



Università degli Studi di Ferrara

DOTTORATO DI RICERCA IN " Scienze e Tecnologie per l'Archeologia e i Beni Culturali "

CICLO XXIV

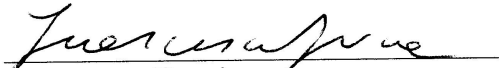
COORDINATORE Prof. Peretto Carlo

Geomatica e Multimedia per la documentazione del Patrimonio paesaggistico e culturale: nuove tecnologie integrate per il miglioramento dei processi di rilevamento, gestione e diffusione delle conoscenze tramite Web. Il ruolo delle immagini e della rappresentazione.

Settore Scientifico Disciplinare GEU / 05

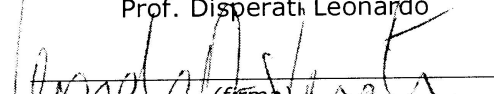
Dottorando

Dott. Duca Francesca


(firma)

Tutore

Prof. Disperati Leonardo


(firma)

Anni 2009/2012

Dichiarazione di conformità

Io sottoscritta Dott.ssa Francesca Duca

nata a Roma

Provincia Roma

il giorno 13/05/1977

Your E-Mail Address francesca.duca@gmail.com

avendo frequentato il corso di Dottorato di Ricerca in:

Scienze e Tecnologie per l'Archeologia e i Beni Culturali

Ciclo di Dottorato

XXIV

Titolo della tesi in Italiano

Geomatica e Multimedia per la documentazione del Patrimonio paesaggistico e culturale: nuove tecnologie integrate per il miglioramento dei processi di rilevamento, gestione e diffusione delle conoscenze tramite Web. Il ruolo delle immagini e della rappresentazione.

Titolo della tesi in Inglese

Geomatics and Multimedia for landscape and cultural heritage documentation: new integrated technologies for the improvement of data acquisition processes, management and dissemination of knowledge on Web . Images and representation.

Tutore - Prof:

Disperati Leonardo

Settore Scientifico Disciplinare (SSD)

GEO/05

Parole chiave (max 10)

Paesaggio

Patrimonio culturale

Documentazione

Fotografia digitale immersiva

Laser Scanner

Modellazione 3D

Web

Consapevole – Dichiara

CONSAPEVOLE --- 1) del fatto che in caso di dichiarazioni mendaci, oltre alle sanzioni previste dal codice penale e dalle Leggi speciali per l'ipotesi di falsità in atti ed uso di atti falsi, decade fin dall'inizio e senza necessità di alcuna formalità dai benefici conseguenti al provvedimento emanato sulla base di tali dichiarazioni; -- 2) dell'obbligo per l'Università di provvedere al deposito di legge delle tesi di dottorato al fine di assicurarne la conservazione e la consultabilità da parte di terzi; -- 3) della procedura adottata dall'Università di Ferrara ove si richiede che la tesi sia consegnata dal dottorando in 4 copie di cui una in formato cartaceo e tre in formato .pdf, non modificabile su idonei supporti (CD-ROM, DVD) secondo le istruzioni pubblicate sul sito : <http://www.unife.it/dottorati/dottorati.htm> alla voce ESAME FINALE – disposizioni e modulistica; -- 4) del fatto che l'Università sulla base dei dati forniti, archiverà e renderà consultabile in rete il testo completo della tesi di dottorato di cui alla presente dichiarazione attraverso l'Archivio istituzionale ad accesso aperto "EPRINTS.unife.it" oltre che attraverso i Cataloghi delle Biblioteche Nazionali Centrali di Roma e Firenze. --- DICHIARO SOTTO LA MIA RESPONSABILITA' --- 1) che la copia della tesi depositata presso l'Università di Ferrara in formato cartaceo, è del tutto identica a quelle presentate in formato elettronico (CD-ROM, DVD), a quelle da inviare ai Commissari di esame finale e alla copia che produrrò in seduta d'esame finale. Di conseguenza va esclusa qualsiasi responsabilità dell'Ateneo stesso per quanto riguarda eventuali errori, imprecisioni o omissioni nei contenuti della tesi; -- 2) di prendere atto che la tesi in formato cartaceo è l'unica alla quale farà riferimento l'Università per rilasciare, a mia richiesta, la dichiarazione di conformità di eventuali copie;

Indice generale

Indice generale	1
Indice delle figure	3
Indice delle tavole	8
Indice degli allegati	9
Riassunto	11
Abstract	13
INTRODUZIONE	15
OBIETTIVI E ORGANIZZAZIONE DELLA TESI	18
PAESAGGIO: significati e rappresentazione	21
<i>Paesaggio e rappresentazione: cenni storici</i>	<i>27</i>
<i>Paesaggio e Fotografia</i>	<i>36</i>
<i>Il Paesaggio Geologico</i>	<i>47</i>
CASI DI STUDIO	52
Applicazioni multimediali integrate per la documentazione del paesaggio geologico e sua diffusione tramite web. Il 'Portale dei Paesaggi Geologici della Regione Toscana'	52
<i>Descrizione e obiettivi del progetto</i>	<i>52</i>
<i>Fase 1: Individuazione e delimitazione dei geopaesaggi e dei relativi siti di interesse geologico</i>	<i>54</i>
<i>Fase 2: elaborazione dati, strutturazione del database in ambiente ArcGis</i>	<i>56</i>
<i>Fase 3: elaborazione di cartografia dedicata per itinerari turistici geologici, ambientali e culturali</i>	<i>58</i>
<i>Fase 4: realizzazione di Geo-Virtual Tour tramite tecniche di 'fotografia immersiva'</i>	<i>69</i>
<i>La Fotografia Immersiva</i>	<i>69</i>
<i>Acquisizione dati</i>	<i>71</i>
<i>Attrezzatura</i>	<i>71</i>
<i>Preparazione della macchina fotografica per gli scatti</i>	<i>76</i>
<i>Scatti</i>	<i>76</i>
<i>Sovrapposizione</i>	<i>77</i>
<i>Elaborazione dati</i>	<i>77</i>
<i>Software</i>	<i>77</i>

<i>Flusso di lavoro: dall'elaborazione dati, dalle singole immagini al prodotto finale di fruizione</i>	78
<i>Geo-Panorami Virtuali: i Geopaesaggi della Regione Toscana</i>	79
<i>Acquisizione dati</i>	79
<i>Elaborazione dati</i>	80
<i>Creazione di 'finestre virtuali'</i>	93
<i>Sito Web dedicato per diffusione e fruizione dei Geo-Panorami Virtuali</i>	95
3D Laser Scanner Terrestre (TLS) per la documentazione del paesaggio culturale urbano e diffusione tramite web	105
<i>Descrizione e obiettivi del progetto</i>	105
<i>Documentazione 3D del patrimonio culturale : stato dell'arte</i>	105
<i>Tecnologia Laser Scanning: principi generali</i>	109
<i>Tipologie di Laser Scanner</i>	111
<i>Sistemi a Triangolazione</i>	113
<i>Sistemi distanziometrici</i>	114
<i>Scanner a Tempo di Volo TOF (Time Of Flight)</i>	114
<i>Scanner a differenza di fase</i>	116
<i>Tipologie di software</i>	119
<i>Laser Scanning Workflow</i>	121
<i>Survey Planning</i>	122
<i>Posizionamento ottimale dello scanner</i>	122
<i>Posizionamento dei target</i>	124
<i>Acquisizione dati</i>	125
<i>Processamento dati</i>	128
Il caso di studio: rilevamento delle sculture del Museo Al Aire Libre dell'Università Politecnica di Valencia	134
<i>Acquisizione dati</i>	136
<i>Posizionamento dei target</i>	138
<i>Processamento dati</i>	139
<i>Registrazione</i>	139
<i>Modelling</i>	141
<i>Texturing</i>	146
<i>Creazione di video</i>	148
DISCUSSIONE E CONCLUSIONI	149
<i>Prospettive future della ricerca</i>	156
Riconoscimenti	165

Indice delle figure

1

1. esempi di musei virtuali online
2. potenzialità del web
3. pittura di giardino dalla villa di Livia
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/08/Rom-Villa-Livia.jpg/400px-Rom-Villa-Livia.jpg>
4. Giotto 1290-95
http://it.wikipedia.org/wiki/San_Francesco_dona_il_mantello_a_un_povero
5. Ambrogio Lorenzetti - *Allegoria del Buon Governo* 1350ca.
http://associazioni.comune.firenze.it/idra/27-6-'06_file/image003.jpg
6. van Eyck – *Polittico dell’Agnello Mistico* 1390 e il -1441 circa
[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Retable de l%27Agneau mystique.jpg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Retable_de_l%27Agneau_mystique.jpg)
7. Leonardo Da Vinci - *Paesaggio con fiume*1473
http://it.wikipedia.org/wiki/Leonardo_da_Vinci
8. Claude Lorraine - *Paesaggio costiero in Italia* 1642
http://www.settemuse.it/pittori_scultori_europei/lorrain/claude_lorrain_009_paesaggio_costiero_in_italia_1642.jpg
9. Alexaner Cozens – *A wood*
<http://www.artfund.org/artwork/3115/collection-of-drawings>
10. Caspar David Friedrich - *Wanderer above the Sea of Fog*, 1818
http://www.artcyclopedia.com/artists/friedrich_caspar_david.html
11. a) Monet - *Waterlilies* 1903
<http://french.chass.utoronto.ca/fcs195/monet.html>
b) Cezanne – *Mont Sainte Victoire Seen from les Lauves*

¹ L'ultimo accesso verificato per i siti internet citati è del 02/2012

- <http://www.paintingall.com/images/P/Paul-Cezanne-Mont-Sainte-Victoire-Seen-from-les-Lauves-1-Oil-Painting.jpg>
12. Nino costa - Arno <http://www.eosarte.eu/?p=8026>
 13. Stefano Bruzzi - *La poetica della neve*
<http://www.archimagazine.com/rstebruzzi.htm>
 14. Henry Fox Talbot - *Oak Tree in Winter* 1842
http://www.homerton.nhs.uk/uploaded_files/About_the_Trust/Artpoints_of_view_slide_show.pdf
 15. J. N. Niépce (1826?)
http://it.wikipedia.org/wiki/File:View_from_the_Window_at_Le_Gras,_Joseph_Nic%C3%A9phore_Ni%C3%A9pce.jpg
 16. Timothy O'Sullivan - *Desert Sand Hills Near Sink of Carson, Nevada* 1867
<http://gocciadispaio.blogspot.com/2011/01/photograph-chapter-4-landscape-in.html>
 17. Carleton E. Watkins - *Panorama della Yosemite Valley da Sentinel Dome* 1866 <http://artblart.wordpress.com/category/carleton-watkins/>
 18. Eugène Atget
<http://www.atgetphotography.com/Images/Photos/EugeneAtget/atget63.jpg>
 19. Vittorio Sella - *Glacier Blanc, Grand Sagne and Ecrins, Alps, 1888*
<http://www.adventure-journal.com/2011/02/pioneering-photographers-vittorio-sella/>
 20. a) Ansel Adams - *View of valley from mountain Canyon de Chelly National Monument,*
<http://www.historyplace.com/unitedstates/adams/chelly.jpg> b)
Edward Weston - *Dunes, Oceano*
<http://capitalgroupfoundation.org/>
 21. a) Walker Evans
<http://digilander.libero.it/davis2/lezioni/i%20fotografi/walker%20evans/quartiere.jpg>
b) Paul Strand <http://blog.fnac.ch/wp-content/uploads/2011/12/manhatta-paul-strand-300x227.jpg>

22. a) Robert Frank - From the bus <http://www.urban-photography-art.com/robert-frank.html>
 - b) Lee Friedlander – Lafayette Louisiana http://masters-of-photography.com/F/friedlander/friedlander_lafayette_louisiana_full.html
23. Fay Godwin - *Single stone*
<http://www.nationalmuseum.org.uk/nmem/exhibitions/faygodwin/>
24. Mario Giacomelli <http://www.globartmag.com/2010/07/03/luigi-ghirri-mario-giacomelli-pesaro-centro-pescheria-fotografia/>
25. Franco Fontana - *Paesaggio italiano* 1987
http://www.artfairs.ilsole24ore.com/espositori_opere_zoom.php?id=22&idopera=208
26. Gabriele Basilico – Bord de mer DATAR 1984-85
<http://www.latitudeslife.com/2011/01/gabriele-basilico-la-danza-immobile/>
27. Archivio dello spazio della Provincia di Milano
<http://preview.provincia.milano.it/arcspazio/ads/nextads.html>
28. Continuum Territoriale Geologico della Regione Toscana
<http://www.geotecnologie.unisi.it/news.php?act=see&id=254>
29. Localizzazione dei *Geopaesaggi*
30. strutturazione geo-database in ambiente ArcGis
31. Alcuni itinerari visualizzati su piattaforma Google©Maps
32. Effetto visivo dell'errore di parallasse
33. Localizzazione del punto nodale
<http://www.nital.it/experience/photo-stitching3.php>
34. Rotazione della fotocamera intorno al punto nodale. a sinistra una fotocamera che ruota sul suo asse: come si nota il punto nodale della lente (indicato da un punto rosso) cambia continuamente posizione con conseguenti distorsioni. Nell'immagine a destra, invece, la camera ruota attorno al punto nodale della lente che rimane sempre fisso
<http://www.nital.it/experience/gigapixel>

35. La testa panoramica montata. A sinistra viene evidenziata la posizione del punto nodale rispetto all'asse della focale e della testa panoramica. <http://www.nital.it/experience/gigapixel2.php>
36. Attrezzatura utilizzata per il rilevamento fotografico
37. Importazione delle immagini in *Hugin-Panorama photo stitching*
38. Scelta del numero di *control points*, a sinistra e dell'algoritmo di calcolo, a destra.
39. Analisi e individuazione dei punti omologhi tra le immagini
40. Visualizzazione di punti omologhi individuati. In alto a sinistra la barra di controllo con cui viene indicato il numero di punti individuati per ciascuna coppia di immagini.
41. Individuazione manuali di punti omologhi tra immagini.
42. Scelta dei parametri di ottimizzazione.
43. Indicazione del livello di errore.
44. Tipi di proiezioni fornite dal software
45. Anteprima, visualizzazione sovrapposizioni tra le immagini
46. Anteprima, connessione tra le immagini
47. Anteprima, a sinistra la visualizzazione della proiezione
48. Individuazione delle dimensioni ottimali per la resa
49. Estratto di HTML dal sito dedicato ai geo-panorami virtuali
50. Foglio di stile esterno CSS
51. Estratto Javascript per integrazione con GoogleMaps
52. Tecnologie per il rilevamento 3D in rapporto alla scala dell'oggetto
<http://www.helm.org.uk/upload/pdf/publishing-3d-laser-scanning-reprint.pdf>
53. a,b) rilevamento notturno e accessibilità; c,d) trasportabilità delle attrezzature
54. Nuvole di punti ottenute da rilevamento con laser scanner
55. Rilevamento geomorfologico presso la discarica di Scarpino (GE)
56. a) *Airborne Laser Scanning*; b) *Unmanned Aerial Vehicle*
<http://gisdevelopment.net/technology/ap/ma04181.htm>;
<http://www.geod.ethz.ch/p02/research/pinchango/home.htm>
57. Funzionamento dei sistemi laser a triangolazione
<http://www.helm.org.uk/upload/pdf/publishing-3d-laser-scanning-reprint.pdf>

58. Funzionamento dei sistemi laser a tempo di volo (TOF)
<http://www.helm.org.uk/upload/pdf/publishing-3d-laser-scanning-reprint.pdf>
59. funzionamento dei sistemi laser a differenza di fase
<http://www.scan3dlaser.it>
60. Principali laser scanner distanziometrici in commercio
<http://scanning.fh-mainz.de/scanninglist.php>
61. Possibili applicazioni delle diverse tipologie di laser scanner
62. Principali software in commercio <http://scanning.fh-mainz.de/scanninglist.php>
63. Laser scanning workflow
<http://www.helm.org.uk/upload/pdf/publishing-3d-laser-scanning-reprint.pdf>
64. perdita di accuratezza del laser scanner al variare dell'angolo di incidenza sulla superficie a) perpendicolare b) Y-Z 30° c) X-Y e Y-Z 30° d) Y-Z 45° e) X-Y e Y-Z 45° (da Lerma (2008): *3D Risk Mapping. Theory and Practice on Terrestrial Laser Scanning. Training Material Based on Practical Applications*, p.195)
65. Varie tipologie di targhet.
66. Appropriati valori di risoluzione in relazione alle dimensioni dell'oggetto <http://www.helm.org.uk/upload/pdf/publishing-3d-laser-scanning-reprint.pdf>
67. Criterio di Delaunay
<http://www2.mate.polimi.it/corsi/papers/7034d9c55ef1fa85ee8db41feb71.pdf>
68. Sculture: "Defensas I" (Arcadi Blasco Pastor 2003)
69. Sculture: "Mentoring" (Stephen J. Daly 2003)
70. Laser Scanner Leica™ ScanStation2: acquisizione dati
71. Caratteristiche Leica ScanStation 2 http://hds.leica-geosystems.com/en/Marketing-Downloads-HDS-Brochures_29607.htm
72. Posizionamento targhet artificiali per il rilievo
73. Nuvole di punti acquisite per le due sculture
74. Valori di errore per i due casi
75. Nuvole di punti finali a) 'Defensas I'; b) 'Mentoring'

76. Suddivisione delle sculture in parti per la modellazione a,b) 'Defensas I'; c,d) 'Mentoring'
77. Operazioni di *data cleaning*
78. Criteri alla base dell'operazione di *meshing* su una superficie ondulatae due operazioni
79. Fasi di modellazione": a) Meshing; b) Smoothing; c) fusione delle parti; d) Holes filling
80. Modelli finali
81. Fotocamera *Canon Powershot G11* utilizzata per il rilevamento della texture
http://www.canon.it/For_Home/Product_Finder/Cameras/Digital_Camera/PowerShot/PowerShot_G11/index.aspx?specs=1
82. Fasi di proiezione delle foto sui modelli: a,b) 'Defensas I'; c,d) 'Mentoring'
83. Modelli fotorealistici finali: a,) 'Defensas I'; b) 'Mentoring'
84. Sculture del Museo Al Aire Libre dell'Università Politecnica di Valencia selezionate per la prosecuzione del progetto

Indice delle tavole

1. a) prototipo carta turistica Valdarno - fronte
b) prototipo carta turistica Valdarno- retro
2. a) prototipo carta turistica - fronte
b) prototipo carta turistica - Alta Valle dell'Albegna e del Fiora- retro
3. a)Geo-panorama 'Monte Civitella' – geopaesaggio Alta Valle dell'Albegna e del Fiora
4. Geo-panorami
a) Balze dell'Acqua Zolfina' – geopaesaggio Valdarno
b) 'Biancane di Leonina' - geopaesaggio Monte Cetona Val d'Orcia
c) 'Cava Torano' – geopaesaggio Alpi Apune
5. Alcune delle *'finestre visrtuali'* realizzate in Qicktime

6. Pagina web *GeoVirtual Tour* – tramite interfaccia Google Maps si accede alla visualizzazione dei panorami virtuali
7. Pagina web *GeoVirtual Tour* – i panorami virtuali sono navigabili indipendentemente tramite finestre *QuikTime*
8. Foto panorama - Campagna Romana, Parco Regionale dell'Appia Antica

Indice degli allegati

1. Poster VI Convegno di Geologia Informatica GIT – Geology and Information Technology (Molfetta, 14-16 giugno 2011)
2. Abstract pubblicazione scientifica XXIIIrd International CIPA Symposium, Prague, Czech Republic, September 12 - 16

Riassunto

Le nuove tecnologie disponibili afferenti alla Geomatica e dell'Informatica offrono oggi notevoli potenzialità applicative per la documentazione dei beni culturali e paesaggistici, sia per quanto riguarda le fasi di acquisizione del dato, sia per tutte le fasi di rappresentazione, diffusione e comunicazione multimediale.

A tal proposito lo studio oggetto della presente tesi si propone di approfondire le problematiche relative alla sperimentazione integrata di tali tecnologie al fine di migliorare i livelli di conoscenza del patrimonio paesaggistico-culturale e potenziarne la diffusione e la fruizione tramite i canali del web.

Particolare rilievo è stato dato, nella prima parte all'esposizione delle problematiche che ruotano intorno al concetto di 'paesaggio' e alla sua rappresentazione, definendo i principi chiave che vanno a costituire la base teorica su cui si fonda il presente lavoro di ricerca.

Sulla base delle esperienze maturate nel corso del Dottorato di ricerca, sono state realizzate due casi di studio:

Il primo, condotto presso i laboratori del CGT, Centro di Geotecnologie dell'Università degli Studi di Siena, nell'ambito del Progetto 'Portale dei Geopaesaggi della Regione Toscana', collaborazione scientifica con Regione Toscana e Consorzio LaMMA, ha visto l'applicazione integrata di tecnologie innovative per la realizzazione di un Sistema Informativo Territoriale, fruibile in rete tramite un portale web dedicato, che contribuisca a valorizzare il patrimonio geologico e storico-culturale della Regione Toscana. In particolare si sono approfondite metodologie di documentazione multimediale del patrimonio geo-paesaggistico, tramite fotografia digitale 'immersiva' e di programmazione web per la realizzazione di una piattaforma web dedicata da integrare al suddetto Portale regionale.

Il secondo, condotto durante un periodo di studi presso il laboratorio GIFLE, *Photogrammetry & Laser Scanning Research Group*, dell'*Universidad Politecnica de Valencia*, integrandosi in un progetto di valorizzazione, comunicazione e diffusione via web del patrimonio storico artistico della Comunità Valenziana, ha approfondito le tematiche relative all'utilizzo del Laser Scanner Terrestre (TLS) a tempo di volo (TOF) per il rilevamento 3D di un particolare tipo di beni culturali, opere scultoree contemporanee di grandi dimensioni, parte del contesto museale urbano all'aria aperta, il '*Museo al Aire Libre*' presso il *Campus de Vera* dell'*Universidad Politecnica de Valencia*.

In entrambi i casi di studio è stato seguito uno stesso approccio metodologico seguendo un percorso che parte dal rilevamento dell'oggetto culturale, con particolare attenzione per la qualità e affidabilità del dato, passando attraverso la rappresentazione e visualizzazione multimediale per favorire le fasi ultime di comunicazione e diffusione pubblica attraverso il web; il tutto finalizzato all'ottimizzazione dei processi di circolazione della cultura e della conoscenza del territorio.

Abstract

Modern solutions today available in Geomatics and Information Technology offer great potential in the field of cultural heritage and landscape documentation in every step of recording, visualization, dissemination and communication.

In this way the research aims to examine issues related to the integrated application of these technologies to improve knowledge on cultural heritage and landscape and the dissemination through web.

The first part explores the themes of landscape and his representation, defining the theoretical principles of the study.

Two cases are presented based on the experience gained during the PhD:

The first one was carried out at the laboratories of CGT (Centro di Geotecnologie - University of Siena) within the project 'Portale dei Geopaesaggi della Regione Toscana', a scientific cooperation with Regione Toscana and Consorzio LaMMA. The project involves the integrated application of new technologies for the development of a Geographic Information System and a related web portal. In particular are discussed methodologies for landscape documentation such as digital photography to create virtual immersive panoramas and programming application to create a dedicated web site.

The second one was carried out during a staying at GIFLE, Photogrammetry & Laser Scanning Research Group. It presents the use of a terrestrial laser scanning (TLS) as a valuable tool for 3D documentation of large outdoor cultural heritage sculptures such as the ones existing in the open-air museum, 'Museo al Aire Libre', inside the Campus de Vera of the Universidad Politecnica de Valencia.

Both case followed the same methodological approach from the object's registration, with a special attention for data quality and

reliability, through the representation and visualization to promote the latter stages of communication and public dissemination through the web optimizing the cultural flow and knowledge of the landscape.

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni il campo dei beni culturali ha suscitato grande interesse da parte della comunità scientifica. L'UNESCO, fra le maggiori autorità del settore, pone sempre maggiore attenzione sulle tematiche della documentazione digitale al fine di garantirne la trasmissione alle generazioni future. [1]

La documentazione, intesa come sistematica attività di registrazione e gestione delle informazioni, vuol dire conoscere per conservare e valorizzare, rendendo i beni culturali maggiormente fruibili per la popolazione e creando un sistema di coscienze che ne impedisca irrimediabili perdite: è impensabile qualsiasi attività di gestione del patrimonio che non si basi su una solida base di conoscenze; assicura inoltre una migliore progettazione per interventi di gestione di recupero, monitorando costantemente i cambiamenti nel corso del tempo, talvolta anticipando avvenimenti catastrofici e inaspettati quali terremoti o guerre che portano a perdite irrimediabili del patrimonio culturale. [2]

Le nuove tecnologie di rilievo e rappresentazione, riferibili in termini generali al campo disciplinare della Geomatica (da *geos*=Terra, -*matica*=Informatica), come il telerilevamento, i Sistemi Informativi Territoriali (GIS), la tecnologia georeferenziata satellitare (GPS), i Laser Scanner, la Fotogrammetria e i più recenti traguardi della Fotografia digitale, hanno modificato contestualmente la tipologia dell'informazione che vede soprattutto nel web il più idoneo mezzo per la divulgazione. Siti e portali web sono oggi il maggior veicolo per la diffusione delle conoscenze tramite applicazioni multimediali interattive, immediatamente accessibili da tutto il mondo e con bassissimi costi di gestione e distribuzione, capaci di raggiungere ampie fasce di pubblico senza limiti spazio-temporali.

