del-suolo/Rel_Gen_Def1.pdf/at_download/file)>.

M. L. Scillone, M. Di Segni, *Tecniche antisismiche per il recupero strutturale di fabbricati in muratura tradizionale*, Edizioni Kappa, , Roma, 2000.

Spettri-NTC ver 1.03., documento Excel in <<http://www.cslp.it/cslp/>>.

*Terremoto in Abruzzo 2009*, nel Sito del Dipartimento della Protezione Civile - Presidenza del Consiglio dei Ministri:

<[http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/emergenza\\_abruzzo.wp](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/emergenza_abruzzo.wp)>.

Università degli Studi di Padova, Facoltà di Ingegneria, Dipartimento di Costruzioni e Trasporti, *Manuale d'uso del Programma Vulnus 4.0*, programma originario di A. Bernardini, R. Gori, C. Modena, versione Vb a cura di M. R. Valluzzi, con i contributi di G. Benincà, E. Barbetta, M. Munari, dicembre 2009.

M. R. Valluzzi, M. Munari, C. Modena, *Analisi di aggregati complessi per valutazioni di vulnerabilità sismica: il caso di Castelluccio di Norcia*, in MURST 2004-2006 «Sicurezza e conservazione degli edifici storici in funzione delle tipologie edilizie, della concezione costruttiva e dei materiali», Atti del Workshop, a cura di L. Binda, D. I. S. - Politecnico di Milano, 18-19 dicembre 2006, pp. 195-208 (CD-ROM).

## Capitolo 6

O. Antonini, *Chiese dell'Aquila: architettura religiosa e struttura urbana*, Carsa, Pescara, 2004.

Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008*.

A. De Maria, E. Del Monte, L. Galano, B. Ortolani, A. Vignoli, *Modellazione e calcolo di costruzioni in muratura*, in AA. VV., *Manuale delle murature storiche*, Vol. 1, direttore scientifico A. Borri, a cura di C. Donà, A. De Maria, D.E.I. tipografia del Genio Civile, Roma, 2011.

A. Di Nucci, *L'arte di Costruire in Abruzzo: tecniche murarie nel territorio della Diocesi di Valva e Sulmona*, Gangemi, Roma, 2009.

D. M. 14 gennaio 2008, *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*.

Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 9 febbraio 2011, «*Linee guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008*».

G. J. Frisch (a cura di), E. Salzano (introduzione), *L'Aquila. Non si uccide così anche una città?*, CLEAN, Napoli, 2009

M. Galeota, *Ricostruzione: quasi pronta la chiesa a Pettino "E' l'unica vincolata fuori dal centro storico"*, in

<<http://www.abruzzoweb.it/contenuti/ricostruzione-quasi-pronta-la-chiesa-a-pettino--e-lunica-vincolata-fuori-dal-centro-storico/527499-302/>>.

Gruppo di Lavoro MS-AQ (2010), *Microzonazione sismica per la ricostruzione dell'area aquilana*, Regione Abruzzo – Dipartimento della Protezione Civile, L'Aquila, 3 vol. e Cd-rom, Parte I e II in

<[http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Impaginato\\_MCZ\\_2010\\_par tel\\_II.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Impaginato_MCZ_2010_par tel_II.pdf)>.

Il Cenacolo S.r.l., *Chiesa di Santa Maria delle Grazie (Pettino - AQ), Indagini diagnostiche preliminari per il progetto di consolidamento statico ed il miglioramento sismico*, Relazione tecnica elaborata da K. Bianchi, R. Ginanni Corradini, G. Marghella, F. Mattolin.

G. Minguzzi, *Fiber reinforced plastics: utilizzo dei materiali composite a matrice polimerica in edilizia civile*, Alinea, Firenze, 1998.

Ministero per i Beni e le Attività Culturali, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, Gangemi Editore, Roma, 2006.

E. Parodi (direttore scientifico e curatore), A. Cappuccitti (curatore), *Il nuovo manuale di urbanistica*, Mancosu, Roma, 2009.

*Riapre la Madonna delle Grazie di Pettino: il 22 agosto solenne celebrazione con monsignor Petrocchi* in

<<http://www.abruzzo24ore.tv/news/Riapre-la-Madonna-delle-Grazie-di-Pettino-il-22-agosto-solenne-celebrazione-con-monsignor-Petrocchi/143132.htm>>.

F. Sassu, *Intervento di stabilizzazione della Chiesa di Santa Maria delle Grazie (Madonna di Pettino) sita in loc. Pettino - L'Aquila*, in «Professione ingegnere», Bollettino dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Oristano, N. 62, 2009, pp. 21-24.

M. L. Scillone, M. Di Segni, *Tecniche antisismiche per il recupero strutturale di fabbricati in muratura tradizionale*, Edizioni Kappa, Roma, 2000.

Spettri-NTC ver 1.03., documento Excel in <<http://www.cslp.it/cslp/>>.

Università degli Studi di Padova, Facoltà di Ingegneria, Dipartimento di Costruzioni e Trasporti, *Manuale d'uso del Programma c-Sisma 3.0 PRO*, programma di C. Modena, M. R. Valluzzi, M. Zenere, con i contributi di G. Benincà, E. Barbetta, M. Munari, novembre 2009.