Oggi le tecnologie digitali offrono la possibilità di ottenere prodotti innovativi non solo dalle attività di rilievo, ma anche nella

rappresentazione e nella visualizzazione, raggiungendo livelli di descrizione morfometrica estremamente accurata di dati territoriali, di siti archeologici, di strutture architettoniche, di singoli oggetti;

il campo dei beni culturali è sicuramente quello che più di altri si presta ad un utilizzo multidisciplinare e integrato di tali tecnologie.

Parallelamente si sono modificate le metodologie legate alla diffusione e alla fruizione della conoscenza scientifica vedendo ormai nel web il mezzo più idoneo, non solo per gli addetti ai lavori, ma per ogni tipo di utenza. Sempre più accattivanti, infatti, appaiono i siti internet e portali di enti pubblici e privati; sempre più spesso è possibile inoltre immergersi in vere e proprie visite virtuali degli ormai numerosi musei online. (Fig.1)



Fig. 1: esempi di musei virtuali online

Il web si pone dunque come strumento di enorme capacità per la divulgazione della conoscenza, dello scambio nella ricerca, nella didattica, nell'informazione dedicata. La disponibilità on-line di banche dati tematiche aggiornate e di facile reperibilità costituiscono

inoltre un supporto irrinunciabile per le attività di pianificazione per interventi di programmazione territoriale, di conservazione e gestione del patrimonio culturale. Oltretutto solo in questo modo, tramite piccoli investimenti, diventa possibile diffondere informazioni a un vasto pubblico che difficilmente potrebbe essere contattato attraverso i canali convenzionali della carta stampata (Fig.2).

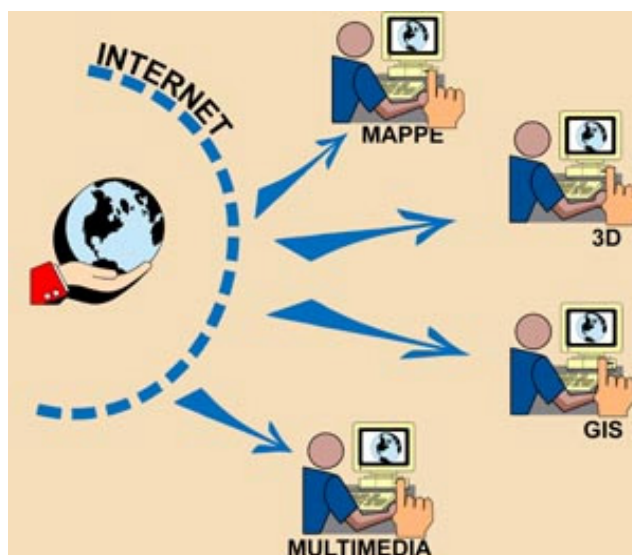


Fig. 2: potenzialità del web

Alcuni dei vantaggi della diffusione delle conoscenze tramite web possono essere riassunti come segue.

vantaggi di gestione: archivi compressi in piccoli spazi, condivisi, ordinati e sempre di facile accesso condiviso

rapidità di diffusione: immediata fruizione del prodotto, nessuna attesa per i suoi aggiornamenti.

facilità di accesso e disponibilità del prodotto: accesso al prodotto da ogni singolo computer attraverso connessione ad internet

leggibilità: strumenti interattivi e maggiore disponibilità di dati di base, sempre più alla portata di tutti

aggiornamento: tempi brevi, immediato controllo e pubblicazione

costi: esclusivi costi di diffusione del dato, già immagazzinato su server, attraverso internet

OBIETTIVI E ORGANIZZAZIONE DELLA TESI

Prendendo come riferimento i seguenti principi normativi:

Art. 9 della Costituzione italiana; [3]

Codice dei beni culturali e del paesaggio; [4]

Convenzione europea del Paesaggio; [5]

obiettivo principale del presente Dottorato di ricerca è la sperimentazione integrata delle più recenti innovazioni tecnologiche afferenti al campo della Geomatica e dell'Informatica per il rilevamento, la documentazione e la diffusione del patrimonio culturale, con particolare attenzione per quello paesaggistico, al fine di migliorare i livelli di conoscenza dei beni culturali sul territorio, potenziandone la diffusione e la fruizione tramite i canali del web.

Il lavoro è strutturato in due parti: la prima, di carattere compilativo, è dedicata all'esposizione di alcuni concetti base per comprendere il 'discorso sul paesaggio'. Si parte dai principi delle recenti esperienze normative europee per poi approfondire l'aspetto relativo alla rappresentazione paesaggistica e all'importanza che tale attitudine ha avuto nel corso dei secoli per l'uomo, quale momento interpretativo primo del mondo naturale. Si propone dunque un breve excursus storico fatto soprattutto di immagini, pittoriche e fotografiche, che guidano attraverso il percorso evolutivo che l'idea di paesaggio ha avuto nella cultura occidentale.

Tema centrale della presente ricerca è dato proprio dalla documentazione e rappresentazione del paesaggio, inteso ampiamente nella sua accezione fisica, in quanto fenomeno naturale, e nella sua accezione culturale, in quanto fenomeno antropico.

Viene dunque intrapresa una ricerca che, partendo dal rilievo metrico, utilizzando metodologie proprie dell'elaborazione e gestione di dati territoriali e ambientali, quali Sistemi Informativi Territoriali SIT, laser scanning, modellazione 3D, approfondisce le fasi di rappresentazione e visualizzazione del dato attraverso innovative tecnologie informatiche e multimediali che, con il loro elevato potenziale estetico-descrittivo vogliono costituire il punto nodale di un percorso multilivello di trasmissione della conoscenza, dall'utente generico allo studioso, che, potenziata dai canali comunicativi del web vuole creare coscienza collettiva ai fini della tutela del patrimonio culturale.

La seconda parte, di carattere applicativo, analizza due distinti casi studio rivolti a differenti aspetti della documentazione del paesaggio. Uno dedicato all'aspetto naturalistico-ambientale, con la documentazione del patrimonio geologico; l'altro dedicato all'aspetto più propriamente culturale, con la documentazione di un contesto paesaggistico urbano.

1. Applicazioni multimediali integrate per la documentazione del paesaggio geologico e sua diffusione tramite web. Il 'Portale dei Paesaggi Geologici della Regione Toscana'.

Collaborazione tra Regione Toscana, Consorzio LaMMa, e Centro di GeoTecnologie dell'Università degli Studi di Siena

2. 3D Laser Scanner Terrestre (TLS) per la documentazione del paesaggio culturale urbano e sua diffusione tramite web.

Collaborazione con il gruppo di ricerca GIFLE - Photogrammetry & Laser Scanning Research Group - Universidad Politecnica de Valencia (ES) - Department of Cartographic Engineering, Geodesy and Photogrammetry.

PAESAGGIO: significati e rappresentazione

Definire il concetto di paesaggio non è impresa facile, etimologicamente il termine italiano deriva dal latino *pagus* = villaggio e dal verbo *gerere* = costruire, amministrare; in lingua inglese e tedesca *landscape* e *landschaft*, da *land* territorio, regione, paese; il termine francese *paysage* è composto da *pays*, paese e dal sostantivo *age*, nel senso di 'vista d'insieme'. Certamente dunque già il significato letterale del termine comprende il concetto di territorio, in quanto abitato dall'uomo che lascia su di esso le tracce materiali e immateriali del suo vivere, modificandolo di continuo. Il paesaggio dunque come l'insieme dei segni che l'agire umano lascia nel tempo [6].

Una definizione sintetica cui possiamo riferirci è la semplice equazione proposta da M. Jakob nel suo saggio sul paesaggio² per cui $P = S + N$ (con $P =$ Paesaggio; $S =$ Soggetto; $N =$ Natura)

Il paesaggio dunque visto come il risultato della relazione di incontro tra fattore antropico e elemento naturale, il territorio. [7]

Nell'ultimo ventennio, in un periodo storico di sempre più rapide e profonde trasformazioni territoriali, sono state elaborate, a livello europeo, diverse convenzioni e documenti, nel tentativo di definire i principi primi relativi alla tematica del paesaggio ai fini di garantirne conoscenza, tutela e gestione.

² Jakob, M. *Il Paesaggio*. Bologna, Il Mulino, 2009. p.30

- **Nel 1993 la Carta del Paesaggio Mediterraneo [8]:**

“il paesaggio può essere considerato la manifestazione formale della relazione fisica degli individui e delle società nello spazio e nel tempo con un territorio più o meno intensamente modificato dai fattori sociali, economici e culturali. Il paesaggio è così il risultato della combinazione di aspetti naturali, culturali, storici, funzionali e visivi. Questa relazione può essere di ordine affettivo, identificativo, estetico, simbolico, spirituale o economico. Essa implica l'attribuzione ai paesaggi, da parte degli individui o delle società, di valori di identificazione sociale a vari livelli, locale, regionale, nazionale o internazionale. Più di ogni altro, il paesaggio mediterraneo è segnato profondamente dall'impronta dell'uomo. È il prodotto di una cultura e di una vita urbana e rurale raffinata”

- **Nel 1999 lo SSSE (Schema di Sviluppo dello Spazio Europeo) [9]:**

concordato i Ministri responsabili dell'assetto territoriale dell'UE; vengono qui fornite le indicazioni di riferimento politico per stimolare la crescita del livello di cooperazione tra le politiche comunitarie che incidono sul territorio. In esso vengono considerati i paesaggi come immagine dell'identità locale e regionale, importanti sia da un punto di vista storico ed estetico che turistico. Tra i concetti chiave quello inerente la visione di integrazione tra città e campagna, e della salvaguardia dello sviluppo economico insieme alla conservazione e alla ricostruzione dei paesaggi.

- **Nel 2000 la Carta del Restauro ICOMOS di Cracovia [10]:**

intendendo il paesaggio come manifestazione sensibile del patrimonio culturale, sottolinea come esso non possa essere definito in maniera univoca e assoluta ma *“può essere definito solo il modo con cui il patrimonio può essere individuato”*; *“ciascuna comunità*

attraverso la propria memoria collettiva e la consapevolezza del proprio passato è responsabile della identificazione e della gestione del proprio patrimonio”.

- **Nel 2000 la Convenzione Europea del Paesaggio [5]:**

documento che, sottoscritto ufficialmente dal Comitato dei Ministri della Cultura e dell'Ambiente del Consiglio d'Europa è stato firmato da ventisette Stati della della Comunità Europea e ratificato da dieci, tra cui l'Italia nel 2006. Fondamentale per le sue conseguenze concettuali e applicative affronta in maniera organica la tematica paesaggistica. Il paesaggio *“designa una determinata parte di territorio così come è percepita dalle popolazioni, il cui carattere deriva dall'azione di fattori naturali e/o umani e dalle loro interrelazioni”* (art.1); la Convenzione *“si applica a tutto il territorio delle Parti e riguarda gli spazi naturali, rurali, urbani e periurbani. Essa comprende i paesaggi terrestri, le acque interne e marine. Concerne sia i paesaggi che possono essere considerati eccezionali, sia i paesaggi della vita quotidiana sia i paesaggi degradati”* (art. 2); il campo di interesse riguarda dunque la globalità dei paesaggi europei, in cui sono contemporaneamente presenti i due aspetti di natura e cultura, senza distinzioni tra il naturale e l'artificiale. Tutti i paesi firmatari si impegnano alla sensibilizzazione, formazione ed educazione, individuazione e valutazione, applicazione, (art.6) .

Vediamo dunque come in ogni tentativo di definizione si faccia sempre riferimento alla combinazione tra l'elemento naturale e quello antropico, in tutte le risultanti, sia fisiche che culturali. Si pone dunque la priorità di indagare e valutare i paesaggi, non a caso indicati sempre al plurale, intesi nella loro molteplicità e diversità che deve essere tutelata, riconosciuta e comunicata pubblicamente per ogni territorio. [11]

In linea con questi concetti è sicuramente la trattazione che fa sul tema G. Clément nel suo 'Manifesto del Terzo Paesaggio' in cui tra le tante definizioni descrive il paesaggio come un *"frammento condiviso di una coscienza collettiva"*; e poi ancora *"...la rappresentazione di un territorio organizzato varia secondo le culture"* [12]

Significative le analisi del geografo Eugenio Turri che assimila l'esperienza paesaggistica a quella teatrale, l'uomo si comporta sia da attore, trasformando l'ambiente e imprimendo il segno del suo agire, sia da spettatore che osserva e cerca di comprendere il senso del suo operare su esso; attraverso un tale meccanismo si riconosce così come gli antichi greci riconoscevano se stessi attraverso il dramma teatrale. Dunque, come emerge chiaramente dalla stessa Convenzione di Firenze, l'elemento chiave perché sussista il concetto stesso di paesaggio è la percezione. *"Se non ci fosse l'uomo a guardare e a prendere coscienza di sé non ci sarebbe il paesaggio ma solo natura..."*; *"tra le due azioni ... l'agire e il guardare...più importante...la seconda, con la sua capacità di guidare la prima..."*. L'uomo studia sé stesso e il suo rapporto con l'elemento naturale in cui vive, e proprio come risultato di questo processo con cui si è scoperto 'altro' dal contesto, è divenuto soggetto: la natura percepita prima e rappresentata poi si trasforma in paesaggio [13].

Tali tematiche sono state espresse e analizzate storicamente da grandi filosofi; così in Aristotele la natura diviene conoscibile solo per analogia, attraverso la rappresentazione, attraverso il rapporto tra forma e contenuto, immagine e supporto; In Kant ('Critica del Giudizio') è attraverso l'esperienza estetica della percezione che l'uomo si connette alla natura e se ne appropria ricreandola per mezzo della rappresentazione. Ricordando che il termine 'estetica', dal greco *aesthesis* indica proprio la percezione visuale.

Recuperare la natura implica lo stabilire una relazione che avviene sul piano della rappresentazione. Il primo passo avviene attraverso la percezione visiva per cui l'elemento osservato diviene prima immagine mentale e poi viene codificata nella rappresentazione. [7]

Di nuovo Clément esorta ad *“avvicinarsi alla diversità [del paesaggio] con stupore”* [12]

Il paesaggio è l' *“immagine da noi percepita di un tratto della superficie terrestre”* (Sestini, 1963) [14]

“Il territorio ha una sua vita oggettiva, indifferente ad ogni nostro sguardo, ma assume per noi un significato nuovo e diventa paesaggio nel momento stesso in cui ci soffermiamo a guardarlo o a fotografarlo, con ciò riportandolo nel grembo della cultura, delle sue conoscenze, delle sue rappresentazioni” (Turri, 2006) [15];

“...fissata nel disegno l'immagine del paesaggio ...moltiplica le sue valenze: traccia mnemonica, reperto documentario, preliminare d'arte e, infine, opera pittorica compiuta...la visibilità delle cose, sia pure mediata dall'immagine grafica o pittorica, diviene garanzia di stabilità della conoscenza, di obiettività. L'oggetto del vedere si identifica col contenuto dell'immagine, che è chiamata non solo a fungere da stimolo mnestico, ma a sollecitare le stesse emozioni che si sono provate dinanzi allo spettacolo originale.” (Vitta, 2005) [16]

Nella sua 'Prima lezione di estetica' Sergio Givone ci offre una descrizione calzante del 'momento di stupore' da cui scaturisce il processo conoscitivo: *“... qualcosa si mostra, appare e ci scuote nel profondo, lasciandoci stupefatti, turbati, commossi,...importa questo irrompere nel nostro campo visivo di una realtà che ci sorprende e ci seduce, inaspettatamente...”*; come dichiara Leonardo Da Vinci *“Ogni nostra cognizione precipia da sentimenti”*: senza l'imput dato dai sensi non si avvia alcun processo conoscitivo. [17]

Il paesaggio dunque assume significati che vanno molto al di là della sua semplice fisicità, entrando profondamente nella storia dell' uomo, in quanto soggetto cosciente delle proprie azioni, parte del mondo, ma capace di osservarlo come altro da sé e contemplarlo sotto diversi punti di vista.

"La pluralità e la diversità delle sue apparizioni, l'abilità mimetica con la quale esso è sempre pronto a confondersi, di volta in volta col sentimento, il gusto, la funzionalità o la conoscenza, la sua maschera seducente, che rinvia di continuo ad altro da sé, ne moltiplicano a tal punto le manifestazioni che alla fine si è rinunciato al tentativo di racchiuderlo in un'unica figura concettuale, per lasciarlo alla sua costitutiva libertà semantica. Si parla così di paesaggio nell'arte, ma anche di paesaggio scientifico, di paesaggio naturale, ma anche di paesaggio urbani; di paesaggio spirituale, ma anche di paesaggio sociale; e si è ipotizzato perfino, legittimamente un paesaggio politico, cogliendolo nelle antiche fasce di confine (una foresta, un massiccio montuoso, la valle di un fiume, ...)" (Vitta, 2005) [16]

Riprendendo quanto enunciato dalla Convenzione Europea, il concetto chiave sta dunque nel fatto che il paesaggio è tale in quanto percepito e conosciuto dalla collettività. Solo così può essere tutelato: i popoli si sentono a loro agio nel territorio in cui vivono solamente nel momento in cui lo conoscono e si sentono parte di esso [12]: studiarlo, conoscerlo e comunicarlo diviene fondamentale, senza però fermarsi ad una interpretazione esclusivamente individuale, ma dando maggiore valore e significato al momento in cui viene riconosciuto collettivamente. Si ricordi che, evolutivamente parlando, è proprio il riconoscimento collettivo e la condivisione di valori comportamentali che permette la sussistenza del 'gruppo'.

Ogni studioso comunque, in base alle proprie inclinazioni culturali, dà al concetto di paesaggio uno specifico significato e valore, più o

meno proteso alla componente fisico-naturale o culturale, tenendo presente che si tratta di un particolare punto di vista, che deve contribuire ad alimentare la conoscenza collettiva ai fini per la salvaguardia del territorio il cui equilibrio permette la nostra stessa sussistenza.

Paesaggio e rappresentazione: cenni storici

La storia del paesaggio, di cui qui si vogliono evidenziare solo alcune tappe più significative, porta a ripercorrere contestualmente la storia del nostro rapporto con la natura, rispetto alla quale l'uomo nel corso dei secoli si è sentito dominato o dominatore e raffigurandolo ha ripetuto l'atto di appropriazione, interpretazione e conoscenza del mondo esterno, iniziato in epoca preistorica con le pitture rupestri e proseguito nei secoli attraverso l'arte pittorica, la fotografia e tutte le altre forme di rappresentazione letteraria e musicale.

Nel III sec. a.C. con la poesia idilliaca di Teocrito si assiste a una delle prime rappresentazioni letterarie di cui abbiamo testimonianza per cui la natura viene descritta come mondo ideale di vita semplice, al di là delle dinamiche della vita cittadina.

Di grande popolarità in epoca romana, e particolarmente in età augustea, le pitture murali delle ville che, come finestre, proiettano l'osservatore in mondi bucolici e mitologici in cui si svolgono le vicende della tradizione letteraria (Fig.3).



Fig. 3: Pittura di giardino dalla villa di Livia

Con l'affermarsi del Cristianesimo l'elemento paesaggistico descrittivo scompare o comunque è trattato in qualità di simbolo, come assoluta emanazione del divino e così anche in seguito, in epoca medievale, costituisce semplicemente il contesto in cui si svolge una data vicenda narrata: ad esempio in Giotto, nel 'San Francesco che dona il mantello al povero cavaliere di Assisi', delimita soltanto lo spazio dell'azione (Fig.4)

Si deve attendere la fine del Medioevo perchè cambi tale concezione e riemergano sia l'uomo che la natura. Emblematica in questo senso la celebre raffigurazione allegorica del 'Buon Governo' di Ambrogio Lorenzetti (1350ca.), nel Palazzo Pubblico di Siena (Fig.5). La questione dell'elemento paesaggistico si pone qui come visione dall'alto che abbraccia l'intera realtà fisica. Sia il contesto urbano che quello agreste sono prodotti di un modello di lavoro, di una struttura di relazioni sociali.



Fig.4: Giotto 1290-95

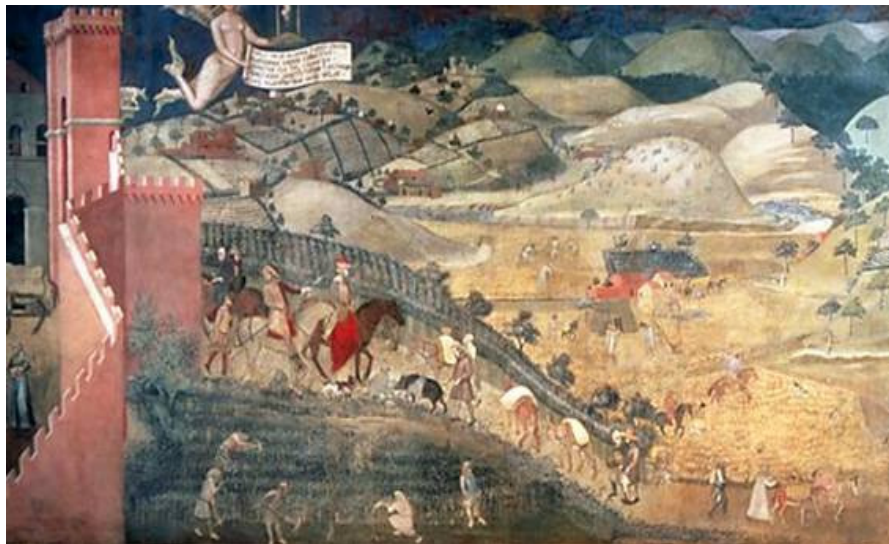


Fig.5: Ambrogio Lorenzetti – *Allegoria del Buon Governo* 1350ca.

A partire dal XV secolo lentamente, ma in maniera irreversibile, emerge una nuova sensibilità per cui il mondo fisico diviene materia di lavoro tanto quanto la vicenda storica narrata anche se sempre in secondo piano. Significativa in tal senso la 'Madonna col cancelliere Rolin' (Fig.6) e il Polittico dell'agnello, considerato "il primo grande paesaggio moderno" (Clark, 1949) [18].



Fig.6: Jan van Eyck – *Polittico dell'Agnello Mistico* 1390 e il -1441 circa

Interessante sottolineare come dal '400 in poi, e durante tutto il Rinascimento, il problema della rappresentazione del paesaggio vada di pari passo con gli studi sulla prospettiva, la scoperta, o necessità, della terza dimensione, di grande importanza per la successiva affermazione del realismo e naturalismo pittorico. Piero della Francesca e Leonardo da Vinci saranno tra i primi a studiarla rigorosamente secondo principi geometrici e modelli matematici; proprio quest'ultimo inizierà una precoce sperimentazione della rappresentazione paesaggistica pura (Fig.7), del tutto estranea ai canoni pittorici del tempo, che davano come obbligatoria la presenza di figure umane. In tal senso sarà seguito più avanti da artisti quali Dürer e Altdorfer.



Fig.7: Leonardo Da Vinci - *Paesaggio con fiume*1473

E' tra '500 e '600, soprattutto con la pittura olandese che la figura umana perde la sua dominanza, immersa del tutto nell'ambiente, senza particolare ordine di superiorità, e si determina un decisivo cambiamento nel rapporto con il naturale, oggetto di rappresentazione artistica non più idealizzato ma visto secondo una visione più realistica e naturale. (Fig.8)

Nella seconda metà del '700 con Alexander Cozens si ha un ulteriore rinnovamento dei moduli espressivi: partendo dall'osservazione diretta della natura tenta di renderla così come è percepita, estraniandosi da schemi preconcepiuti. (Fig.9)

Nell'800 in un periodo di forti cambiamenti sociali si va affermando una coscienza artistica che vede nella natura un'entità autonoma e imperscrutabile dettata dalla casualità e che permette all'artista una estrema libertà espressiva con una profonda adesione al 'vero' comportato la messa in discussione dei canoni di raffigurazione accademica



Fig.8: Claude Lorraine - *Paesaggio costiero in Italia* 1642



Fig.9: Alexaner Cozens – *A wood*

Dagli anni settanta dell'800 poi il sentimento del vero passa dall'oggettivo al soggettivo come momento interpretativo dell'autore rispetto al reale.

Incisiva l'esperienza pittorica di Caspar David Friedrich, costituita quasi esclusivamente di paesaggi e, laddove presenti, figure umane ritratte di spalle, a indicare l'acquisizione di un diverso rapporto umano/naturale (Fig.10).

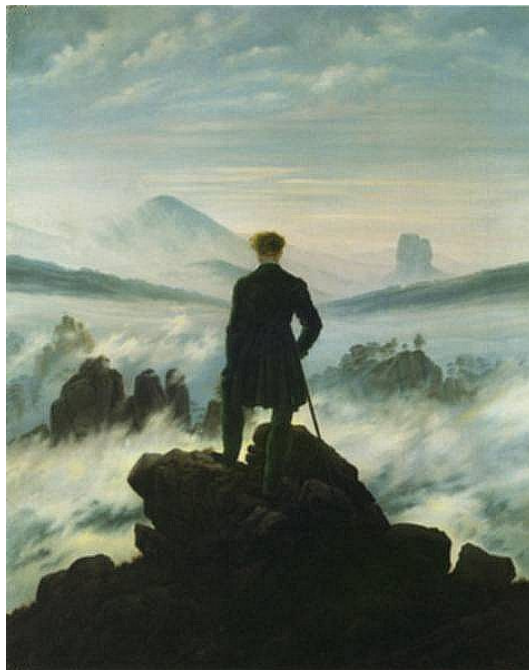


Fig10.: Caspar David Friedrich - *Wanderer above the Sea of Fog*, 1818

Con Monet e Cezanne (Fig.11) si assiste alla definitiva destrutturazione del paesaggio come entità oggettiva, questo viene invece interiorizzato, rappresentato nel tentativo di riportarlo così come ci appare nel momento stesso della sua percezione, nell'immediatezza dell'emozione sensoriale, prima che il dato venga elaborato razionalmente: tutto ciò conduce ad un sempre più profondo rapporto con la natura in quanto esperita. [7,15,16]

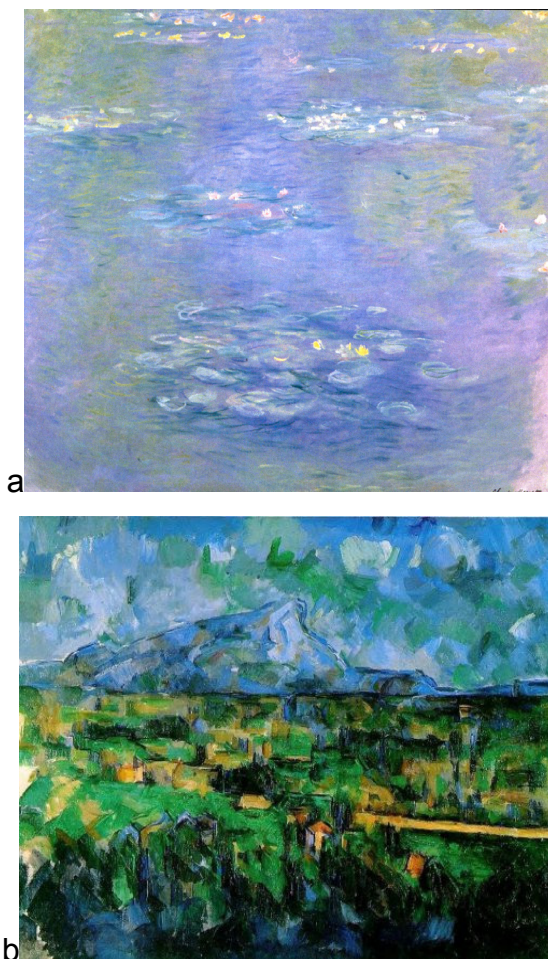


Fig.11 a) Monet - *Waterlilies* 1903

b) Cezanne - *Mont Sainte Victoire Seen from les Lauves*

Tra gli artisti italiani dell'epoca, protagonisti della nuova corrente espressiva, vanno sicuramente citati tra gli altri Saverio Altamura, Antonio Fontanesi, Nino Costa, Giuseppe De Nittis, Giovanni Fattori, Stefano Bruzzi, Francesco Lojacono, Pellizza da Volpedo. (Fig.12,13)

E così scrive Francesco Netti nel 1867 a proposito della nuova poetica pittorica: *“colla testa vuotata dalle regole e riempita dal desiderio di imitar le cose che vedevano e di comunicare alla tela le sensazioni provate innanzi alla verità, non composero più il paesaggio, ma gli dettero un'anima...”* [19, 20]



Fig.12: Nino costa - *Arno*

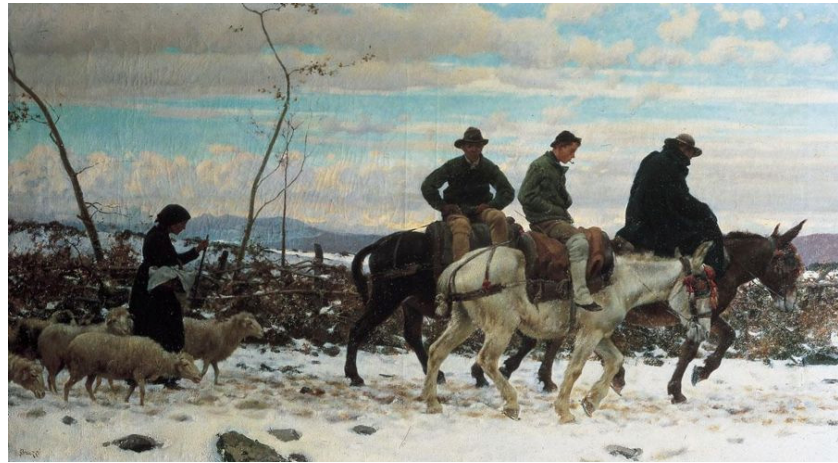


Fig.13: Stefano Bruzzi – *In cammino*

Paesaggio e Fotografia

Sicuramente negli ultimi secoli è la fotografia che maggiormente ha contribuito all'acquisizione e diffusione sociale del senso del paesaggio, divenendone il tramite mediatico universale e guidandone in un certo modo la formazione della coscienza stessa. [21]

*"...l'impegno è tutto nell'attimo in cui si scatta, attimo di partecipazione profonda...di immersione totale nel paesaggio...";
"...nei rispetti del paesaggio i fotografi si trovano al tempo stesso attori e spettatori, lo fissano, lo catturano per offrirlo ad altri. Si fanno mediatori di una grande e fondamentale opera di teatralizzazione del paesaggio..."* (Turri, 2006) [13]

La fotografia nacque proprio in un'epoca in cui i pittori erano alla ricerca di un nuovo realismo e le culture occidentali vedevano affermarsi una nuova consapevolezza del mondo naturale; inoltre nacque in un periodo di esplorazioni e colonizzazione di nuove terre, divenendo il mezzo di documentazione 'oggettiva' di mondi sconosciuti come l'Asia e l'Africa, sostituendosi, in quanto più realistica e precisa, ai metodi classici del disegno.

Henry Fox Talbot (1800-1877) è considerato il pioniere della fotografia, passato alla storia come l'inventore del meccanismo positivo/negativo. Con la sua ricerca ha contribuito a cambiare i paradigmi per la realizzazione delle immagini, viste fino a quel momento solo in quanto raffigurazioni pittoriche. (Fig.14)

"The plates of the present work are impressed by the agency of Light alone, without any aid whatever from the artist's pencil. They are the sun-pictures themselves, and not, as some persons have imagined, engravings in imitation". [22]



Fig.14: Henry Fox Talbot - *Oak Tree in Winter* 1842

Quella che viene considerata la prima immagine ottenuta con tecniche di camera oscura rappresenta proprio un paesaggio e la si deve a J. N. Niépce (1765-1833) : il mondo inquadrato dalla finestra. (Fig.15)



Fig.15: J. N. Niépce (1826?)

Nel 1851 nasce a Parigi la *Societe Heliographique*, definita come “*associazione assolutamente artistica e scientifica di uomini dediti*”

allo studio e alla pratica dell'arte e della scienza"; lo stesso anno l'*Administration des Beaux Arts* francese costituisce le *Missions Heliographiques*, "con l'intento di gettare le basi di un museo pittoresco e archeologico". Cinque grandi fotografi dell'epoca sono inviati sul territorio per riprendere e documentare i monumenti storici da restaurare: Baldus, Bayard, Le Secq, Le Gray, Mestral.

Nel 1852 viene pubblicato *Egypte, Nubie, Palestine, Syrie. Dessins photographiques*, 125 calotipi di monumenti e luoghi storici in due volumi che nel 1849 Maxime Du Camp ha ripreso in un viaggio accompagnato da Gustave Flobert.

In Italia sempre nel 1852 viene fondata a Firenze l'azienda privata degli Alinari che dà il via ad un'azione sistematica di documentazione del paesaggio naturale e culturale, con un grande slancio alla diffusione dell'immagine dell'Italia attraverso l'editoria. Tra gli altri da ricordare l'attività di Carlo Naya e Carlo Ponti a Venezia, dei Brogi a Firenze, di McPherson a Roma.

Se in Europa la fotografia è considerata memoria e documentazione soprattutto storica, rivolta al patrimonio artistico e architettonico, è negli Stati Uniti che nasce propriamente la tradizione della ripresa paesaggistica. Qui la trova nuovi modelli connessi al fenomeno della colonizzazione di un continente dai vasti spazi, che l'occhio cerca di misurare e contenere: ad essere celebrate sono proprio le proporzioni di un territorio immenso. Diversi fotografi vengono incaricati di esplorare lo sconosciuto Ovest degli Stati Uniti, da organismi quali il *Bureau of Topographical Engineers* o il *Geological Exploration of Fourtieth Parallel*. Tra questi uno dei padri della 'veduta', Carleton E. Watkins (1825-1916), già nel 1854 riprende in dagherrotipia i paesaggi della California trasmettendo quel senso di vastità e meraviglia distintivo della tradizione americana.

Il grande Timothy O'Sullivan (1840-82) partecipò a numerose spedizioni nei territori dell'Ovest, e fotografò il Colorado, il Nevada, il New Mexico, scenari come quelli del Grand Canyon, grandiosi per scala e impatto visivo, e soprattutto privi di traccia umana. (Fig.16,17)



Fig.16: Timothy O'Sullivan -

Desert Sand Hills Near Sink of Carson, Nevada 1867



Fig.17: Carleton E. Watkins - *Panorama della Yosemite Valley da Sentinel Dome 1866*

Susan Sontag nel suo saggio *Sulla Fotografia*, ricorda come “*nel 1897 Sir Benjamin Stone... fondò la National Photographic Record Association, al fine di documentare le tradizionali cerimonie inglesi e le feste rurali che andavano scomparendo: ogni villaggio – scriveva – ha una storia che può essere conservata grazie alla macchina fotografica*” [23]

Rispetto alla storia della fotografia di paesaggio e architettonica va fatto cenno all' opera del francese Eugène Atget (1857-1927) al quale si deve un'ampissima documentazione di Parigi e di altri luoghi della Francia nei primi del '900, caratterizzata da estremo realismo. (Fig.18)



Fig.18: Eugène Atget

In Italia, rilevante l'esperienza di Vittorio Sella con le sue riprese in alta montagna tra fine 800 e 900. (Fig.19)



Fig.19: Vittorio Sella - *Glacier Blanc, Grand Sagne and Ecrins, Alps, 1888*

Sempre negli Stati Uniti dai primi anni '20 si va affermando una fotografia molto pragmatica e perfezionista dal punto di vista tecnico. Si raggiungono i massimi livelli con il lavoro di Ansel Adams, fondatore nel 1932, insieme ad altri tra cui Edward Weston del gruppo f/64. Il primo con immagini che riprendono il tema pionieristico dei paesaggi americani, il secondo più incentrato sui singoli elementi naturali come rocce, tronchi, neve, sabbia. (Fig.20)

Negli stessi anni si fa strada anche un nuovo linguaggio di narrazione sociale di cui ad esempio le opere di Paul Strand e Walker Evans. Quest'ultimo entra a far parte dello staff della *Farm Security Administration* nel 1935: l'organismo del governo americano impegnato nel monitoraggio delle politiche e della situazione economico sociale delle aree rurali del paese. Per la FSA Evans ha svolto reportage che documentano la vita dell'America più rurale all'indomani della crisi economica del 1929. Oggetto di indagine è sia la città che l'ambiente che la circonda.

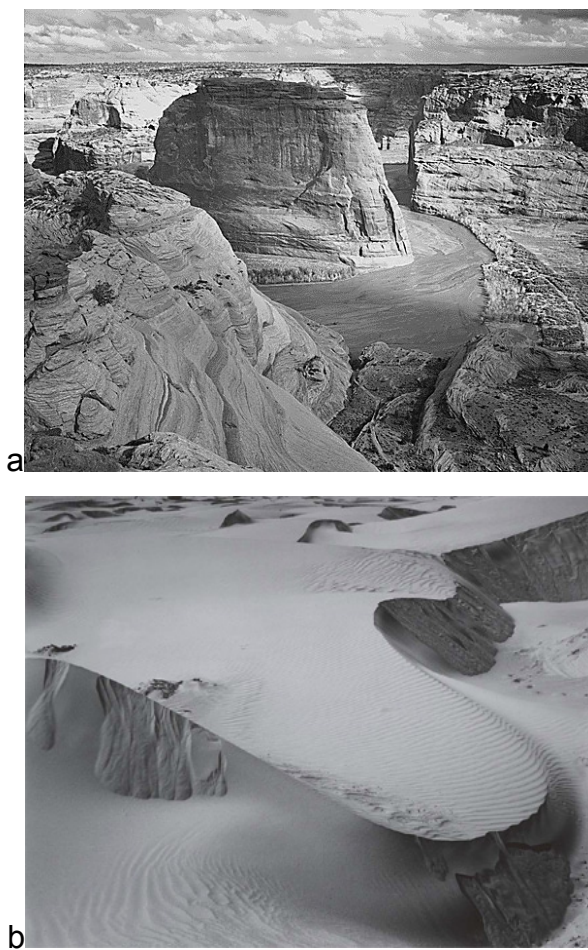


Fig.20: a) Ansel Adams - *View of valley from mountain Canyon de Chelly National Monument*

b) Edward Weston - *Dunes, Oceano*

Su questa linea andranno negli anni successivi i lavori di Robert Frank e di Lee Friedlander (Fig.21).

Il 1967 con la mostra *New Document*, al *Museum of Modern Art* di New York, segna un momento importante con il definitivo abbattimento delle distinzioni tra i generi che volevano separato l'elemento naturale da quello umano: proprio in questa occasione viene coniata la definizione di 'paesaggio sociale'.



Fig.21: a) Walker Evans - *Nero houses. Atlanta Georgia* - b) Paul Strand – *Manhattan*

Nel 1975 la mostra *New Topographics* pone l'accento sui segni che sul territorio produce l'attività umana, con un tipo di osservazione altamente descrittiva che riprende in modo severo la realtà senza particolari preoccupazioni estetiche.

La fotografia europea, impegnata soprattutto nel sociale, sotto il forte ascendente di Henri Cartier Bresson, viene comunque influenzata tra gli anni '70 e '80 dal pensiero statunitense. Un esempio lo si ha nei lavori sul paesaggio industriale inglese di Berndt e Hilla Becher, noti per le fotografie bianco e nero di strutture architettoniche e di archeologia industriale. Nel novecento inglese l'atteggiamento è rapportato a un contesto ambientale tra i più popolosi e

industrializzati, il territorio è del tutto controllato dall'attività umana. Il fotografo dunque si spinge ai margini ricercando isolamento. Le foto offrono l'icona di una vita alternativa, luoghi di sfogo.

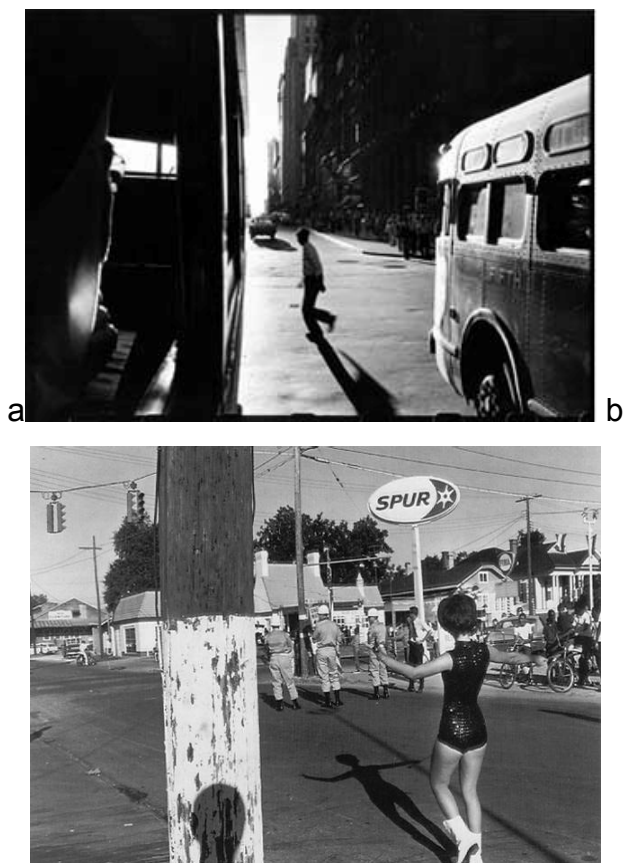


Fig.22: a) Robert Frank - *From the bus* b) Lee Friedlander – *Lafayette Louisiana*

Significative le opere di Fay Godwin, tra le maggiori fotografe britanniche contemporanee di paesaggi, in cui vengono scelte come soggetto aree desolate, estranee al dominio della città e della periferia (Fig.23).

In Italia dagli anni '60 in poi esempi di una nuova concezione del territorio si hanno con i lavori di Mario Giacomelli, con le sue ricerche sul mondo rurale e Franco Fontana. (Fig.24,25)



Fig.23: Fay Godwin - *Single stone*



Fig.24: Mario Giacomelli

i Sul finire degli anni ottanta parte l'esperienza della *Mission photographique de la DATAR (Delegation a l'Amangement du Territoire et a l'Action Regionale)* rispetto alla quale il ministro per la pianificazione del territorio Gaston Defferre dichiara : *“Fotografare la Francia, fissare l'immagine di ciò che , al principio degli anni '80, caratterizza le nostre città, i nostri sobborghi, i nostri villaggi, i nostri campi, i nostri boschi, le nostre fabbriche, di coloro che vivono e lavorano, presenta un immenso interesse documentario, ma anche*

delle possibilità di comparazione con il futuro...e se ogni quarto di secolo...si deciderà di fare questo inventario urbano e rurale, geografico e sociale, sarà possibile seguire l'evoluzione del nostro paese, trarre degli insegnamenti di grande utilità.” (Fig.26) [24, 25]



Fig.25: Franco Fontana - *Paesaggio italiano* 1987

Oggi, nonostante la rapida spinta di nuove forme e mezzi di comunicazione, l'immagine fotografica sopravvive come *medium* irrinunciabile per qualsiasi le attività di documentazione territoriale. Nel panorama italiano da ricordare senz'altro il progetto 'Archivio dello spazio' della Provincia di Milano iniziato nel 1988 (Fig.27)



Fig.26: Gabriele Basilico – *Bord de mer* DATAR 1984-85



Fig.27: Archivio dello spazio della Provincia di Milano

A livello governativo nell'ambito delle campagne catalografiche condotte dagli enti afferenti al Mibac, la fotografia è considerata elemento essenziale nel processo di documentazione e conoscenza di tutto il patrimonio culturale, dall'oggetto storico artistico, al sito archeologico, al bene demotnoantropologico immateriale (ICCD <http://www.iccd.beniculturali.it/>).

I recenti sviluppi della fotografia digitale infine, con lo sviluppo di nuovi sensori e l'elaborazione di software sempre più prestanti, determina l' utilizzo dell'immagine fotografica non solo come oggetto in sé, ma come fonte per l'estrazione di preziosi dati su forma, dimensioni, colore, nonché la realizzazione di sezioni e modelli tridimensionali. [26]

Il Paesaggio Geologico

Tra tutti i segni che si possono leggere nella complessità del sistema paesaggio, sicuramente quelli che costituiscono una base profonda

sono quelli fisici e geologici. Tutte le altre componenti dipendono in certo qual modo da questi; l'evoluzione e la sussistenza del genere umano, nonché gli sviluppi stessi della cultura, da sempre vengono influenzati dall'assetto geo-ambientale del territorio da cui dipende l'intero sistema ecologico; la distribuzione geografica delle specie animali e vegetali, le caratteristiche del suolo e quindi i suoi possibili usi da parte dell'uomo, la stessa distribuzione degli insediamenti. Basilari in questo senso i concetti chiave dell'Ecologia, che esprimono tutta la complessità delle relazioni tra popolazioni di organismi e ambiente fisico, incluse le strategie per sopravvivere, nutrirsi e riprodursi, dando luogo ad un sistema in equilibrio, l'Ecosistema [27]

Con 'paesaggio geologico' in linea generale si vuole intendere una componente specifica del territorio in cui l'aspetto geologico risulta dominante rispetto ad altri caratteri. Negli ultimi anni tale punto di vista ha acquisito particolare valenza, soprattutto se messo in relazione allo studio e all'analisi delle trasformazioni territoriali finalizzate all'elaborazione di piani paesistici e procedure di valutazione di impatto ambientale.

Il patrimonio geologico dunque rappresenta una componente fondamentale del patrimonio naturale e culturale dell'Umanità. Ogni territorio costituisce un *unicum* dal punto di vista geologico presentandosi per alcuni aspetti diverso da tutti gli altri: da qui il concetto di 'geodiversità'.

A livello europeo e in Italia, è soprattutto nell'ultimo decennio che si è avuto un generale incremento delle attività scientifiche che ruotano intorno al concetto di patrimonio geologico, soprattutto nell'ambito della definizione e classificazione dei cosiddetti 'geositi' o 'geotopi', termini spesso usati come sinonimi; il termine geotopo è stato definito dal geologo svizzero B. Sturm [28] come "*parte di paesaggio*

contenente un patrimonio geologico - geomorfologico prezioso e sensibile" una unità spaziale geograficamente omogenea chiaramente distinguibile dalle zone circostanti in rapporto ai processi geologici e geomorfologici da cui dipende.

L'approccio di Wimbledon (1995; 1999) lo vede come una "...area o territorio in cui è possibile individuare un interesse geologico o geomorfologico per la conservazione."

"La geoconservazione ha bisogno del più ampio riconoscimento tra il pubblico, ma necessita anche di una base pratica e tangibile: la conservazione del sito (che include la motivazione, la selezione, la protezione, la gestione, la pubblicizzazione e il coinvolgimento del pubblico) in ultima analisi costituisce la finalità essenziale. A tal fine è necessario che, al sito che si vuole conservare, venga attribuito un significato che possa essere considerato interessante per la più ampia fascia di persone...prima di attuare la conservazione è necessario arrivare al suo riconoscimento attraverso la sensibilizzazione delle istituzioni, del mondo accademico e della società più in generale..." (Wimbledon, 1999) [30]

Significativa la sintesi concettuale di G.B. Vai (1999) secondo il quale "il concetto astratto di bene geologico si concretizza in una serie di luoghi specifici, detti geositi"..."Sono almeno quattro gli aspetti più rilevanti dei geositi quali beni e patrimoni delle comunità locali e dell'intera umanità: uno storico (proiettato nei tempi preistorici, esclusivi della geologia), uno scientifico, uno documentale e/o esemplare ed, infine, uno di standard operativo e/o comunicativo" e ancora "...tutti i beni geologici...che abbiano una rilevanza per esemplarità di processi ed eventi del passato, rivestono un aspetto fondamentale... «ogni oggetto geologico», senza limiti superiori ed inferiori di dimensione, che sia in grado di illustrare un processo non comune, non ripetitivo e non ubiquitario avvenuto nel passato e di

consentirne la comprensione...è un bene la cui eventuale perdita è tanto più irreparabile, quanto più bassa è la sua frequenza sulla faccia della Terra..."; "...si applica a tutti quei beni geologici che rappresentino una qualche emergenza fisica, paesaggistica, estetica, o che rivestano una rilevanza per esemplarità di processi e eventi del passato". [31]

Con un tale punto di vista si annuncia chiaramente quello che sarà dagli albori del 2000 ad oggi il *trend* nella valorizzazione del patrimonio geologico, visto non come monumento statico, secondo una visione museografica, ma come componente dinamica del territorio che diviene strumento catalizzatore per la comunicazione e diffusione della cultura geologica. Tali valenze si inseriscono in diversi ambiti, dalla ricerca, alla divulgazione, alla pianificazione territoriale, nonché allo sviluppo socio-economico, creando condizioni per lo sviluppo di attività sostenibili, quali quelle che ad esempio Martini e Pages (1999) hanno indicato per il primo caso di Geoparco d'Europa, nell'Alta Provenza. [32]

In questo contesto il geologo è dunque chiamato a riconoscere la rarità e l'unicità di alcune parti di territorio, geotopi, geositi o beni geologici che siano, luoghi a cui viene attribuita dunque un'importanza testimoniale per la ricostruzione dell'intera storia geomorfologica di un territorio permettendo anche la previsione di dinamiche geo ambientali fin atto. Tali luoghi devono essere dunque valorizzati e tutelati alla stregua degli altri beni culturali. Questo processo avviene prima di tutto tramite riconoscimento e perimetrazione sulla cartografia e la successiva catalogazione.

Come uno dei primi casi in Europa di tutela del patrimonio geologico si può fare riferimento all'intervento di protezione dei massi erratici della Svizzera a partire dal 1867; le prime leggi europee di tutela per i siti geologici e mineralogici d'interesse entrano in vigore nel 1949.

Nel 1988 il concetto di geoconservazione si concretizza con la costituzione dell'*European Working Group for Earth Science Conservation*, in seguito ProGeo. [33]

Di particolare importanza i progetti internazionali “*Geosites*”, avviato nel 1995 dall'*International Union of Geological Science* [34] per la costituzione di un inventario informatizzato dei principali siti geologici a livello mondiale ed europeo; e “*Geoparks*” avviato dall'UNESCO [35] per la valorizzazione a livello mondiale dei siti di interesse geologico. [36]

In Italia un grande contributo è dato a partire dal 2000 dall'attività dell'ISPRA (ex-APAT), che ha costituito il 'Centro Nazionale di raccolta dati sui geositi', censiti e standardizzati in una scheda comune. Il 4 giugno 2009 si è svolto a Roma il workshop “Dal Censimento al Repertorio Nazionale dei Geositi. Esperienze a confronto.” In occasione del quale sono stati esposti i risultati raggiunti nell'individuazione dei criteri per il riconoscimento dei geositi di interesse nazionale. Al convegno hanno partecipato le tre principali associazioni scientifiche che si occupano di tutela del patrimonio geologico: ProGEO e SIGEA e l'Associazione Italiana di Geologia e Turismo. Gli atti del convegno sono disponibili sul sito ufficiale ISPRA. [37]

CASI DI STUDIO

Applicazioni multimediali integrate per la documentazione del paesaggio geologico e sua diffusione tramite web. Il 'Portale dei Paesaggi Geologici della Regione Toscana'.

Descrizione e obiettivi del progetto

L'attività del presente Dottorato di ricerca si è inserita nell'ambito del progetto 'Portale dei Geopaesaggi della Regione Toscana', nato dall'Accordo di collaborazione scientifica 2010/2011 tra Regione Toscana, Consorzio LaMMa, e Centro di GeoTecnologie dell'Università degli Studi di Siena .

La Regione Toscana con la Legge Regionale n. 56 del 6/4/2000, e in particolare con l'articolo 11, tutela la diversità di particolari forme naturali del territorio, qui definite come *'geotopo di importanza regionale: forma naturale del territorio, di superficie o sotterranea costituita da particolari emergenze geologiche, geomorfologiche e pedologiche, che presenta un rilevante valore ambientale, scientifico e didattico, la cui conservazione è strategica nell'ambito del territorio regionale'*

Obiettivo generale del progetto è la creazione di un sistema informativo territoriale, fruibile in rete tramite un portale web dedicato, che contribuisca a valorizzare il patrimonio geologico e storico-culturale della Regione Toscana, incrementando l'offerta turistica e promuovendo lo sviluppo della cultura e della conoscenza del territorio regionale a livello locale, nazionale e internazionale.

Partendo dalle conoscenze scientifiche in ambito geologico attualmente disponibili, le attività si sono focalizzate sulla lettura integrata del dato ambientale e culturale attraverso avanzati sistemi

informatici e multimediali per l'individuazione, la catalogazione e delimitazione di 'paesaggi geologici', chiamati qui 'geopaesaggi', ai fini della loro tutela, gestione, ma soprattutto fruizione. Navigando nel portale web, l'utente può visualizzare su una base cartografica interattiva molteplici livelli informativi integrati di tipo geologico, archeologico, culturale, turistico; schede fotografiche, viste panoramiche tridimensionali e video; Inoltre l'utente può scegliere e interagire con percorsi personalizzati sulla base di specifiche esigenze.

In tale contesto si è inserita l'attività di ricerca che, a partire dal 2010, ha costituito parte attiva di collaborazione in tutte le fasi di progettazione, ricerca ed elaborazione dei dati e dei prodotti finali. Parte esclusiva del lavoro, che viene in questa sede trattata in modo approfondito, è data dall'attività di documentazione dei siti di interesse geologico tramite tecnologie di fotografia digitale 'immersiva' e realizzazione di prodotti multimediali per la divulgazione su una piattaforma web appositamente strutturata.

Il progetto nel suo complesso ha visto il coinvolgimento di un gruppo di lavoro interdisciplinare del Centro di GeoTecnologie dell'Università degli Studi di Siena, con competenze specifiche nei campi della geologia, dei sistemi informativi territoriali, della cartografia tematica e della documentazione multimediale dei beni culturali. La realizzazione dei prodotti finali ha previsto attività di studio e ricerca in laboratorio, congiuntamente ad attività di ricognizione e documentazione diretta nelle aree di geopaesaggio individuate, secondo le seguenti fasi.

Fase 1: Individuazione e delimitazione dei geopaesaggi e dei relativi siti di interesse geologico

Questa prima fase ha portato all'individuazione di aree di interesse geologico nell'ambito della Regione Toscana, raggruppate omogeneamente dal punto di vista delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e paesaggistiche: i 'geopaesaggi'. Ha previsto la delimitazione cartografica di massima dei tali aree in base allo studio analitico della cartografia tematica regionale e provinciale (aree protette, parchi, piani paesistici) e della più recente cartografia regionale geologica ufficiale, dalle quali è stato possibile estrarre dati, perimetri ed ubicazioni. Da evidenziare il supporto esclusivo e dato dalla cartografia geologica 1:10 000 realizzata presso il Centro di Geo-Tecnologie a seguito di attività di rilevamento condotte a partire dal 2002 dal Servizio Geologico della Regione Toscana in collaborazione con le università toscane e il CNR., nell'ambito del progetto 'Continuum Territoriale Geologico della Regione Toscana', presentata in convegno il 26 gennaio 2012 presso Palazzo Strozzi di Firenze <http://www.geotecnologie.unisi.it/news.php?act=see&id=254>

Contestualmente all'elaborazione dei dati in laboratorio, sono stati effettuati sopralluoghi e campagne di rilievo fotografico volte alla conferma e alla documentazione delle situazioni di interesse per tutte le seguenti aree (Fig. 29) .

Per ciascuna area sono stati individuati siti di interesse geologico comprendenti anche i 'geositi' ufficiali censiti dall'ISPRA nonché siti di particolare interesse naturalistico e culturale.

1. ALPI APUANE
2. ABETONE
3. CRETE SENESI
4. VALDARNO
5. FORESTE CASENTINESI
6. ISOLA D'ELBA
7. PARCO DELL'UCCELLINA
8. MONTE ARGENTARIO
9. MONTE CETONA VAL D'ORCIA
10. ALTA VALLE DELL'ALBEGNA E DEL FIORA

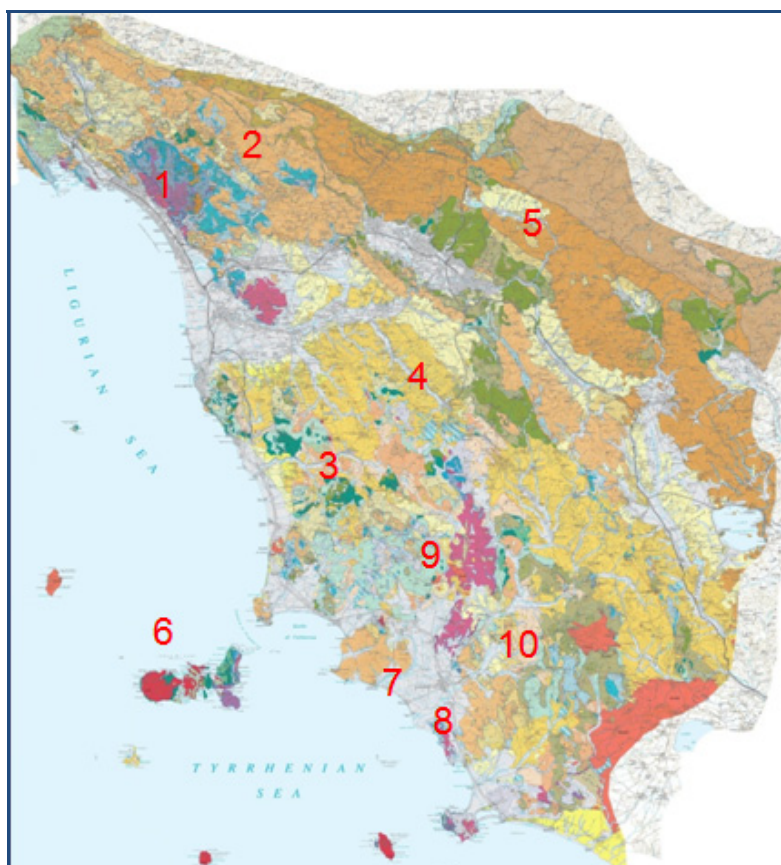


Fig 29: localizzazione dei *Geopaesaggi*

Fase 2: elaborazione dati, strutturazione del database in ambiente ArcGis

Modello logico e fisico della banca dati

La prima fase della creazione di una banca dati consiste nell'identificazione delle entità del dominio di conoscenza che si vuole descrivere e nel definirne le relazioni.

La struttura fisica adottata per tutte le entità prevede la loro organizzazione in strati informativi. Si tratta di un tipo particolare di file in cui viene garantita la connessione tra gli elementi grafici e gli elementi descrittivi, questi ultimi sono gestiti in forma di tabelle in un sistema di gestione automatico dei dati di tipo relazionale.

Nel modello fisico proposto, le proprietà geometriche di cui si è fatto cenno sono rappresentate non solo dalle primitive geometriche (punti, linee e poligoni) del sistema software adottato (ArcGIS), ma anche dalle relazioni di tipo spaziale tra i dati.

Le informazioni raccolte sono state inserite in un database geografico-informativo appositamente elaborato per la gestione dei dati e la loro restituzione cartografica. (Fig. 30)

Shape #	Definizione	Denominazione	Cronologia	Descrizione	Accessibili	Contatti	Siti	Immagini
Point	Chiesa	Chiesa dei Santi Pietro e Paolo	XIII-XIV sec.	Costruzione romanico-gotica del XIII-XIV secolo, in auto		Via Poggolo, Roccalbegna (GR) tel. 0564601117 - Via della Chies	http://	C:\GeoPaesaggi\Immagini\Roccalbe
Point	Chiesa	Chiesa di S. Maria Maddalena	XII sec. d.C.	La più antica citazione della chiesa risale al 1188, in auto			http://	C:\GeoPaesaggi\Immagini\Semproni
Point	Chiesa	Chiesa di S. Croce di Sempronio	XII sec. d.C.	È originaria del XII secolo, ma restaurata nel 1856, in auto	<Nub>		http://	C:\GeoPaesaggi\Immagini\Semproni
Point	Chiesa	Oratorio di San Rocco di Sempronio	XV sec. d.C.	Edificio a pianta rettangolare risalente al XV secolo, in auto	<Nub>		http://	C:\GeoPaesaggi\Immagini\Semproni
Point	Chiesa	Pieve dei Santi Vincenzo e Anastasio	Età medievale	Il paramento murario a filareto, il portale ed alcuni, in auto	<Nub>		http://	C:\GeoPaesaggi\Immagini\Semproni
Point	Chiesa	Chiesa della Madonna delle Grazie di Sempronio	XVI sec. d.C.	Fu edificata nel XVI secolo nel luogo precedente, in auto	<Nub>		http://	C:\GeoPaesaggi\Immagini\Semproni
Point	Chiesa	Pieve di S. Cristina	Età medievale	La chiesa in epoca medievale nella parte alta del, in auto	<Nub>		http://	C:\GeoPaesaggi\Immagini\Rocchet
Point	Chiesa	Chiesa di S. Martino	XVI sec.	Fu edificata in epoca cinquecentesca e ricostruit, in auto	<Nub>		http://	C:\GeoPaesaggi\Immagini\S_Martin
Point	Chiesa	Chiesa della Madonna del Conforto	XVI sec.	La Chiesa della Madonna del Conforto, è docum, in auto		Via XXIV Maggio in Cana, Cana	http://	C:\GeoPaesaggi\Immagini\
Point	Chiesa	Chiesa della Madonna del Rosario	XVI sec.	Origianria del XVI secolo e parzialmente alterata, in auto		Via Selvetti, Castell'Azzara (GR)	http://	C:\GeoPaesaggi\Immagini\
Point	Chiesa	Chiesa di S. Nicola	Età medievale	Costruzione a 3 navate, fu costruita in epoca me, in auto		Piazza 11 febbraio, Castell'Azzar	http://	C:\GeoPaesaggi\Immagini\
Point	Castello	Rocca aldobrandesca	XII sec.	La Rocca aldobrandesca costituisce la principale, in auto		Piazza Guglielmo Marconi n. 3, Roc	http://	C:\GeoPaesaggi\Immagini\Roccalbe
Point	Castello	Cassero	XII sec.	Il Cassero di Roccalbegna che sovrasta il luogo, in auto		tel. 056498032 - Via Roma, Roc	http://	C:\GeoPaesaggi\Immagini\
Point	Castello	Rocca Selvina	IX sec.	Il castello che vi sorge, l'imponente fortezza Aldo, in auto		Strada provinciale di Selvina, Sel	http://	C:\GeoPaesaggi\Immagini\
Point	Castello	Castello	XII sec.	Il castello di Triana sorge su uno sperone di rocc, in auto	<Nub>		http://	C:\GeoPaesaggi\Immagini\
Point	Castello	Rocca aldobrandesca di Saturnia	XI-XII sec. d.C.	La Rocca aldobrandesca di Saturnia si presenta, in auto	<Nub>		http://	C:\GeoPaesaggi\Immagini\Saturnia
Point	Castello	Castello aldobrandesco	XI-XII sec. d.C.	Il castello venne costruito tra il XII e il XIII secolo di, in auto	<Nub>		http://	C:\GeoPaesaggi\Immagini\Rocchet
Point	Castello	Rocca aldobrandesca	Età medievale	Si tratta di un antico castello medievale denomina, in auto	<Nub>		http://	C:\GeoPaesaggi\Immagini\
Point	Castello	Rocca aldobrandesca	XII sec.	La rocca fu costruita dagli Aldobrandeschi nel D, in auto	<Nub>		http://	C:\GeoPaesaggi\Immagini\
Point	Castello	Rocca aldobrandesca di Sempronio	IX sec. d.C.	La Rocca aldobrandesca di Sempronio, situata in auto	<Nub>		http://	C:\GeoPaesaggi\Immagini\Semproni
Point	Castello	Castello di Catabianco	XII sec. d.C.	Il castello venne costruito dalla famiglia Aldobran, in auto		tel. 0564987064, 3408697067 - e-htp://www.v	http://	C:\GeoPaesaggi\Immagini\
Point	<Nub>	Cisterna Medicea	XVII sec.	Venne realizzata agli inizi del Seicento per racco, in auto	<Nub>		http://	C:\GeoPaesaggi\Immagini\

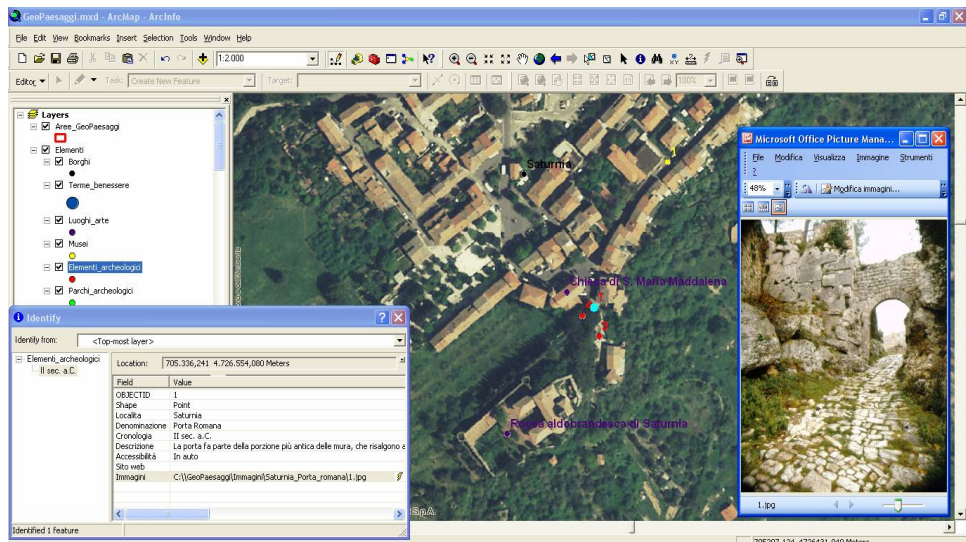
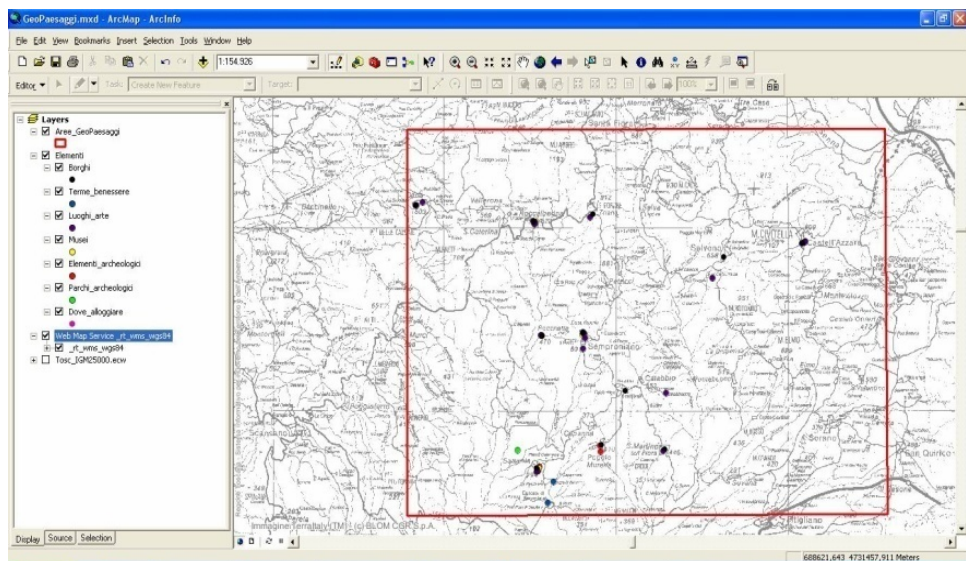


Fig 30: strutturazione geo-database in ambiente ArcGIS

Fase 3: elaborazione di cartografia dedicata per itinerari turistici geologici, ambientali e culturali

Al fine di facilitare i livelli di utenza e l'accesso ai dati tutti gli itinerari elaborati sono stati resi disponibili su piattaforma GoogleMaps. (Fig. 31)

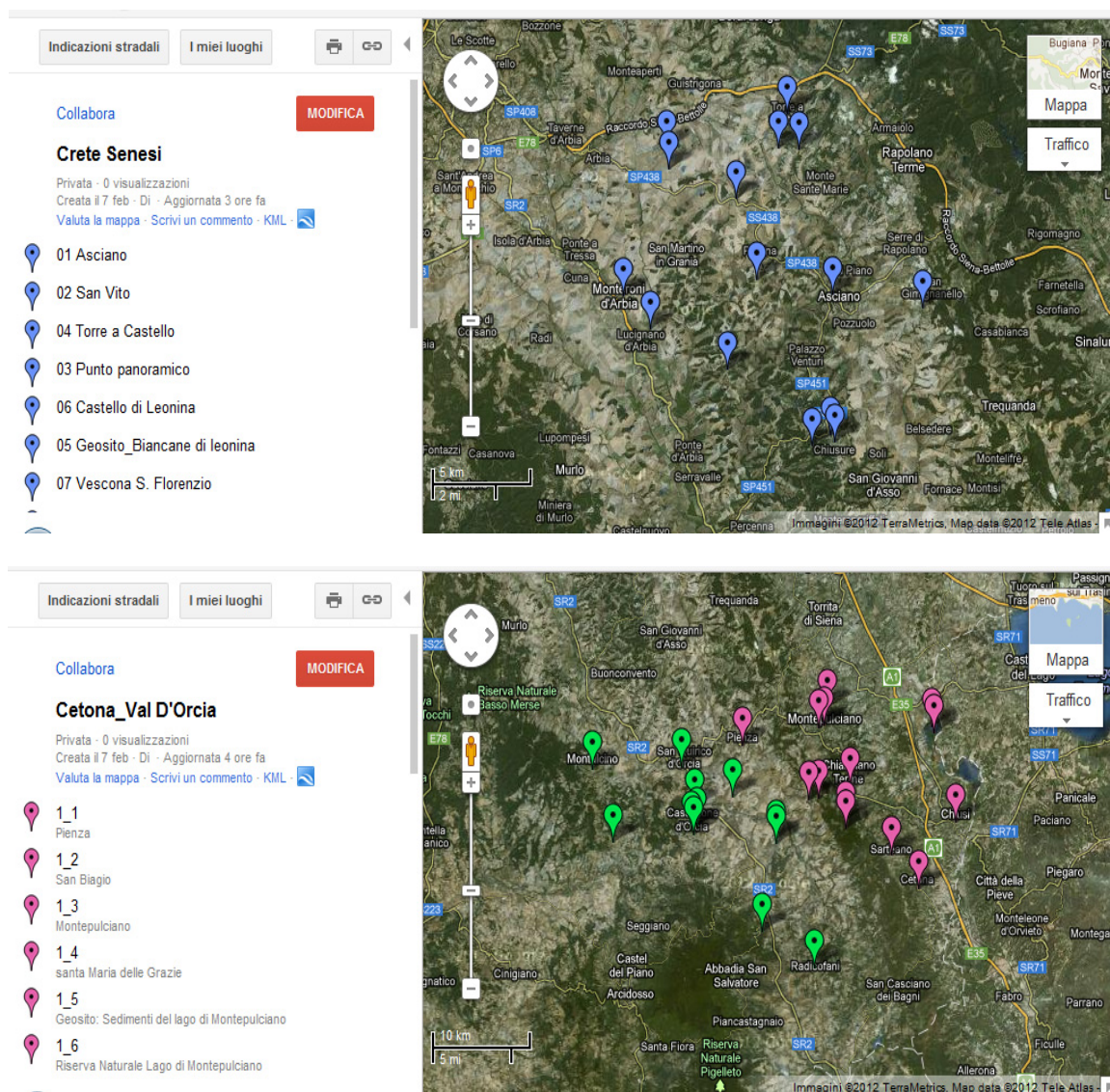


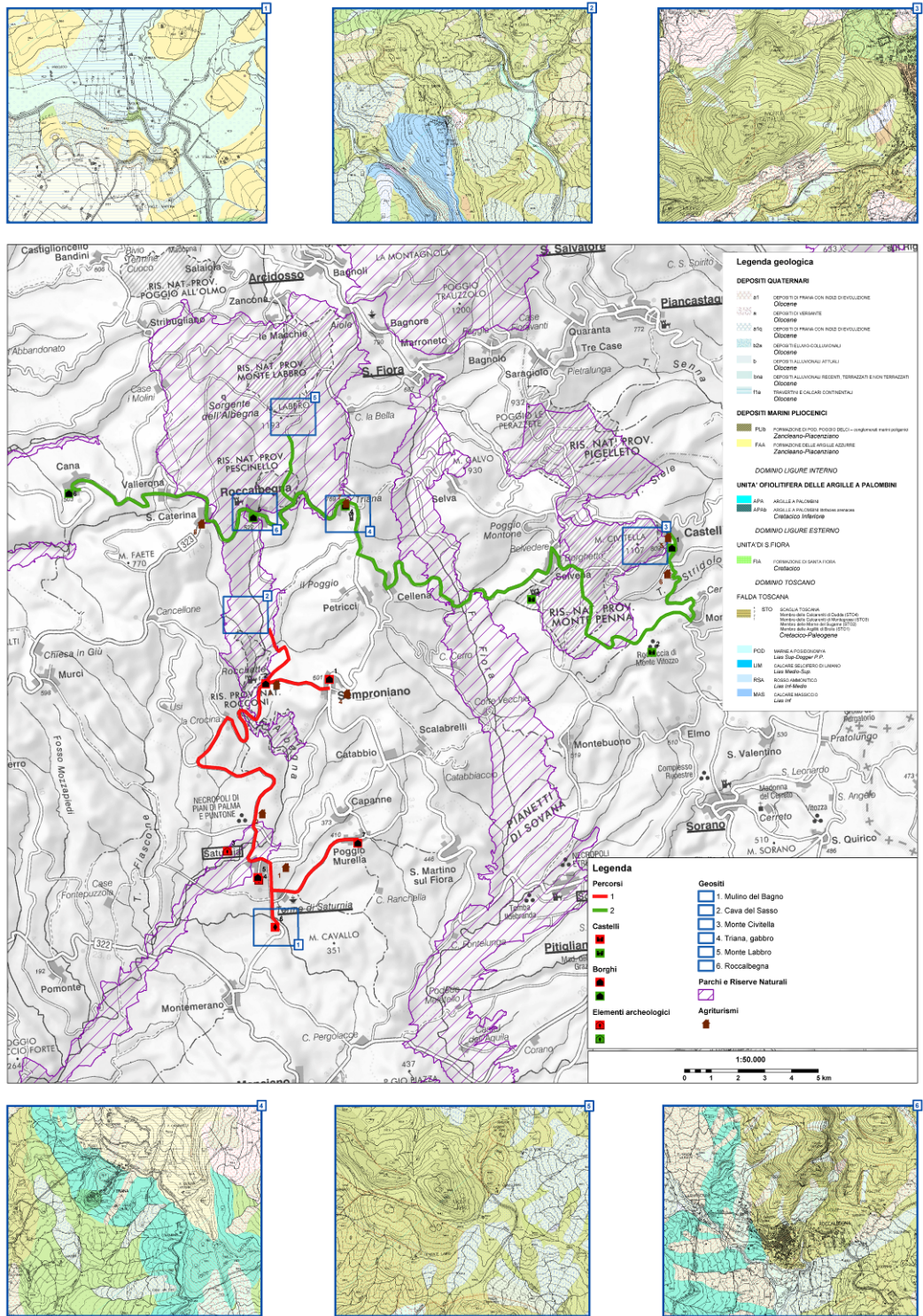
Fig 31: alcuni itinerari visualizzati su piattaforma Google Maps

E' stata elaborata una cartografia prototipale in formato cartaceo degli itinerari geologico-ambientali e culturali per due aree : Valdarno e Alta Valle dell'Albegna e del Fiora, così composta:

- Fronte: su base cartografica in scala 1:50.000, gli elementi geologico-ambientali e archeologico-artistici, i percorsi individuati e gli stralci della carta geologica regionale dei geositi

- Retro: le descrizioni delle singole tappe e dei siti di interesse geologico, corredate da immagini fotografiche e da indicazioni su eventuali strutture ricettive

(T av 1, 2 a, b)



Tav 2 : a) prototipo carta turistica Alta Valle dell'Albegna e del Fiara – fronte

Fase 4: realizzazione di Geo-Virtual Tour tramite tecniche di 'fotografia immersiva'

La Fotografia Immersiva

Negli ultimi anni la diffusione di fotocamere digitali e di software specifici sempre più evoluti hanno incrementato lo sviluppo di una particolare tecnica di ripresa chiamata 'fotografia immersiva'. Nata come naturale sviluppo della fotografia digitale, rappresenta un metodo multimediale estremamente versatile e di facile approccio per comunicare e diffondere il patrimonio culturale sia in ambito museale che tramite piattaforme web.

Questa metodologia di ripresa, definita anche come VR (*Virtual Reality*), genera ambienti virtuali fotografici: permette di ampliare il campo visivo dell'utente, che può navigare luoghi e ambienti a proprio piacimento, ruotando il punto di vista, fino a 360° orizzontali x 180°verticali, e avvicinarsi con elevato dettaglio tramite zoom ai particolari che più lo interessano, simulando una presenza fisica nella scena.

Nata inizialmente come *optional* funzionale per siti appartenenti al ramo turistico e immobiliare, per mostrare ad esempio interni di spa, hotel, abitazioni, oggi anche il colosso Google affascina i propri utenti grazie all'innovativo servizio *Street View* realizzato su scala mondiale, ma derivante proprio dalla stessa tecnologia; ultimamente sta trovando slancio nell'ambito della comunicazione e documentazione del patrimonio culturale. [38]

Il procedimento che consente di creare fotografie di questo tipo è detto *stitching*, cioè unione di più immagini insieme. Si può parlare di foto panoramiche quando abbiamo immagini molto più lunghe che larghe: con proporzioni generalmente di 3:1 o superiori, mentre il formato normale di una reflex è 3:2. Proprio tali proporzioni ci danno un'ottica che assomiglia a quella con cui di solito ammiriamo un panorama, da un lato all'altro. Con questa tecnica è inoltre possibile inquadrare più soggetti nella stessa foto anche se a differente distanza reciproca e rispetto all'osservatore. I limiti di ampiezza vengono stabiliti a seconda delle necessità e della valutazione estetica dell'operatore, potendo raggiungere come detto i 360°.

Uno dei vantaggi è di ottenere file immagine molto grandi ad elevatissima risoluzione. A tal proposito si parla in genere di 'foto mosaico' o di 'gigafoto', che non necessariamente mantengono quei rapporti visti per le foto panoramiche. Unendo più immagini, già caratterizzate da un'alta risoluzione, dovuta alle caratteristiche intrinseche del sensore posto nella fotocamera, si aumentano in maniera esponenziale le dimensioni e quindi anche il livello di risoluzione e di dettaglio potenzialmente raggiungibile sui particolari salienti della scena ripresa. Si ottengono dunque file n volte più grandi a seconda del numero di scatti, come se si fosse usato un sensore a risoluzione molto maggiore. Chiaramente è necessario disporre di pc molto prestanti capaci di gestire ed elaborare delle immagini così pesanti.

Anche se in commercio sono disponibili *software* che permettono di realizzare rapidamente foto panoramiche orizzontali, è bene sottolineare che per ottenere risultati di elevata qualità bisogna utilizzare un'attrezzatura specifica e avere una buona esperienza: ogni serie di scatti finalizzati alla realizzazione di una fotografia

immersiva presuppone un'accurata fase di pianificazione e la corretta esecuzione di acquisizione ed elaborazione dati.

Acquisizione dati

Attrezzatura

Fondamentale per realizzare un prodotto di elevata qualità, utilizzabile a fini di studio oltre che di visualizzazione e comunicazione, è la scelta di una attrezzatura adeguata che generalmente prevede le seguenti componenti:

La macchina fotografica

La prima scelta ragionevolmente passa dall'utilizzo di una macchina reflex di fascia alta che permetta di ottenere immagini ottime dal punto di vista qualitativo e relativamente al contenimento del rumore digitale.

L'ottica

La scelta dell'obiettivo è strettamente correlata al tipo di immagine che si vuole realizzare. L'utilizzo di una lente *fisheye* con una copertura di 180° sulla diagonale permettere di ottenere indubbi vantaggi in termini flessibilità durante l' esecuzione degli scatti. Con questa scelta ottica, sono necessari solo 6 scatti sul piano dell'orizzonte, e due sulla verticale , per un totale di 8 scatti complessivi. Per foto panoramiche orizzontali è sufficiente l'utilizzo di obiettivi con focali variabili tra i 18 e i 70 mm che coprono un'ampia gamma di casistiche. Per tecniche di fotomosaico sono più adeguate focali dai 70mm in su, a seconda del livello di dettaglio che si deve raggiungere e chiaramente dall'accessibilità dell'oggetto da riprendere.

Testa panoramica: errore di parallasse e punto nodale

Parallasse: 'Spostamento angolare apparente di un oggetto rispetto a un punto di riferimento, allorché lo si osserva da due punti di vista diversi' [39] (Fig. 32).

Il termine deriva dal greco *παράλλαξις* (*paràllaxis*), che significava originariamente *accavallamento*. Quando si osserva qualcosa che sta davanti a noi e poi ci si muove prima verso destra e poi verso sinistra si nota che la posizione dell'oggetto sembra cambiare. Per cui un oggetto sembra spostarsi rispetto allo sfondo se si cambia il punto di osservazione. Da un punto di vista quantitativo, con il termine parallasse si indica il valore dell'angolo di spostamento.



Fig. 32: effetto visivo dell'errore di parallasse

Punto nodale: tecnicamente possiamo descriverlo come quel punto nel quale il cono di luce che entra dalla lente frontale si incrocia per proiettarsi sul sensore digitale o sulla pellicola. Può essere pensato semplicemente come il centro ottico dell'apparecchiatura. Trovare il punto nodale è condizione necessaria per la buona riuscita di un'immagine panoramica. Questo varia da obiettivo ad obiettivo e molto raramente corrisponde al suo centro fisico. In alcuni schemi ottici può trovarsi in una posizione vicino alla lente frontale o anche davanti ad essa, mentre nel caso degli obiettivi zoom il punto nodale varia in funzione della lunghezza focale utilizzata.

(Fig. 33)

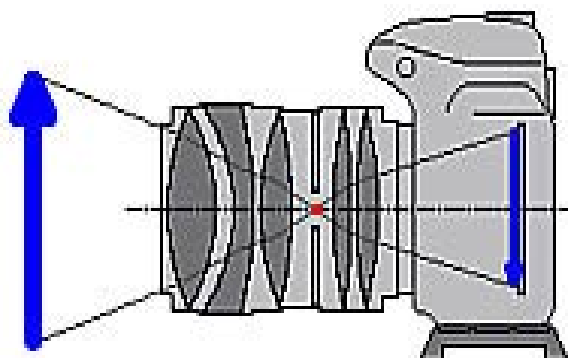


Fig. 33: localizzazione del punto nodale

Per unire le immagini adiacenti si effettua un'operazione che le distorce e le fa combaciare. Affinché questo procedimento riesca, la posizione relativa di tutti gli oggetti in ogni immagine deve rimanere invariata. Il problema maggiore è dato dall'errore di parallasse causato dai leggeri spostamenti della fotocamera: questa deve muoversi solo in senso rotatorio senza traslazioni. Se vi è uno spostamento anche minimo, alcuni elementi potranno risultare sdoppiati. La macchina deve dunque ruotare sul punto nodale che in

pratica resta sempre nella stessa posizione in tutta la sequenza di scatti. (Fig. 34)

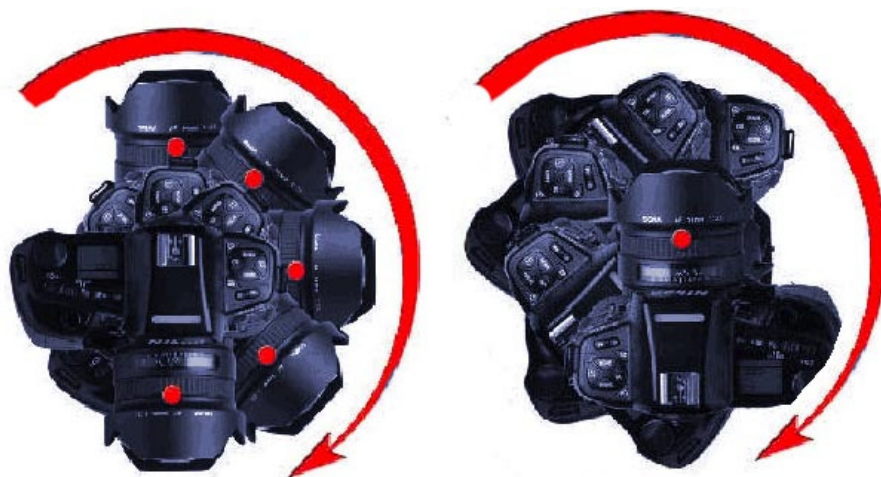


Fig 34: rotazione della fotocamera intorno al punto nodale. a sinistra una fotocamera che ruota sul suo asse: come si nota il punto nodale della lente (indicato da un punto rosso) cambia continuamente posizione con conseguenti distorsioni. Nell'immagine a destra, invece, la camera ruota attorno al punto nodale della lente che rimane sempre fisso

Elemento operativo essenziale è la 'testa panoramica'. Questa permette di bloccare la macchina fotografica in varie posizioni e di regolare con precisione la posizione della camera rispetto al punto nodale e correggere gli errori di parallasse.(Fig. 35)

Il punto nodale può essere individuato in modo empirico: si monta la macchina fotografica sulla testa e su un treppiedi in modo da visualizzare attraverso il mirino due oggetti verticali vicini, uno in primo piano e l'altro in lontananza. Guardando attraverso il mirino, si ruota la fotocamera e si fissa il sottile spazio tra questi due oggetti, se lo spazio aumenta o diminuisce si muove leggermente l'apparecchio in avanti o indietro finchè lo spazio non rimane invariato .[40]

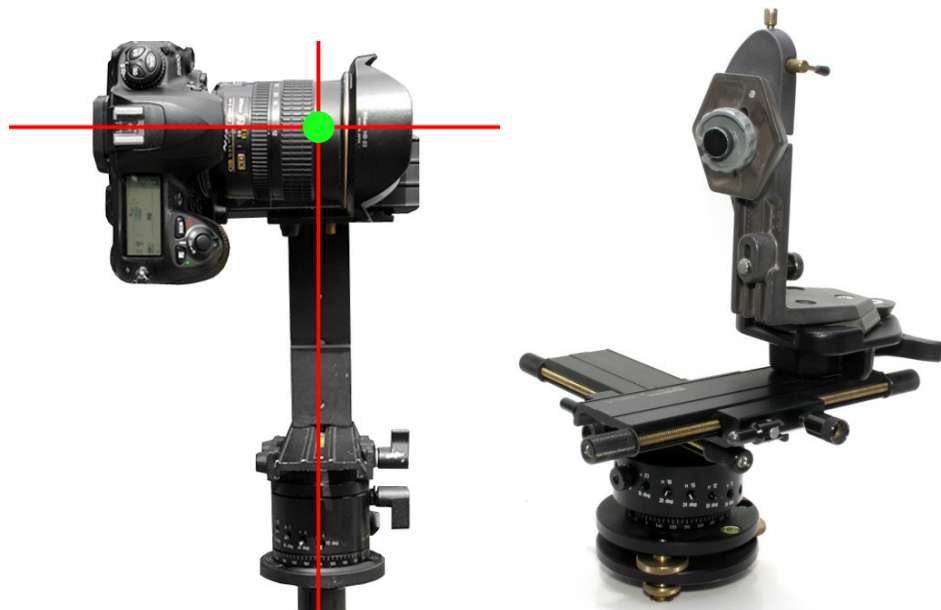


Fig 35: la testa panoramica montata. A sinistra viene evidenziata la posizione del punto nodale rispetto all'asse della focale e della testa panoramica

Treppiede

Il treppiede diviene fondamentale per l'esecuzione corretta degli scatti in quanto va a sostenere tutta l'attrezzatura e su di esso viene montata la testa panoramica. Deve essere sufficientemente robusto in modo da evitare il più possibile spostamenti e vibrazioni durante l'acquisizione delle immagini.

La bolla livellante

È necessaria per poter ottenere un rigoroso livellamento del sistema macchina - testa panoramica. Può essere montata sulla macchina fotografica o direttamente sul treppiede.

Preparazione della macchina fotografica per gli scatti

Per l'esecuzione degli scatti è necessario impostare tutti i parametri su modalità manuale:

- 1 la messa a fuoco
- 2 il bilanciamento del bianco
- 3 il tempo di scatto.
- 4 il diaframma.

Se infatti si usano gli automatismi, ogni singola foto avrà dei valori di esposizione, messa a fuoco e bilanciamento del bianco differenti e quindi inutilizzabili per la creazione di un'unica immagine.

È consigliabile impostare la qualità del file su RAW così poter effettuare successive modifiche sulle immagini anche dopo l'acquisizione.

Scatti

Una volta montata l'attrezzatura e impostati i parametri si procedere con l'esecuzione degli scatti che varieranno in numero a seconda della focale utilizzata e quindi della posizione del punto nodale. Oltre al minimo numero di scatti sono noti i valori di rotazione in gradi della macchina sulla testa panoramica, sia in orizzontale che in verticale per assicurare la corretta sovrapposizione delle immagini. Generalmente si scatta in posizione verticale pena scattare in formato verticale coprendo l'altezza del panorama con il lato lungo della foto.

Terminata la fase di scatto abbiamo tutte le immagini per procedere alla successiva fase di unione nella quale le singole immagini verranno fuse tra loro per generare una singola immagine di grandi dimensioni, in grado di coprire tutto l'orizzonte ripreso.

Sovrapposizione

Il processo di *stitching*, operato attraverso software dedicati, prevede che le immagini da unire abbiano un determinato grado di sovrapposizione, di circa 30 gradi, in modo che tra due foto adiacenti avvenga il riconoscimento di punti omologhi. La sovrapposizione deve essere tale da garantire il processo ma non eccessiva, in modo da non scattare più del necessario e avere file immagine inutilmente pesanti. Non esistono regole precise e molto dipende dal tipo di software utilizzato, ma anche dal tipo di scena che si riprende, a seconda che sia più o meno ricca di particolari utilizzabili come punti di aggancio tra le foto. Maggiori difficoltà si hanno in caso di spazi aperti con molto cielo, mare o terreni uniformi.

[40, 41]

Elaborazione dati

Software

Una volta eseguiti gli scatti si procede alle fasi di *stitching*, *unione*, utilizzando uno specifico software. In commercio ne esistono di diversi tipi e alcuni sono completamente automatici, permettendo di realizzare foto panoramiche anche ai meno esperti. Per ottenere risultati ottimali è bene orientarsi verso la scelta di programmi che permettano il maggior controllo possibile sulle diverse fasi del processo, operando scelte mirate a seconda del tipo di immagine da realizzare e a seconda dei singoli casi.

Flusso di lavoro: dall'elaborazione dati, dalle singole immagini al prodotto finale di fruizione.

- 1 Importazione delle immagini nel software
- 2 Allineamento delle immagini tramite individuazione di punti di controllo nelle zone di sovrapposizione: questa operazione può essere eseguita sia in modo automatico che manuale. Generalmente si utilizzano entrambi i metodi. Possono essere presenti degli errori di interpretazione da parte del programma o comunque può essere necessario aggiungere punti per migliorare il risultato finale. Sicuramente è necessario un controllo critico sui punti individuati automaticamente.
- 3 Ottimizzazione dei parametri ottici e di proiezione
- 4 Creazione del panorama: una volta settati tutti i parametri si procede con la definitiva unione delle immagini.
- 5 Elaborazione eventuale delle immagini create tramite programmi di foto-ritocco.
- 6 Creazione di file multimediale interattivo tramite un convertitore di formato: in questo modo l'utente può fruire l'immagine navigandola attivamente attraverso un mouse o semplici comandi di movimento e di zoom resi disponibili tramite interfaccia di vario genere. A questo scopo si utilizzano in genere due formati multimediali, *Flash* o *QuickTime*.

Geo-Panorami Virtuali: i Geopaesaggi della Regione Toscana

Acquisizione dati

L'acquisizione dati è stata portata avanti con la seguente attrezzatura (Fig. 36):

Fotocamera: reflex Nikon D200

Ottica: obiettivo Nikkor AF-S DX Zoom Nikkor 18-70mm f/3.5-4.5G IF-ED

Testa panoramica: Nodal Ninja NN4 e Rotatore RD16

Treppiede: Manfrotto 055Prox



Fig. 36: attrezzatura utilizzata per il rilevamento fotografico

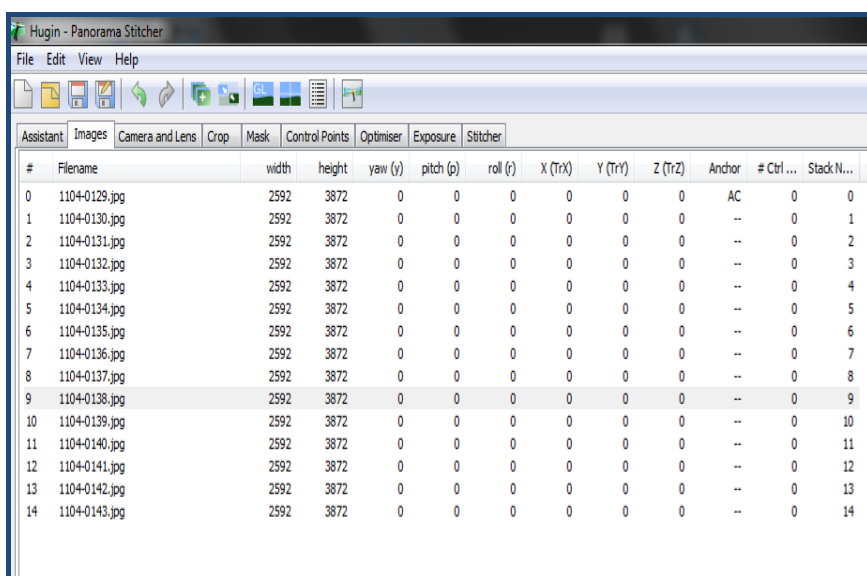
Elaborazione dati

Per la realizzazione del lavoro si è scelto di utilizzare il software open source multiplatforma *Hugin-Panorama photo stitcher*. [42]

L'interfaccia utente è essenziale e razionale e nello stesso tempo molto efficace, permettendo il massimo controllo su tutte le fasi di lavoro.

Di seguito vengono riportate le operazioni di elaborazione eseguite su ogni set di immagini per la realizzazione dei fotopanorami.

1. Le singole immagini sono state importate nel software. Questo è in grado di leggere i dati Exif dei singoli file determinando automaticamente la lunghezza focale dell'ottica utilizzata e il fattore di moltiplicazione che per il formato Nikon DX è a 1,5. Da questi dati viene determinato l'angolo focale corretto (FOV=field of view) per l'elaborazione dell'immagine finale (Fig. 37)



The screenshot shows the Hugin - Panorama Stitcher software interface. The main window displays a list of imported images with their metadata. The table below represents the data shown in the interface.

#	Filename	width	height	yaw (y)	pitch (p)	roll (r)	X (TrX)	Y (TrY)	Z (TrZ)	Anchor	# Ctrl ...	Stack N...
0	1104-0129.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	AC	0	0
1	1104-0130.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	1
2	1104-0131.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	2
3	1104-0132.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	3
4	1104-0133.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	4
5	1104-0134.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	5
6	1104-0135.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	6
7	1104-0136.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	7
8	1104-0137.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	8
9	1104-0138.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	9
10	1104-0139.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	10
11	1104-0140.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	11
12	1104-0141.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	12
13	1104-0142.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	13
14	1104-0143.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	14

Fig. 37: importazione immagini in *Hugin-Panorama photo stitcher*

2. Una volta caricati i file è stata individuata la cosiddetta immagine *anchor*, cioè il riferimento in base al quale vengono settati i parametri di posizione ed esposizione di tutte le altre immagini. (Fig. 38)

#	Filename	width	height	yaw (y)	pitch (p)	roll (r)	X (TrX)	Y (TrY)	Z (TrZ)	Anchor	# Ctrl ...	Stack N...
0	1104-0129.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	AC	0	0
1	1104-0130.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	1
2	1104-0131.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	2
3	1104-0132.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	3
4	1104-0133.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	4
5	1104-0134.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	5
6	1104-0135.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	6
7	1104-0136.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	7
8	1104-0137.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	8
9	1104-0138.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	9
10	1104-0139.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	10
11	1104-0140.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	11
12	1104-0141.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	12
13	1104-0142.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	13
14	1104-0143.jpg	2592	3872	0	0	0	0	0	0	--	0	14

Fig. 38: una delle immagini viene scelta come *anchor*

3. Si è proceduto poi con l'individuazione dei *control points*, cioè le coppie di punti omologhi nelle aree di sovrapposizione degli scatti successivi. È possibile dare indicazioni sul numero di punti da trovare. In questo caso si è operato con 200 . L'algoritmo utilizzato a tale scopo è quello proprietario di *Hugin*. Il software permette comunque di eseguire l'operazione anche con altri tipi di procedimenti matematici. (Fig. 38,39)

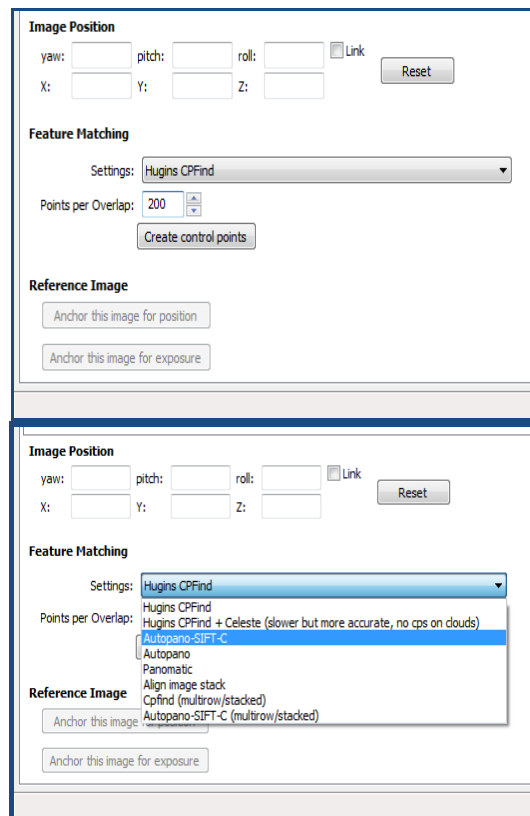


Fig. 38: scelta del numero di *control points*, a sinistra e dell'algoritmo di calcolo, a destra.

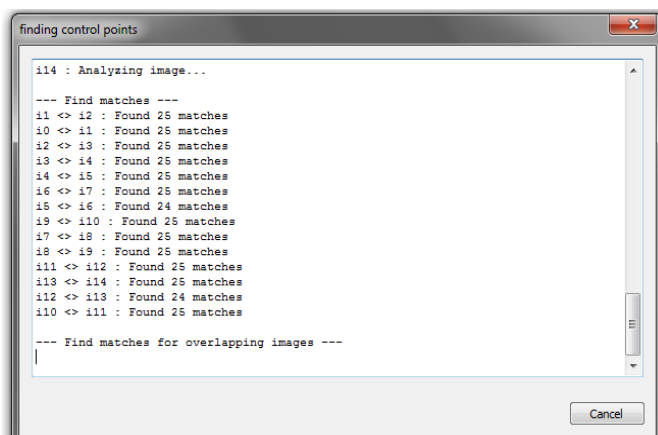


Fig. 39: analisi e individuazione dei punti omologhi tra le immagini

I punti omologhi individuati dal software possono essere gestiti manualmente, modificati e aggiunti, soprattutto in aree uniformi in cui il programma non riesce ad interpretare l'immagine o eliminati .

I punti individuati in automatico sono comunque stati monitorati per individuare possibili errori di interpretazione; in alcuni casi sono stati aggiunti nuovi set di punti per migliorare il risultato finale; è stato necessario intervenire soprattutto nelle aree uniformi quale cielo e prato. (Fig. 40, 41)

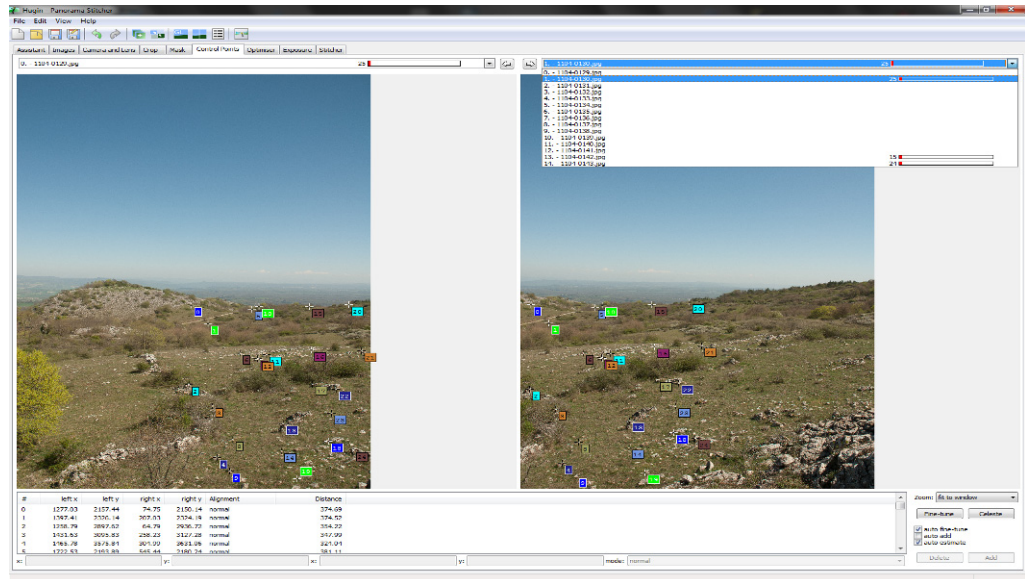


Fig. 40: visualizzazione di punti omologhi individuati. In alto a sinistra la barra di controllo con cui viene indicato il numero di punti individuati per ciascuna coppia di immagini.

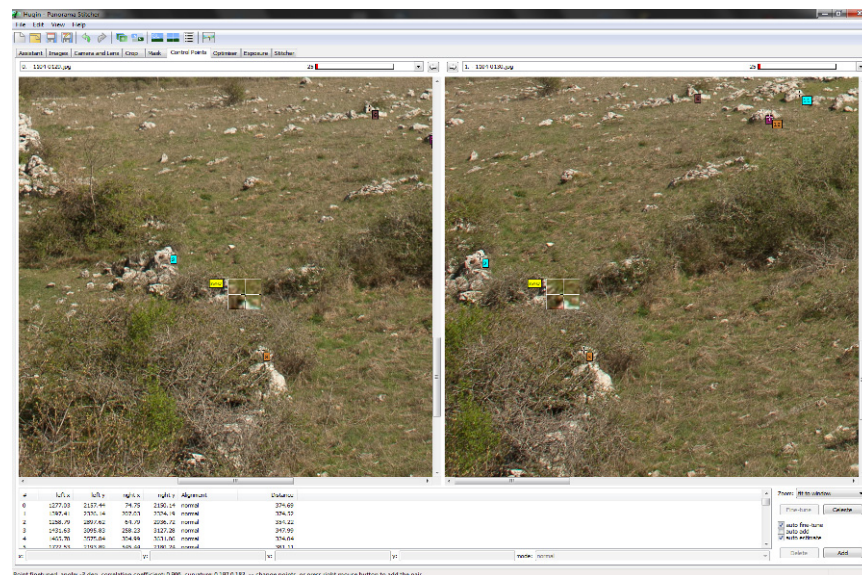


Fig. 41: individuazione manuali di punti omologhi tra immagini.

4. Hugin usa uno schema di posizionamento delle foto con cui vengono aggiustati l'orientamento delle immagini e i parametri della lente utilizzata fino all'allineamento dei punti di controllo. Tale processo è chiamato ottimizzazione. [42]

I parametri ottimizzabili sono:

- Posizione (y, p, r)
- Vista (v)
- Distorsione (a, b, c)
- Traslazione (d, e)

L'applicazione prevede diversi preset di ottimizzazione fra cui:

- Posizione (incrementale, a partire dall'immagine ancora)
- Posizione e Vista
- Posizione e Distorsione
- Posizione, Vista e Distorsione
- Posizione e Traslazione.

Prima di generare le immagini finali si è operata l'ottimizzazione di Position and Barrel Distortion (Fig. 42)

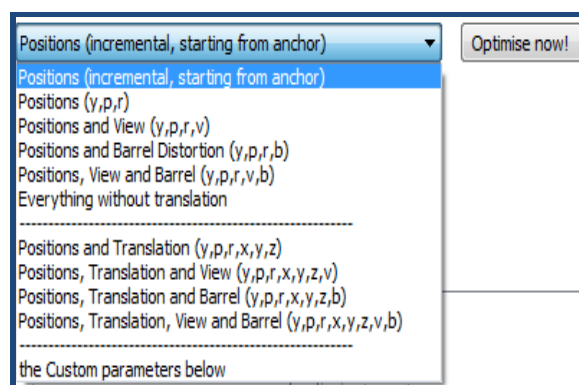


Fig. 42: scelta dei parametri di ottimizzazione

Una volta settati i valori il software fornisce precise indicazioni relative al livello di errore in base alla distanza media tra i punti omologhi individuati. (Fig. 43)

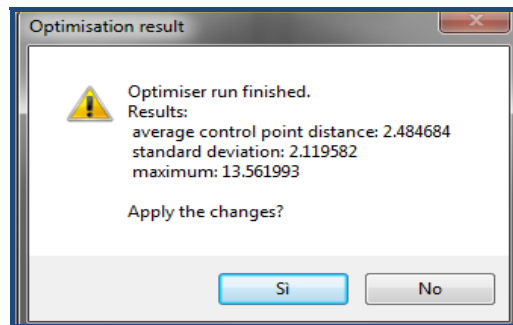


Fig. 43: indicazione del livello di errore

A seconda dei casi il software dispone di una ampia gamma di proiezioni. (Fig. 44)

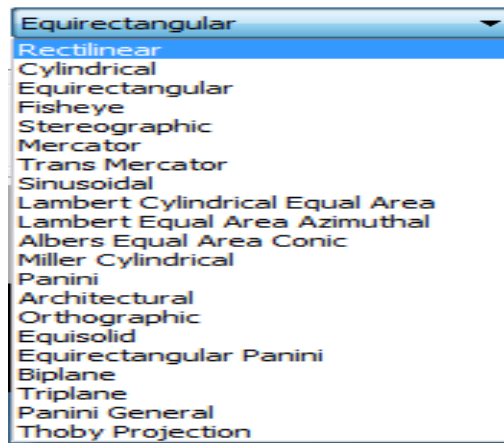


Fig. 44: tipi di proiezioni fornite dal software

In questo caso studio ne sono state utilizzate tre tipi:

EQUIRETTANGOLA - quando si proietta su una sfera 360x180

CILINDRICA - normalmente per angoli superiori a 120 per i panorami

RETTILINEA per i fotomosaici con un angolo inferiore in genere ai 120 gradi

5. Generando un'anteprima si è operato un *ceck* di diversi parametri visualizzando le connessioni tra le immagini, i punti di controllo e il tipo di proiezione.

Si sono inoltre corretti gli errori di livellamento, esposizione e bilanciamento del bianco.

(Fig. 45,46,47)

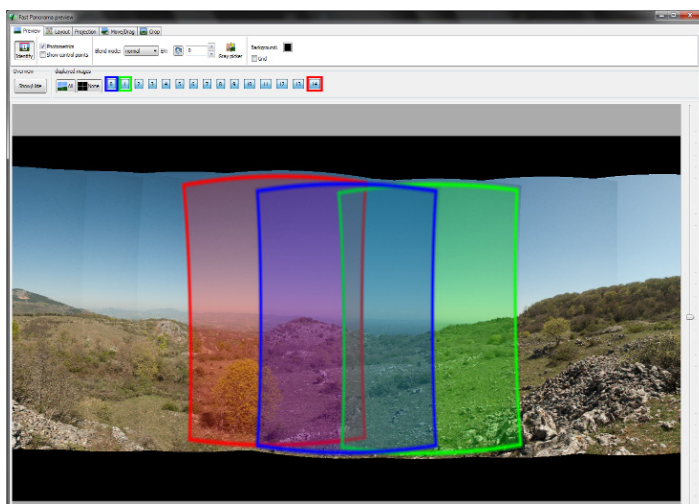


Fig. 45: anteprima, visualizzazione sovrapposizioni tra le immagini

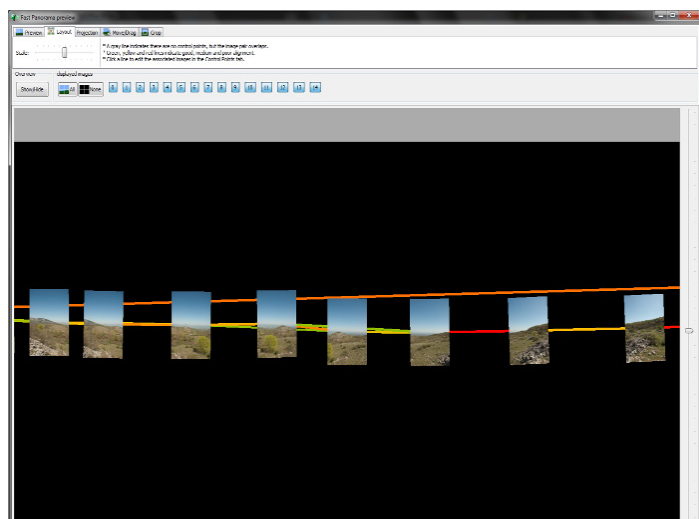


Fig. 46: anteprima, connessione tra le immagini

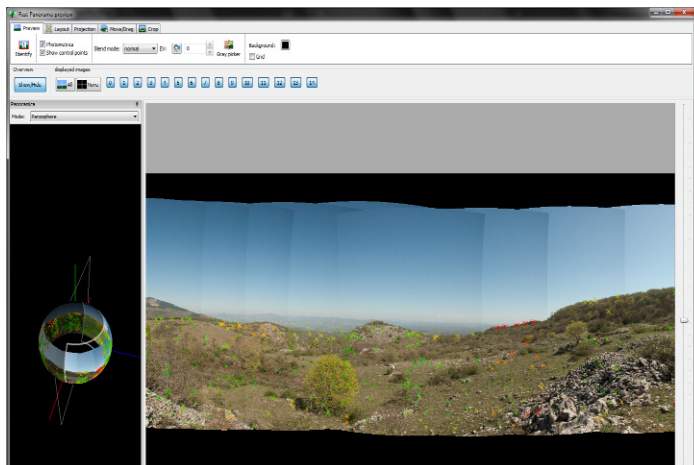


Fig. 47: anteprima, a sinistra la visualizzazione della proiezione,

7 Infine si sono generate le immagini . Tramite software è stato possibile calcolare le dimensioni ottimali alla resa. (Fig. 48)

Nelle tavole successive (Tav. 3, 4) vengono riportati alcuni dei geopanorami realizzati.

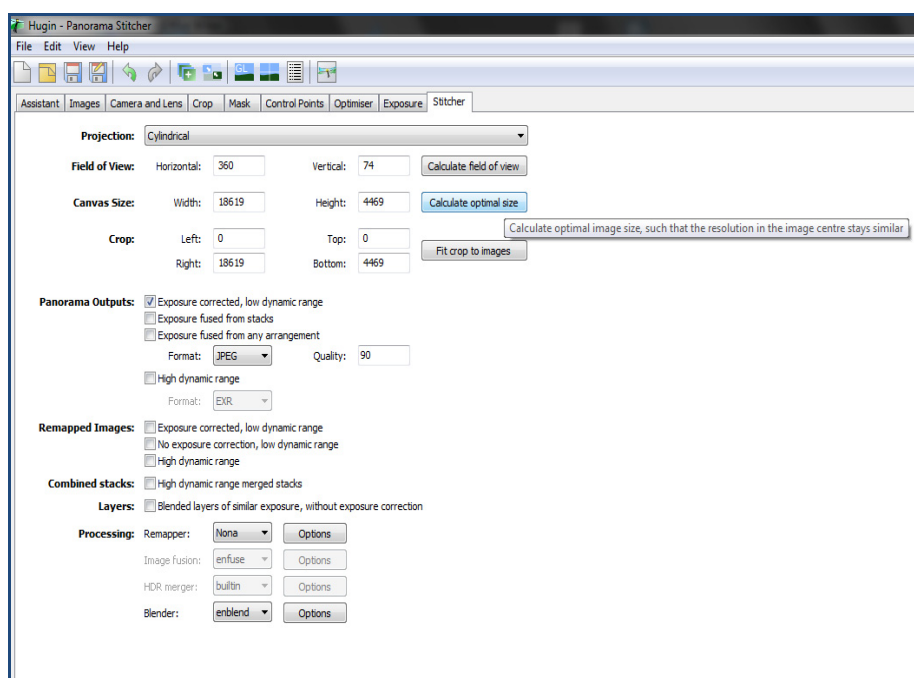


Fig. 48: individuazione delle dimensioni ottimali per la resa



Tav.3a: geo panorama 'Balze dell'Acqua Zolfina' – geopaesaggio Valdarno



Tav.3b: geo-panorama 'Biancane di Leonina' - geopaesaggio Monte Cetona Val d'Orcia



Tav.3c: geo-panorama 'Monte Civitella' – geopaesaggio Alta Valle dell'Albegna e del Fiora



Tav.4: geo-panorama 'Cava Torano' – geopaesaggio Alpi Apune

Creazione di 'finestre virtuali'

Le immagini panoramiche ottenute una volta esportate, sono state convertite in formato *QuickTime* per permettere la navigazione virtuale. A tale scopo è stato utilizzato Pano2QtimeVR software (Tav. 5).



Tav. 5: alcune delle 'finestre virtuali' realizzate in Qicktime

Sito Web dedicato per diffusione e fruizione dei Geo-Panorami Virtuali

Al fine di permettere la visualizzazione e la fruizione dei geopanorami virtuali realizzati, è stata creata una piattaforma web dedicata da integrare al 'Portale dei Geopaesaggi' della Regione Toscana.

Per La costruzione del sito web si sono utilizzati i seguenti linguaggi di programmazione, le cui applicazioni base sono state apprese, partecipando a corsi di formazione specifici, nel corso del Dottorato di ricerca.

HTML: come base per la costruzione del sito è stato utilizzato l'HTML, acronimo di *Hypertext Markup Language*, non un vero linguaggio di programmazione ma un 'linguaggio di contrassegno per gli Iper testi', 'di marcatura', cioè una serie di istruzioni testuali tramite le quali si indica come disporre gli elementi all'interno di una pagina web; dette istruzioni vengono interpretate da un programma esterno, il *browser* (ad esempio Explorer, Firefox...) che invia e riceve dati, comunicando con i server su cui si trovano le pagine web; quando incontra un codice HTML lo legge e visualizza il contenuto della pagina a seconda delle istruzioni che sono scritte in esso. Le indicazioni vengono date attraverso degli appositi elementi testuali, detti *tag*, in pratica le parole chiave che i browser traducono: un documento HTML non è nient'altro infatti che un file di testo che descrive le modalità di impaginazione, formattazione o visualizzazione grafica del contenuto, testuale e non. (Fig. 49)

Sviluppato verso la fine degli anni ottanta da Tim Berners-Lee al CERN di Ginevra. Si è diffuso in seguito ai primi utilizzi commerciali del web. Nel corso degli anni ha subito diverse revisioni,

ampliamenti e miglioramenti: è in via di definizione la versione HTML5

La sua sintassi è stabilita dal WC3 - World Wide Web Consortium [43], organismo internazionale che si occupa della definizione degli standard relativi alla creazione e pubblicazione di siti e portali web.

[44, 45, 46]

```
58 <body onload="initialize()"
59
60 <div id="container">
61
62 <header>
63 <hgroup>
64 <h1>GeoVirtualTour</h1>
65 <h2>I GeoPaesaggi della Regione Toscana</h2>
66 </hgroup>
67 </header>
68
69 <nav>
70 <ul>
71 <li><a class="selected" href="#">AREA1</a></li>
72 <li><a href="#">AREA2</a></li>
73 <li><a href="#">AREA3</a></li>
74 <li><a href="#">AREA4</a></li>
75 </ul>
76 </nav>
77
78 <div id="map_canvas"></div><hr>
79
80 <div id="luoghi">
81
82 <div class="luogo">
83 <div class="luogo_img"><a href="javascript:apri('pano/a01t01.mov');">
85 <div class="luogo_tit">Biancane di Leonina</div>
86 <p>Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Vivamus cursus vestibulum congue. Aenean
87 </div>
```

Fig. 49: estratto di HTML dal sito dedicato ai geo-panorami virtuali

CSS: il CSS, *Cascading Style Sheets* o Fogli di Stile, è uno dei fondamentali linguaggi di programmazione standard del WC3 (regole emanate dal 1996), costituisce il naturale complemento dell'HTML: mentre quest'ultimo come si è accennato deve essere visto semplicemente come un linguaggio strutturale, i CSS servono per arricchire l'aspetto visuale ed estetico di una pagina web. Il loro utilizzo è ormai molto comune, servono per migliorare l'aspetto estetico ed al tempo stesso facilitare la creazione e la manutenzione di siti web in quanto permettono di poter separare i contenuti veri e propri, definiti con l'HTML dalla formattazione, che viene trasferita su un altro codice, ottenendo una programmazione più chiara e facile da

utilizzare, sia per gli autori che per gli utenti. Se combinati con un linguaggio di scripting quale per esempio JavaScript, danno vita al DHTML ovvero un HTML Dinamico, consentendo di superare quelli che erano considerati un tempo i limiti di HTML standard. [44, 45, 46]

Di seguito possiamo vedere un semplice esempio di collegamento del CSS all'interno del codice HTML:

```
<html>
<head>
<title>Esempio</title>

<link rel="stylesheet" type="text/css"
href="foglio_di_stile.css"/>

</head>
```

E il caso specifico di uno dei fogli di stile utilizzati per il sito. (Fig. 50):

```

1  /* layout.css */
2
3  * {
4      margin: 0;
5      padding: 0;
6  }
7
8  body {
9      font-size: 14px;
10     text-align: center;
11     font-family: Verdana, sans-serif;
12 }
13
14 a {
15     text-decoration: none;
16 }
17
18 ul {
19     list-style: none;
20 }
21
22 hr {
23     display: none;
24 }
25
26 #container {
27     width: 770px;
28     margin: 10px auto;
29     text-align: left;
30     border: 2px solid;
31 }
32
33 header {

```

Fig. 50: foglio di stile esterno CSS

JavaScript: inventato da **Brendan Eich** è comparso in tutti i browser a partire dal **1996**. Tra i più popolari linguaggi di scripting, ideato per creare applicazioni di tipo dinamico delle pagine web, in genere integrato direttamente all'interno dell' HTML che, come si è visto, permette la realizzazione esclusiva di pagine di tipo statico.

[44, 45]

Nella realizzazione del sito sono state utilizzate specifiche funzioni Javascript (API-Application Programming Interface) per permettere l'integrazione personalizzata dei contenuti tramite Google Maps (Fig. 51).

```
20
21
22 <script type="text/javascript"><!--
23     function initialize() {
24         var myOptions = {
25             center: new google.maps.LatLng(43.2958, 11.4525),
26             zoom: 7,
27             streetViewControl: false,
28             mapTypeId: google.maps.MapTypeId.SATELLITE // SATELLITE, ROADMAP
29         }
30         var map = new google.maps.Map(document.getElementById("map_canvas"), myOptions);
31         var luoghi = [
32             ["Biancane di Leonina",43.295822,11.452475,"Biancane di Leonina<br><a href='j
33             ["MontePenna MonteCivitella",42.737370,11.686106,"MontePenna MonteCivitella<b
34             ["Cava Torano Piastra",44.094921,10.109868,"Cava Torano Piastra<br><a href='j
35             ["Balze Acqua Zolfina",43.611706,11.547403,"Balze Acqua Zolfina<br><a href='j
36         ];
37         infowindow = new google.maps.InfoWindow({
38             content: "temp",
39         });
```

Fig. 51: estratto Javascript per integrazione con GoogleMaps

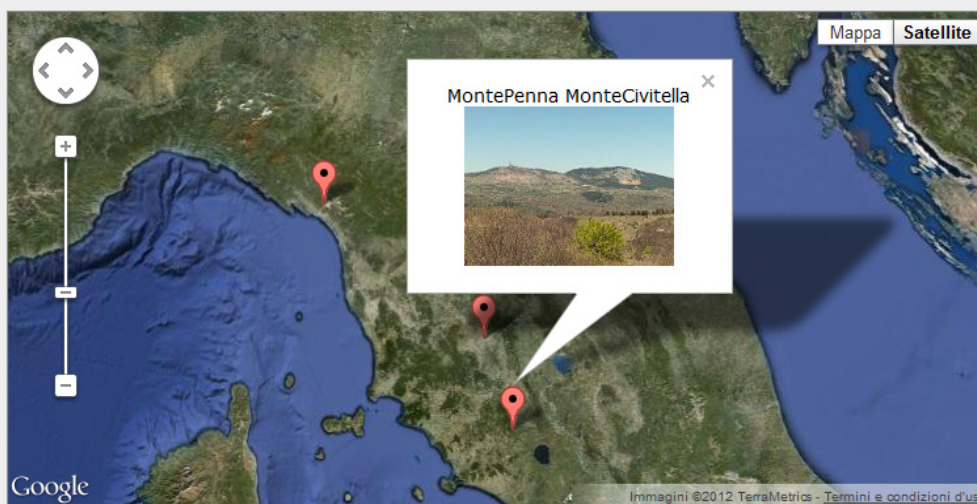
facilitando la fruizione dei geo-panorami da parte degli utenti,

Nelle tavole successive (Tav. 6, 7) è possibile visionare i risultati ottenuti.

GeoVirtualTour

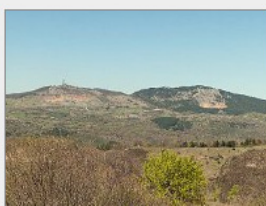
I GeoPaesaggi della Regione Toscana

AREA1 AREA2 AREA3 AREA4



Biancane di Leonina

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Vivamus cursus vestibulum congue. Aenean justo felis, dapibus eget sollicitudin vel, tincidunt nec diam. Praesent consectetur justo non libero pellentesque eget faucibus massa porttitor. Cras cursus libero et augue dignissim ultricies. Aenean lacinia orci tellus, at ultricies sapien. Quisque et aliquam purus. Phasellus id arcu leo, vitae bibendum velit. Curabitur pulvinar lorem ut purus consectetur facilisis. Donec scelerisque, erat scelerisque convallis hendrerit, lectus orci suscipit odio, sed porttitor diam sem convallis libero. Curabitur ullamcorper vulputate justo et porta. Maecenas ut enim mi. Fusce sit amet ligula lectus, ut consequat nibh. Maecenas scelerisque consectetur mauris, eget fermentum tellus tempus vitae. Integer vulputate condimentum mi vitae lacinia. Nulla porttitor commodo erat, nec placerat nisi tristique in.



MontePenna MonteCivitella

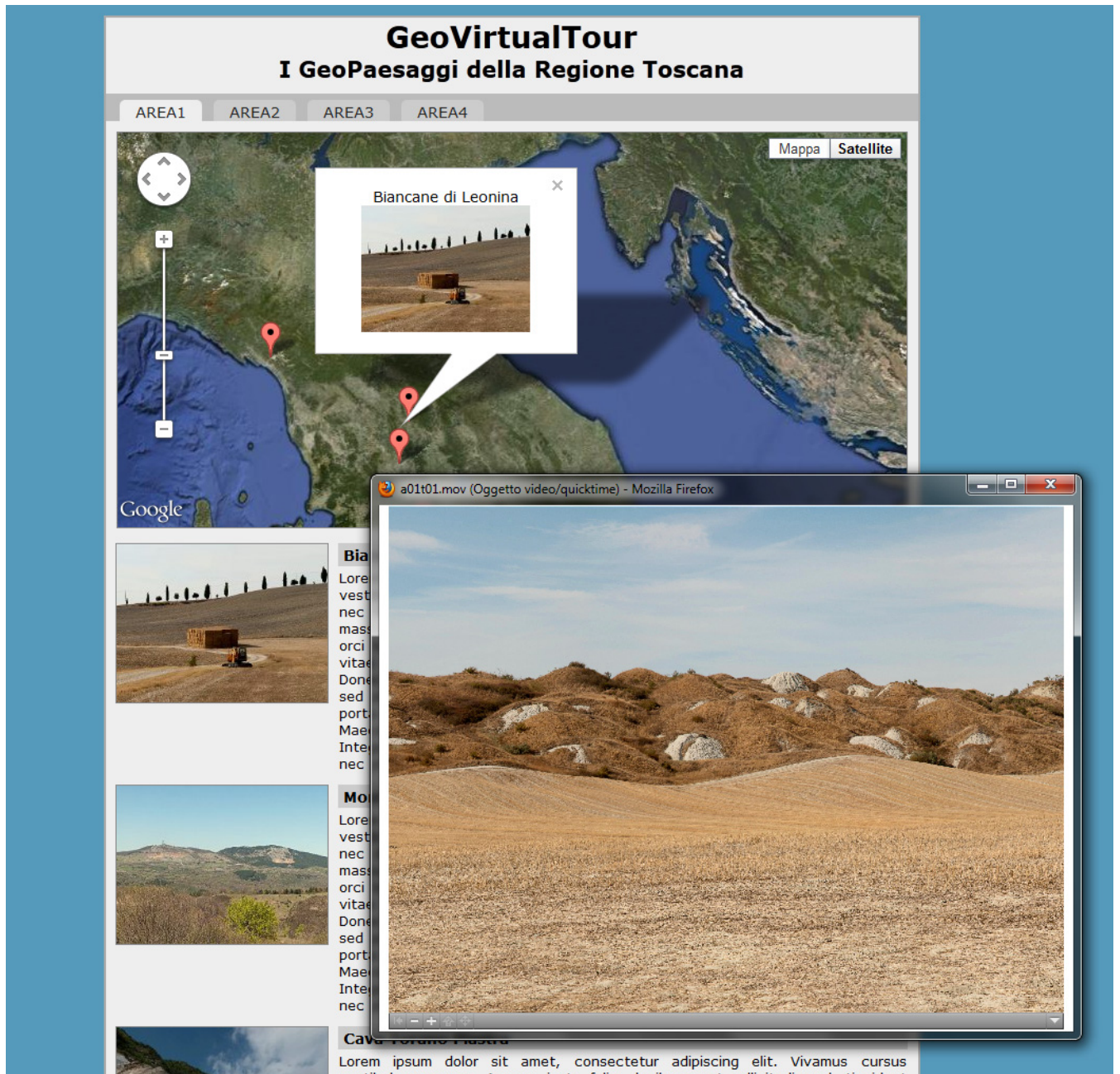
Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Vivamus cursus vestibulum congue. Aenean justo felis, dapibus eget sollicitudin vel, tincidunt nec diam. Praesent consectetur justo non libero pellentesque eget faucibus massa porttitor. Cras cursus libero et augue dignissim ultricies. Aenean lacinia orci tellus, at ultricies sapien. Quisque et aliquam purus. Phasellus id arcu leo, vitae bibendum velit. Curabitur pulvinar lorem ut purus consectetur facilisis. Donec scelerisque, erat scelerisque convallis hendrerit, lectus orci suscipit odio, sed porttitor diam sem convallis libero. Curabitur ullamcorper vulputate justo et porta. Maecenas ut enim mi. Fusce sit amet ligula lectus, ut consequat nibh. Maecenas scelerisque consectetur mauris, eget fermentum tellus tempus vitae. Integer vulputate condimentum mi vitae lacinia. Nulla porttitor commodo erat, nec placerat nisi tristique in.



Cava Torano Piastra

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Vivamus cursus vestibulum congue. Aenean justo felis, dapibus eget sollicitudin vel, tincidunt

Tav. 6: pagina web *GeoVirtual Tour* – tramite interfaccia Google Maps si accede alla visualizzazione dei panorami virtuali



Tav.7 pagina web *GeoVirtual Tour* – i panorami virtuali sono navigabili indipendentemente tramite finestre *QuickTime*

3D Laser Scanner Terrestre (TLS) per la documentazione del paesaggio culturale urbano e diffusione tramite web

Descrizione e obiettivi del progetto

Il lavoro qui presentatosi è svolto nel periodo aprile/2010-luglio/2010, in collaborazione con il gruppo di ricerca GIFLE - Photogrammetry & Laser Scanning Research Group presso il Department of Cartographic Engineering, Geodesy and Photogrammetry dell'Universidad Politecnica de Valencia – ES (<http://www.upv.es/organizacion/como-llegar-upv/campus-vera/index-en.html>), integrandosi in un progetto di valorizzazione, comunicazione e diffusione via web del patrimonio storico artistico della Comunità Valenziana.

Obiettivo principale della ricerca è stata la sperimentazione di rilevamento 3D con Laser Scanner Terrestre (TLS) a tempo di volo (TOF) di opere scultoree contemporanee di grandi dimensioni, parte di un contesto museale urbano all'aria aperta, il *'Museo al Aire Libre'* presso il *Campus de Vera* della *Universidad Politecnica de Valencia*.
[48]

Documentazione 3D del patrimonio culturale : stato dell'arte

La registrazione di posizione, dimensione e forma è una parte ormai imprescindibile per la maggior parte dei progetti correlati con la conservazione del patrimonio culturale, costituendo un importante momento nel processo di documentazione e analisi. Negli ultimi anni con l'introduzione di nuove tecnologie per il rilevamento, è cresciuta

enormemente la domanda relativa a informazioni spaziali tridimensionali.

I dati 3D costituiscono una componente estremamente utile per le attività di rilevamento di oggetti di importanza culturale; le attuali tecnologie permettono di ottenere risultati 3D molto realistici con fedele restituzione di dati morfometrici, utilizzabili in differenti ambiti: la costituzione di banche dati digitali, la documentazione, la creazione di musei virtuali e strumenti di divulgazione tramite web, la conservazione, il restauro

Le tecniche di misurazione manuali sono ormai poco pratiche per oggetti e siti di grandi dimensioni e diventa molto laborioso rilevare molte misure. Esistono diverse metodologie utilizzabili in questo senso e la scelta adeguata per il rilevamento 3D dipenderà da più fattori: dalla scala a cui possono essere usate, dalla misura dell'oggetto che deve essere rilevato, dal numero di misurazioni che devono essere fatte per la completa acquisizione dell'oggetto, dal livello stesso di complessità dell'oggetto. (Fig. 52)

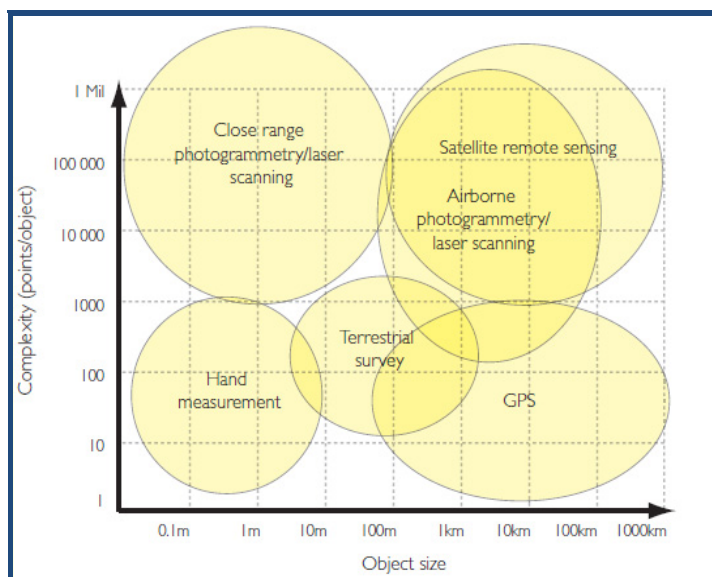


Fig. 52: tecnologie per il rilevamento 3D in rapporto alla scala dell'oggetto

Il continuo sviluppo di nuovi sensori, metodologie di cattura dati, rappresentazioni 3D ad alta risoluzione, e l'implementazione delle tecnologie già esistenti sta contribuendo in modo significativo allo sviluppo del settore della documentazione, conservazione e fruizione dei beni culturali, incrementando parallelamente la richiesta di sempre nuovi prodotti a diverse scale di risoluzione. Le tecnologie *reality-based* come la fotogrammetria e il laser scanner impiegano *hardware* e *software* per documentare la situazione di un oggetto, ricostruendolo da dati reali. Gli approcci *non-real* sono invece basati su software di computer grafica (3D Studio, Maya, Sketchup, ecc) e permettono la generazione di dati 3D senza alcun rilievo o conoscenza di un sito. [49]

Senza dubbio la realizzazione di modelli tridimensionali a fini conservativi e di documentazione richiede l'utilizzo di metodologie adeguate che abbiano precise caratteristiche: accuratezza, precisione ed affidabilità del dato sono importanti in ogni lavoro di rilievo, anche se finalizzato solamente alla visualizzazione e comunicazione; trasportabilità delle attrezzature, in quanto spesso i siti da rilevare sono difficilmente accessibili; costi, che dovrebbero essere il più possibile ridotti; velocità di acquisizione dati, la più rapida possibile, in relazione alle esigenze di permanenza in un sito e ai relativi costi; flessibilità, a causa della grande varietà e dimensioni dei luoghi e degli oggetti, la tecnica utilizzata dovrebbe permettere diverse scale e essere applicabile a maggiori condizioni possibile (Fig 53 a, b).

[50,51]



Fig. 53: a,b) rilevamento notturno e accessibilità; c,d) trasportabilità delle attrezzature

Fotogrammetria e laser scanning sono le tecniche oggi maggiormente usate per ottenere un gran numero di misure per oggetti complessi anche di grandi dimensioni, utilizzate anche in volo aereo, così da coprire aree molto estese. Anche il GPS può essere utilizzato in aree con simili estensioni ma il numero di punti registrati se comparato con rilevamenti aerei è comunque limitato e richiede tempi più lunghi.

Diversi gruppi di ricerca hanno realizzato modelli digitali di altissima qualità contribuendo contemporaneamente alla elaborazione di linee guida, definendo gli standard adeguati per un corretto rilevamento e una completa documentazione. [52, 53, 54, 55]

Recentemente molti studi si orientano all'utilizzo integrato di tecniche differenti per aumentare il livello qualitativo dei modelli 3D: accuratezza, definizione delle geometrie e caratteristiche di colore. Un tale tipo di approccio, che permette analisi di forma e dimensione ad altissima risoluzione viene applicato soprattutto nei casi di oggetti complessi quali siti archeologici e architetture. [56,57]

Tecnologia Laser Scanning: principi generali

Per *Laser Scanning* ci si riferisce ad una metodologia di rilievo nella quale una superficie viene scansata utilizzando una tecnologia laser. Come definizione generica di laser scanner si può considerare la seguente:

“any device that collects 3D co-ordinates of a given region of an object's surface automatically and in a systematic pattern at a high rate (hundreds or thousands of points for second) achieving the results (ie three-dimensional co-ordinates) in (near) real time.”
(Bohler e Marbs, 2002) [58]

È uno strumento di rilievo tridimensionale ad alta precisione; dirigendo fasci di luce laser polarizzata che 'pennellano' la superficie di determinate regioni dello spazio o di uno specifico oggetto, cattura, in modo accurato e non invasivo, grandi quantità di coordinate spaziali e caratteristiche di colore e riflettività, con elevata rapidità per migliaia di rilevamenti al secondo. I dati tridimensionali vengono acquisiti sotto forma di 'nuvola di punti' o *range map* (mappa delle distanze): un insieme di coordinate x, y, z, riferite ad un'origine, rappresentata dal punto in cui viene posizionato lo strumento, che permette la comprensione della distribuzione spaziale di un oggetto. L'insieme dei punti misurati, caratterizzati da una certa varietà cromatica dovuta al valore di riflettività, la quantità di luce incidente

che una data superficie è in grado di riflettere, strettamente correlato alle caratteristiche del materiale colpito dall'impulso laser, variabili a seconda delle condizioni di ripresa, costituiscono da subito, per loro natura, un primo modello tridimensionale digitale. (Fig. 54). Quanto maggiore è la risoluzione impostata per l'acquisizione tanto più densa sarà la nuvola di punti e quindi il dettaglio della rappresentazione. Alcuni scanner , caratterizzati da fotocamera digitale incorporata sono in grado di rilevare anche la mappatura fotografica dell'oggetto , il valore RGB, cioè il valore cromatico del punto acquisito.

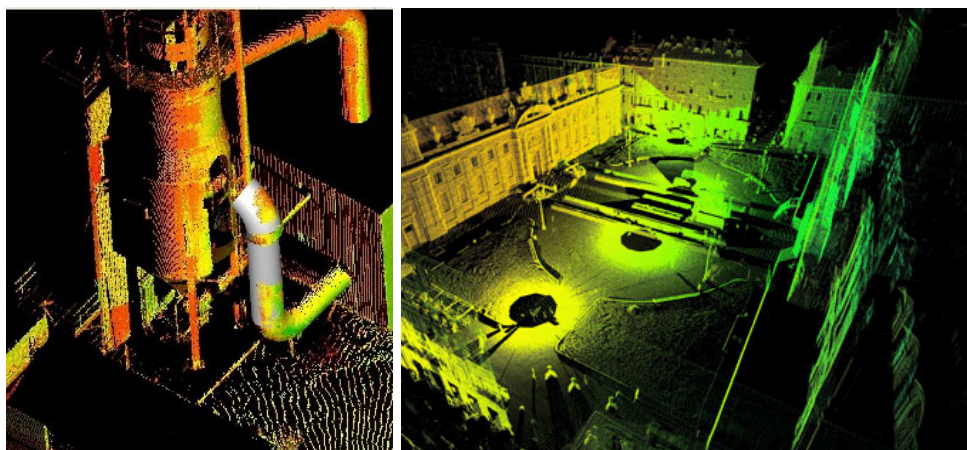


Fig. 54: nuvole di punti ottenute da rilevamento con laser scanner

Una tale metodologia di indagine consente di pensare in un modo nuovo alle attività di registrazione, analisi ed archiviazione dei dati, vista la possibilità di rilevare oggetti con una densità di informazioni che non può essere raggiunta, in tempi ragionevoli, con nessun metodo di rilevamento di tipo tradizionale. Il modello tridimensionale ottenuto costituisce una vera e propria banca dati, che consente di estrapolare informazioni morfologiche e geometriche ed estrarre piante, sezioni 2D e alzati. [59,60,61]

Dati gli innumerevoli vantaggi applicativi tra i quali la possibilità di effettuare misure che non richiedono il contatto con l'oggetto,

l'elevato grado di accuratezza, il lungo raggio, la velocità di acquisizione dei dati, la tecnologia del laser scanner, inizialmente utilizzata per applicazioni di design industriale, sta trovando campo fertile in numerose discipline contribuendo a migliorare sia lo studio geometrico degli oggetti , con la rigorosa analisi e comprensione di forme complesse, e, ultimo ma non meno importante, la loro diffusione su piattaforme multimediali [51,62].

Tra i campi di applicazione:

rilievo architettonico

rilievo e catalogazione del patrimonio culturale

rilievo geologico e geomorfologico

topografia e territorio

ingegneria civile e progettazione urbana

(Fig. 55)

Tipologie di Laser Scanner

I laser scanner possono essere suddivisi in diverse categorie.

Statici e dinamici: nei primi lo strumento è fisso in una posizione durante l'acquisizione dati. I vantaggi di un loro utilizzo sono dati dall'alta precisione e da una elevata densità di punti rilevati. Rientrano in questa categoria i TLS (*Terrestrial Laser Scanner*). (Fig. 55)



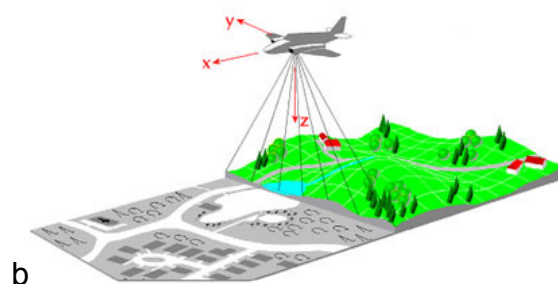
Fig. 55: rilevamento con TLS geomorfologico presso la discarica di Scarpino (GE)

Nella seconda categoria lo scanner è montato su una piattaforma mobile. Si hanno ad esempio gli scanner ALS (*Airborne Laser Scanning*) che vengono montati su velivoli, e quelli montati su automobili o UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*). (Fig. 56)

In base al principio di funzionamento i laser scanner si distinguono in triangolatori e distanziometrici. [62]



a



b

Fig. 56: a) *Airborne Laser Scanning*; b) *Unmanned Aerial Vehicle*

Sistemi a Triangolazione

Sono chiamati in questo modo in quanto la tecnica di misurazione si basa sui principi della triangolazione. Il raggio laser emesso, sotto forma di punto o linea (*spot o stripe*) deflesso mediante uno specchio rotante, viene proiettato sulla superficie di un oggetto e riflesso da questo viene catturato da una camera digitale. Poiché sono fissate e note le posizioni relative del punto di emissione del laser che vanno a formare un triangolo insieme al punto di riflessione del raggio, è immediato, sulla base delle leggi trigonometriche il calcolo della posizione dei punti nelle tre dimensioni. Il meccanismo è chiaramente illustrato in figura. (Fig. 57)

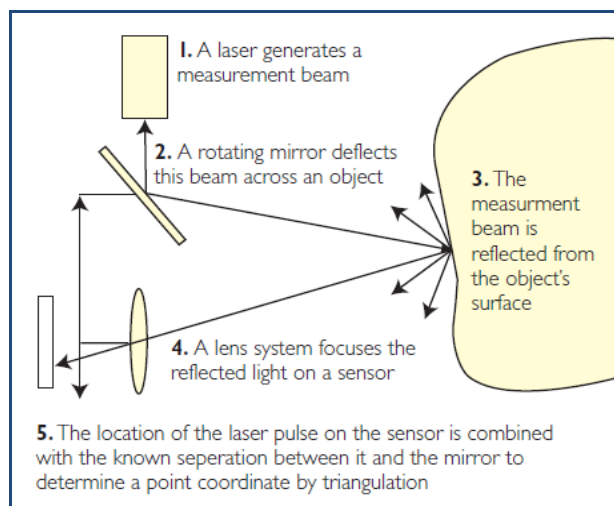


Fig. 57: funzionamento dei sistemi laser a triangolazione

Alcuni sistemi di triangolazione richiedono che l'oggetto, posizionato su un supporto girevole, ruoti di fronte allo scanner in posizione statica. Alternativamente lo strumento può essere montato su di un braccio meccanico mobile.

I misuratori laser a triangolazione sono i più utilizzati per effettuare misure di precisione in campi da pochi millimetri fino a dieci metri.

Sono adatti all'acquisizione di oggetti a piccola e media scala, forniscono accuratèzze dell'ordine di poche decine di micron, permettono di realizzare campionamenti molto densi (4-10 *sample* per mm²) con tempi di scansione generalmente bassi. Nella maggior parte dei casi con questo tipo di sistema la distanza scanner-oggetto è pari a meno di 0.5m; alcuni possono raggiungere range di misurazione di circa 25m, sebbene a questa distanza perdano in accuratezza. Tali caratteristiche sono particolarmente indicate nel caso in cui si vogliano monitorare e misurare direttamente i cambiamenti sulla superficie di un bene culturale dovuti a processi di degrado. [63]

Sistemi distanziometrici

In questo gruppo si trovano due tipologie di sistemi che operano con principi di funzionamento molto diversi, ma che per l'utilizzatore presentano caratteristiche analoghe: gli scanner a differenza di fase e a tempo di volo. Entrambi sono detti distanziometrici in quanto come risultato della misura si ha la distanza fra il centro dello strumento e il primo punto che il raggio incontra; la distanza, insieme alla conoscenza dei due angoli di emissione del raggio, consente di determinare per coordinate polari la posizione del punto in questione. I sistemi laser che utilizzano la differenza di fase sono caratterizzati da un'elevata densità di punti acquisiti e velocità di acquisizione.

Scanner a Tempo di Volo TOF (Time Of Flight)

Sistemi basati sulla misura del tempo di volo (andata e ritorno) della pulsazione laser; Il principio di funzionamento si basa sul tempo che impiega il segnale laser emesso a ritornare allo strumento; dato che la velocità della luce è costante la misura del tempo di volo consente di

stabilire la distanza del punto dal centro strumentale mediante la seguente operazione:

$$Z = c \times \tau / 2$$

(dove c = velocità della luce nel vuoto, τ = tempo di volo)

La distanza, insieme alla conoscenza dei due angoli di emissione del raggio, consente di determinare per coordinate polari la posizione del punto in questione. Tali coordinate possono essere visualizzate in un sistema cartesiano X,Y,Z con origine nel centro dello strumento.

Lo strumento è costituito, in linea generale, dai seguenti componenti: un generatore laser, che emette impulsi di luce infrarossa, indirizzati e convogliati da una lente di emissione; un sistema di specchi rotanti, necessari per deflettere il raggio; una lente di ricezione, che capta la parte del segnale di eco del raggio laser riflesso dalla superficie di impatto dell'oggetto; un diodo ricevitore che produce un segnale di ricezione elettrico; un orologio stabilizzato al quarzo, che misura l'intervallo di tempo tra segnale emesso e riflesso. In figura è rappresentato il principio di funzionamento. (Fig. 58)

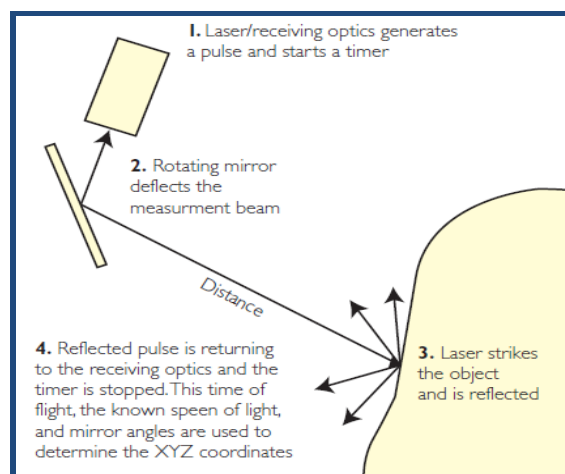


Fig. 58: funzionamento dei sistemi laser a tempo di volo (TOF)

Questi sistemi sono meno accurati di quelli a triangolazione, tra 3mm e 6mm , ma offrono il vantaggio di operare a maggiore distanza (mediamente tra 2m e 100m) e ad una velocità di acquisizione dei punti elevata, con tempi operativi nell'ordine di circa mezz'ora per singola scansione con circa un milione di punti rilevati. Sono adatti a all'acquisizione di oggetti a media e grande scala (edifici, monumenti, siti archeologici, topografie...); permettono di realizzare campionamenti relativamente densi (nell'ordine di un campionamento per cm²).

Scanner a differenza di fase

Gli scanner che operano con differenza di fase utilizzano un raggio laser, modulato con un'onda armonica, per scansionare lo spazio punto per punto e calcolano la distanza del punto dal centro dello strumento mediante un circuito che determina la differenza di fase tra l'impulso emesso e quello riflesso e di conseguenza il tempo necessario all'onda per percorrere la distanza da calcolare. (Fig. 59)

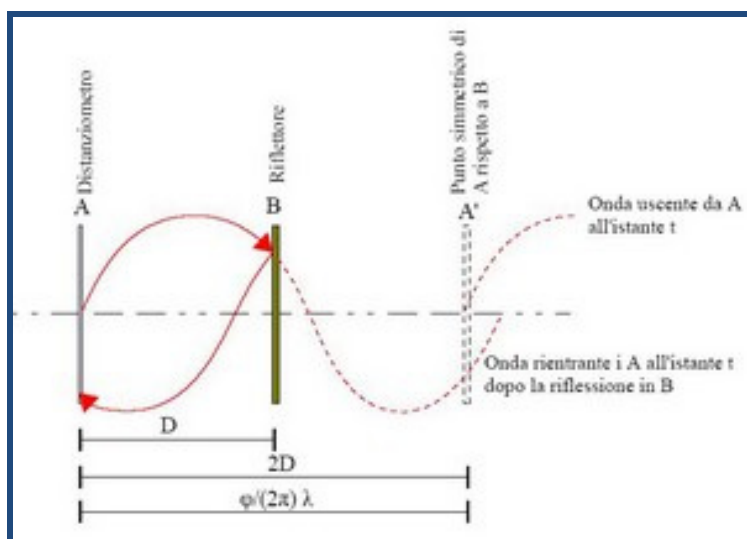


Fig. 59: funzionamento dei sistemi laser a differenza di fase

Se $\Delta\varphi$ è la differenza di fase, f_{AM} la modulazione di frequenza e c la velocità della luce nel vuoto, la distanza Z è determinata dalla relazione:

$$Z = \frac{c \Delta\varphi}{4\pi f_{AM}}$$

L'elaborazione di questo dato è piuttosto complessa e i tempi di elaborazione dati sono maggiori rispetto ad altri sistemi; consente tuttavia di ottenere maggiore precisione. Uno dei principali limiti di questo principio sta nella necessità di avere un segnale di ritorno che sia dotato di adeguata potenza, con conseguente riduzione della portata dello strumento e la possibilità di avere, all'interno della griglia di acquisizione, un numero consistente di punti non definiti. Sono strumenti nati all'incirca dieci anni fa per il rilievo di siti industriali, che attualmente stanno trovando un impiego anche nel rilievo dei beni culturali . [51,64,65]

Un elenco dei laser scanner distanziometrici più diffusi in commercio è dato di seguito. (Fig. 60)

Producer	Scanner	Range (m)	Software	Link to Producer
3rdTech	DeltaSphere	12	SceneVision-3D	www.3rdtech.com
CALLIDUS Precision Systems	CP 3200	32	3D-Extractor	www.callidus.de
Leica Geosystems	HDS 6000	79	Cyclone, CloudWorx	www.leica-geosystems.com
	HDS 4500	50		
	Scan Station	134/300		
	HDS 3000	100		
	HDS 2500 (former Cyrax)	100		
FARO	LS 420, LS 840, LS 880	20, 40, 80	FARO Scene	www.faro.com
I-SiTE Pty Ltd	I-SiTE 4400 LR	150/700	I-SiTE Studio	www.isite3d.com
Mensi (meanwhile Trimble)	GS 100, GS 200	100, 200	3Dipsos, RealWorks	www.trimble.com
MetricVision	MV224, MV260	24, 60		www.metris.com
Optech	ILRIS-3D	800/1500	PolyWorks	www.geo-konzept.de
Riegl Laser Measurement Systems	LMS-Zxxx series	350/1000	RiSCAN PRO	www.riegl.com
Trimble	GX-3D, GS200	200/350	3Dipsos, RealWorks	www.trimble.com
Zoller+Froehlich GmbH	IMAGER 5006	79	Light Form Modeller	www.zf-laser.com
	IMAGER 5003	55		

Fig. 60: principali laser scanner distanziometrici in commercio

Nel seguente schema possiamo avere una visione chiara di quali siano le potenziali applicazioni delle diverse tecnologia di scansione laser. [62]

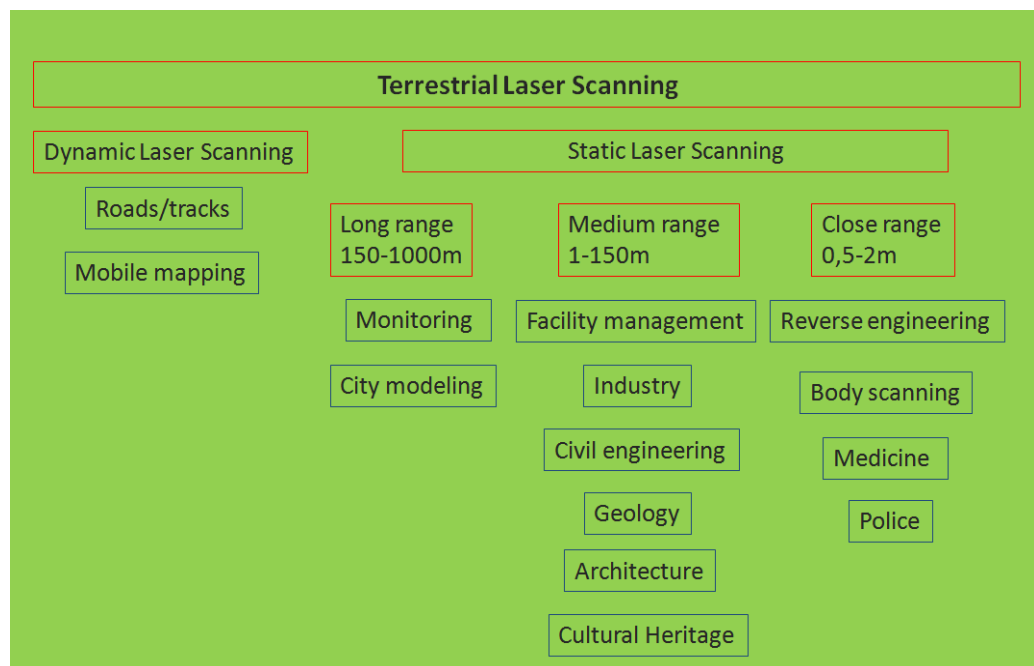


Fig. 61: possibili applicazioni delle diverse tipologie di laser scanner

Tipologie di software

Il supporto di software specifici è richiesto in ogni fase del processo di laser scanning, dall'acquisizione al processamento dati, alla visualizzazione e al finale utilizzo del prodotto digitale ottenuto.

La scelta del software dipenderà dalla mole dei dati e dal tipo di prodotto che deve essere realizzato. Inoltre bisogna garantire che il prodotto finale possa essere gestito e visualizzato facilmente dagli utenti.

L'utilizzo di uno strumento laser scanner è inscindibile da un pacchetto software e da uno strumento hardware che siano in grado di gestire l'enorme mole di dati che questa strumentazione è in grado di rilevare.

In generale le funzioni di base di un software per il rilievo nel campo beni culturali sono:

- controllo e gestione dell'acquisizione dei dati;
- pretrattamento dei dati acquisiti
(allineamento delle scansioni rimozione e filtraggio del rumore)
- modellazione
- mappatura di immagini digitali.

[64,65]

Un elenco dei software più diffusi in commercio è dato di seguito (Fig. 62)

SOFTWARE PRODUCTS		
Producer	Type	Link to Producer
Inn.Tec s.r.l.	<i>Reconstructor</i>	www.reconstructor.it
InnovMetric Software	<i>Polyworks</i>	www.innovmetric.com
INUS Technology	<i>RapidForm</i>	www.rapidform.com
Metris	<i>Focus Inspection, Focus Reverse Engineering</i>	www.metris.com
kubit GmbH	<i>PointCloud</i>	www.kubit.de
metrologic group	<i>Metrolog</i>	www.metrologic.fr
Phocad GmbH	<i>Phidias</i>	www.phocad.de
UGS	<i>Imageware</i>	www.ugspm.de
Raindrop Geomagic	<i>Geomagic Studio</i>	www.geomagic.com
Pointools	<i>Pointools View</i>	www.pointools.com
<i>Free Open Source</i>	<i>MeshLab</i>	meshlab.sourceforge.net

Fig. 62: principali software in commercio

Laser Scanning Workflow

Le operazioni necessarie al rilevamento con laser scanner e alla successiva elaborazione dei dati non sono ancora del tutto automatizzate e richiedono l'intervento di operatori specializzati. Il processo è suddiviso in diverse fasi operative. (Fig. 63)

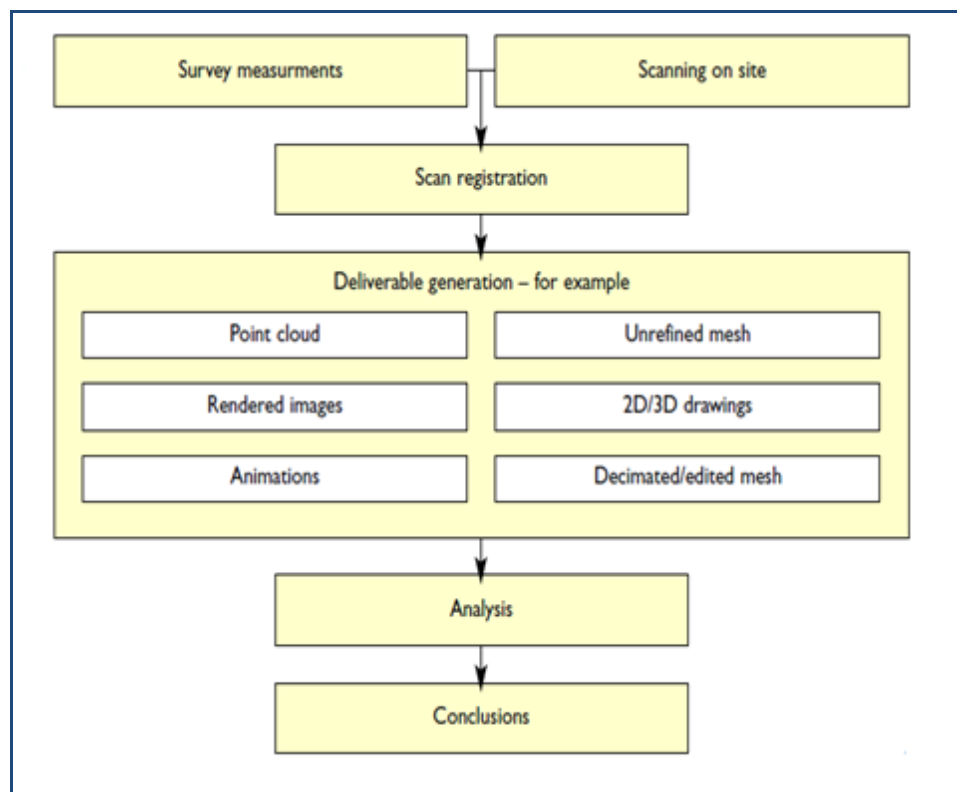


Fig. 63: laser scanning workflow

Survey Planning

Per pianificare l'attività di scansione in modo efficiente è necessario innanzitutto definire quali siano gli obiettivi da raggiungere e soprattutto la funzione del prodotto finale. Non esiste una metodologia che possa essere applicata a qualsiasi problema di acquisizione, ma le caratteristiche dell'oggetto, le esigenze progettuali ed i vincoli esterni determinano la scelta caso per caso a seconda di:

complessità spaziale dell'oggetto ;

accessibilità;

necessità di acquisire anche altri attributi caratterizzanti (come ad esempio il colore...);

grado di accuratezza richiesto al modello digitale 3D;

costi e tempi di acquisizione.

Posizionamento ottimale dello scanner

Il metodo di rilevamento attraverso il laser scanner è limitato al campo visivo dello stesso. Per poter acquisire completamente un oggetto di forma complessa sono generalmente necessarie numerose scansioni effettuate da punti di presa differenti, i cosiddetti *field of view*, punti di vista. Gli scanner a tempo di volo più recenti hanno una testa motorizzata che consente di acquisire in un'unica scansione un angolo visuale orizzontale di 360°.

Scopo principale della fase di pianificazione della ripresa consiste proprio nel definire il numero minimo di punti di vista necessari a catturare l'intera superficie dell'oggetto. L'operazione non è banale e al momento non esistono soluzioni assistite che diano automaticamente una soluzione del problema. In generale bisogna

valutare tramite documentazione fotografica o per analisi visiva diretta informazioni relative alle caratteristiche spaziali dell'oggetto e all'ambiente in cui si colloca, individuando possibili ostacoli, condizioni climatiche particolari (vento, pioggia...), flusso di mezzi o persone che possano rallentare e in alcuni casi inficiare i risultati della scansione.

In termini generali si deve porre attenzione a:

- garantire la totale copertura dell'oggetto minimizzando al massimo il numero di postazioni laser e quindi i costi (sia in termini di tempo che di denaro);
- cercare di scansionare l'oggetto con il minimo possibile di zone non campionate ('buchi'), evitando quindi che ci siano ostruzioni sulla linea del laser.
- valutare la distanza adeguata dall'oggetto, considerando che al suo aumentare diminuiscono accuratezza risoluzione;
- per necessità intrinseche alle successive fasi di elaborazione dei dati, garantire un sufficiente grado di sovrapposizione tra ogni ripresa (circa il 20%);
- la ripresa deve avvenire da una direzione il più possibile ortogonale alla superficie dell'oggetto. Ad angolature elevate infatti il laser non viene riflesso correttamente determinando una perdita di accuratezza (Fig. 64)

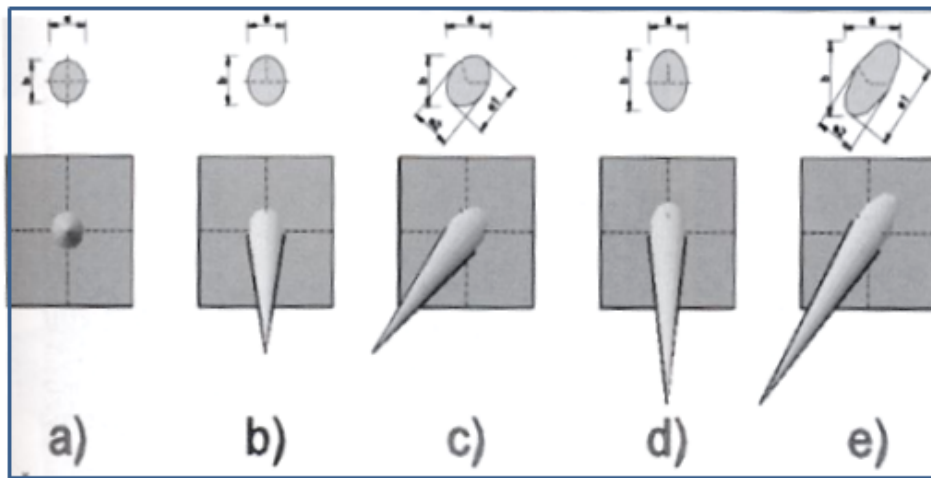


Fig. 64: perdita di accuratezza del laser scanner al variare dell'angolo di incidenza sulla superficie a) perpendicolare b) Y-Z 30° c) X-Y e Y-Z 30° d) Y-Z 45° e) X-Y e Y-Z 45°

Posizionamento dei target

Per lavorare con maggiore precisione e favorire le successive fasi di elaborazione dei dati si utilizzano i *target*, delle 'mire' artificiali di varie forme e dimensioni (sferiche, a disco piatto, ecc) che, posizionate sulla scena del rilievo, creano un sistema di punti comuni a tutte le scansioni, utili per riportare i dati rilevati in un unico sistema di riferimento. Generalmente insieme al laser scanner le case produttrici forniscono specifici target retro-riflettenti, ideati per riflettere al meglio il raggio laser e riconosciuti automaticamente dallo strumento. In mancanza di questi o in aggiunta possono essere utilizzati più economici target in carta o plastica o anche degli elementi dalla geometria ben riconoscibile presenti sulla scena. (Fig. 65)

Il numero ottimale di target per ogni scansione dovrebbe essere 4, posizionati possibilmente nelle tre direzioni dello spazio X, Y e Z.

[62,64,66]

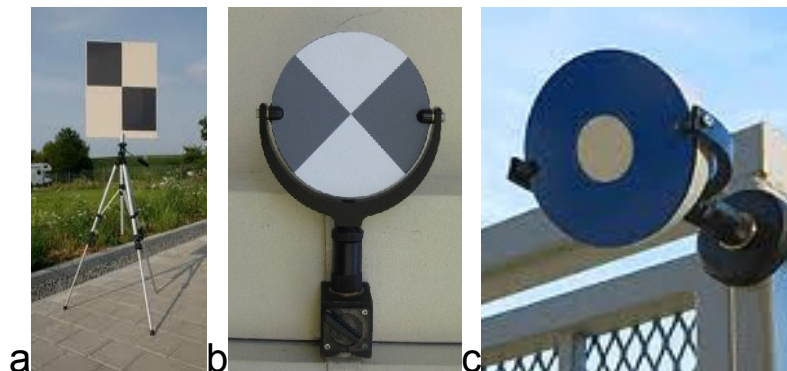


Fig. 65: varie tipologie di targhet

Acquisizione dati

Scanner Setup

Lo scanner generalmente viene montato su un treppiede ad altezza occhi in modo da avere un miglior angolo di ripresa; viene poi livellato con precisione e 'messo in bolla'; connesso ad un pc che riceve i dati acquisiti tramite software dedicato. Per l'alimentazione si utilizzano di norma le batterie fornite con lo strumento ma, in casi di lunga permanenza si può usare un generatore di corrente. Una volta instaurata la connessione con il computer il primo *step* consiste nella scelta dell'area da scansionare. Questa operazione prende il nome di *targeting*. Con gli scanner di ultima generazione, dotati di una fotocamera incorporata, viene selezionata direttamente sull'immagine dell'area inquadrata riportata a video.

Risoluzione

Tramite *laser scanning* si ottiene un'ampia gamma di prodotti. Fondamentale è aver ben chiaro il tipo di uso che si vorrà fare del prodotto finale, soprattutto nel caso in cui venga utilizzato per attività divulgative che coinvolgono altri *user* potenziali. È dunque fondamentale stabilire da subito il tipo di *output* in modo da poter

programmare in modo efficiente tutte le fasi di lavoro. La grandezza dell'oggetto diviene determinante nella scelta della strumentazione a: Il laser scanner a triangolazione ad esempio è più adatto per piccoli oggetti, mentre il laser a tempo di volo risulta migliore per rilevamento topografico o di siti archeologici.

Una questione chiave consiste nella scelta adeguata della risoluzione. La risoluzione può essere definita semplicemente come la distanza tra due punti misurati in successione, e determina la densità della nuvola di punti acquisita. La risoluzione, è principalmente governata dalle misure del più piccolo dettaglio sulla superficie da rilevare. Dunque è strettamente relazionata con la scala richiesta dal progetto. Certamente per aree lisce e piane saranno necessari meno punti per poter modellare l'oggetto mentre in aree a forte curvatura saranno necessari molti più punti. Da sottolineare che più alta è il valore di risoluzione scelto, più punti sono scansionati e più tempo è necessario per la scansione. La mole di dati da scaricare inoltre cresce esponenzialmente. Bisogna ricordare che scansionare ad una risoluzione maggiore dell'accuratezza dello strumento causa *oversampling* e 'rumore' nel dato finale: questo comporterà maggiori sforzi per la successiva elaborazione dati. La risoluzione viene calcolata per una specifica distanza scanner-oggetto che può essere rilevata in modo automatico dallo strumento. I punti più lontani avranno risoluzione minore e quelli più vicini una maggiore. Di norma è bene prendere come riferimento il punto più distante che dobbiamo rilevare. *L'English Heritage*, organo non dipartimentale UK, fornisce una tabella di riferimento che aiuta alla scelta di un appropriato valore di risoluzione (Fig. 66) [51]

Table 2 Appropriate point densities (sampling resolutions) for various sizes of cultural heritage feature.

<i>feature size</i>	<i>example feature</i>	<i>point density required to give 66% probability that the feature will be visible</i>	<i>point density required to give a 95% probability that the feature will be visible</i>
10000mm	large earth work	3500mm	500mm
1000mm	small earth work/ditch	350mm	50mm
100mm	large stone masonry	35mm	5mm
10mm	flint galleting/large tool marks	3.5mm	0.5mm
1mm	Weathered masonry	0.35mm	0.05mm

Fig. 66: appropriati valori di risoluzione in relazione alle dimensioni dell'oggetto

I dati della tabella si basano sulla seguente formula:

$$Q = 1 - (M/\lambda)$$

dove Q=qualità del dato; m=è la densità di punti (risoluzione) sull'oggetto; lambda=la minima misura di dettaglio (o la densità di punti richiesta).

Una volta settati tutti parametri si può avviare la scansione. Il processo è del tutto automatico. I punti acquisiti e immagazzinati nella memoria del pc connesso possono essere visualizzati di volta in volta in tre dimensioni sullo schermo così da avere idea di quanto sia stato già scansionato. A seconda della risoluzione impostata la scansione potrà durare per un intervallo di tempo più o meno lungo. Questo dipenderà ovviamente anche dalle dimensioni dell'oggetto. Nel caso in cui si faccia uso dei target artificiali questi vengono scansionati separatamente. In spazi aperti è buona regola

scansionarli per primi in modo da evitare qualsiasi possibile incidentale spostamento della loro posizione.

La maggior parte degli attuali scanner procede automaticamente con l'identificazione dei target. Il loro valore di riflettanza è infatti molto più elevato rispetto all'ambiente circostante. Una volta individuata la loro posizione lo strumento procede scansionandoli ad altissima risoluzione. Il software determina con estrema precisione il punto centrale di ciascun target. [61]

Processamento dati

Preparazione dei dati

Una volta in laboratorio è importante archiviare i dati in un formato facilmente accessibile e riconoscibile così che risulterà più facile in futuro poterlo convertire in altri formati. Il formato del file dovrebbe anche mantenere il più possibile i dati nella forma bruta: tra i formati più comuni è il *.xyzrgb*.

Prima di iniziare il processamento dei dati è bene eliminare le scansioni che presentino notevole disturbo dato da cause ambientali o errori operativi di vario genere. Ove necessario si opera una pulizia tramite funzioni specifiche dei software. Il tutto per favorire le successive fasi di elaborazione.

È bene sottolineare come il lavoro debba essere condotto con particolare attenzione, tenendo presente che ogni operazione eseguita sulla nuvola di punti 'bruta'- in assoluto il modello metrico più vicino all'oggetto reale – l'andrà a modificare, rimuovendo irrimediabilmente una certa quantità di informazione [51,67]

Registrazione o allineamento delle scansioni

Per poter allineare e ricomporre in una rappresentazione globale le nuvole di punti parziali ottenute da ciascuna scansione è necessario operare la cosiddetta registrazione o allineamento.

Due sono le metodologie utilizzate in genere: *target to target registration*, con cui si uniscono le diverse riprese utilizzando come vincoli i target, artificiali o naturali, localizzati sull'area d'interesse; *cloud to cloud registration*, in cui è necessario che le varie scansioni abbiano delle zone comuni di sovrapposizione (almeno un 30-40% circa) comprendenti punti facilmente riconoscibili dell'oggetto. Si deve indicare al software quali sono i punti omologhi di aggancio su cui allineare correttamente selezionandone manualmente almeno tre. Alla base del processo c'è l' ICP, *Iterative Closed Point*, algoritmo che in modo iterativo calcola le distanze tra i tutti punti della nuvola stimando con il minimo errore le trasformazioni necessarie all'allineamento. Le due tecniche possono essere utilizzate anche insieme qualora i target utilizzati non siano sufficienti ad un corretto allineamento. [62]

Modellazione 3D.

È il processo che permette la trasformazione della nuvola di punti in un modello geometrico 3D, gestibile per vari tipi di studi e analisi morfometriche, nonché per visualizzazione e fruizione via web. Esistono diversi approcci che possono operare tale trasformazione e, nella maggior parte dei casi relativi alla documentazione del patrimonio culturale, scansionato con elevata accuratezza, il prodotto tipico è costituito da un modello geometrico digitale nella forma di un TIN, *Triangular Irregular Network*.

La Modellazione rappresenta senza dubbio la fase di lavoro più dispendiosa in termini di tempo, dedizione e capacità da parte dell'operatore. Sebbene i singoli *step* sotto riportati siano automatizzati, i criteri di elaborazione dei dati vanno valutati con cognizione di causa. Molti momenti della costruzione del modello inoltre vanno eseguiti in modo del tutto manuale, soprattutto nei casi di oggetti complessi. [51]

Noise filtering

Prima della generazione del modello finale è bene ripulire la nuvola di punti da informazioni ridondanti, localizzate nelle zone di sovrapposizione tra le diverse scansioni; dal cosiddetto 'rumore', generato da fattori ambientali e operativi, quali cattiva riflessione del raggio laser da parte di alcune superfici, passaggio di persone sulla scena in fase di scansione, presenza di vegetazione o ostacoli di vario genere al raggio laser; da parti della scena che non sono utili per l'elaborazione del prodotto finale. Il procedimento può essere effettuato manualmente dall'operatore, tramite analisi diretta della nube o tramite automatismi del software, secondo algoritmi specifici basati su due principi fondamentali: il primo che considera come *outsider*, quindi non facenti parte dell'oggetto, tutti quei punti che non ne presentino altri nelle immediate vicinanze; il secondo, andando ad approssimare tutti i punti ad una superficie 'media' ed eliminando tutti quelli che risultino troppo lontani da questa.

Si deve porre molta attenzione in questa fase di filtraggio e riduzione della nuvola di punti in quanto si rischia di perdere dettagli rilevanti dell'oggetto. [51,62]

Triangolazione e costruzione della Mesh

Il risultato della fase di registrazione ha prodotto un set di scansioni allineate tra loro a formare un'unica nuvola di punti. Il passo successivo consiste nella trasformazione di questi dati bruti, nel modello tridimensionale finale, non più definito per punti ma da una superficie triangolata detta *mesh*, rappresentazione visivamente più intuitiva del modello. Il processo di *meshing*, consiste proprio nell'unire i punti della nuvola tramite triangoli: le superfici a triangoli sono le più utilizzate come schema finale di rappresentazione in quanto supportano meglio successive operazioni di visualizzazione, estrazione di sezioni e misurazioni. Il più comune algoritmo utilizzato per la triangolazione si basa sul Criterio di Delaunay per cui: dato un insieme di punti P, la triangolazione è univocamente determinata se per ogni circonferenza circoscritta ad un triangolo, nessun punto P oltre a quelli che formano il triangolo stesso, giace all'interno della circonferenza. È possibile estendere il discorso al caso tridimensionale attraverso l'uso di sfere anziché circonferenze (Fig. 67) [51,68].

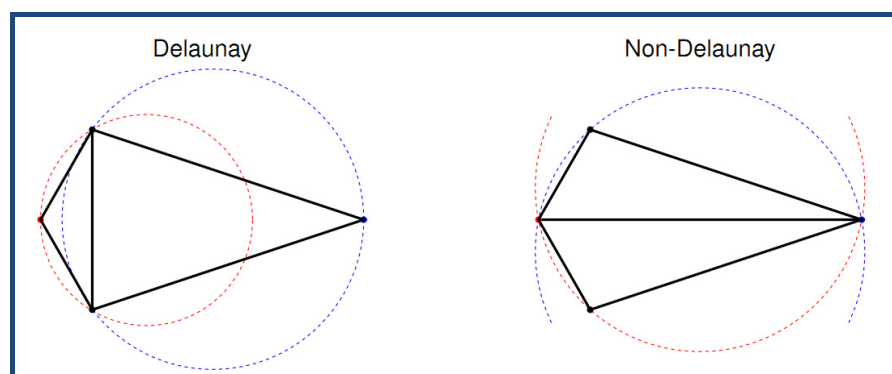


Fig. 67: Criterio di Delaunay

Semplificazione

Il modello ottenuto dalla triangolazione risulta in genere estremamente definito, la quantità di informazioni da esso contenute può essere talmente grande da creare difficoltà nella visualizzazione da parte di comuni pc. Spesso quindi si opera una semplificazione che riduce il numero di vertici e triangoli di cui è composto, cercando sempre di mantenere inalterate le caratteristiche topologiche e garantire una adeguata accuratezza geometrica. [64]

Smoothing

Quando i triangoli che formano la superficie sono numerosi, hanno dimensioni molto piccole, e la superficie può presentare delle irregolarità. Tramite funzioni del *software* è possibile operare il così detto *smoothing*, a varie intensità, in base a scelte dell'operatore, ottenendo un modello dalle superfici più regolari: anche in questo caso bisogna operare in maniera critica, vale a dire in modo da non eliminare dettagli che fanno parte dell'oggetto e non sono errori di triangolazione dovuti alla presenza di punti *outsider*.

Hole filling

Nonostante siano utilizzate scansioni multiple per coprire tutto l'oggetto di indagine, è possibile che nella *mesh* risultante dalla triangolazione ci siano delle parti mancanti più o meno grandi, dovuti ad insufficienza di dati. Queste possono essere riempite 'disegnando' manualmente dei nuovi triangoli o automaticamente tramite funzioni che, considerando i dati dei punti circostanti, approssimano una superficie di riempimento.

Applicazione della texture al modello 3D

Il modello tridimensionale generato rappresenta una copia fedele dell'originale, rispetto a forma e proporzioni spaziali. Bisogna però tener conto dell'aspetto visivo. E' auspicabile avere un prodotto finale realistico oltre che dal punto di vista quantitativo, anche dal punto di vista qualitativo, fedele cioè nella colorazione. Si parla perciò di modello foto-realistico. Le informazioni di colore caratterizzanti la superficie vengono date applicando la *texture*, cioè proiettando sulle superfici generate immagini digitali. Queste possono essere acquisite contemporaneamente alla scansione, nei casi in cui lo strumento sia dotato di fotocamera incorporata o separatamente; il più delle volte acquisite sulla scena con macchine fotografiche che permettano di generare immagini ad alta risoluzione, garantendo risultati migliori. [51,62,64]

Il caso di studio: rilevamento delle sculture *del Museo Al Aire Libre* dell'Università Politecnica di Valencia

Vengono quindi presentati i risultati ottenuti dal rilevamento con Laser Scanner Terrestre a tempo di volo e fotocamera digitale esterna di due casi complessi, due opere scultoree di grandi dimensioni, parte del '*Museo Al Aire Libre*' [48] del Campus Dell'Università Politecnica di Valencia, per le quali è stato realizzato un archivio digitale 3D, sotto forma di nuvole di punti, modelli foto-realistici completi e prodotti multimediali per la fruizione tramite web:

“Defensas I” (Arcadi Blasco Pastor 2003) si presenta come una torre a tre lati con circa 3,5m di altezza e 2,5m di larghezza. La superficie in *gres* non è liscia ma presenta fori e incisioni intenzionali. Nella parte superiore la merlatura costituita da piramidi appuntite. (Fig. 68)



Fig. 68: Sculture: “Defensas I” (Arcadi Blasco Pastor 2003)

“Mentoring” (Stephen J. Daly 2003) ha la forma di una grande ‘bambola’ di metallo alta circa 5m e ampia alla base 2m. La parte sommitale è ornata da numerosi oggetti complessi quali sfere, anelli, spirali e cono, anch'essi di metallo. (Fig. 69)



Fig. 69: Sculture: “Mentoring” (Stephen J. Daly 2003)

L'intera area di rilievo è facilmente accessibile e opera da corridoio verde tra dipartimenti e servizi universitari. Non si sono dunque riscontrate particolari difficoltà per il trasporto e la collocazione delle attrezzature nei punti individuati durante la pianificazione del rilievo. (Fig. 70)

Acquisizione dati

I dati sono stati acquisiti con lo scanner terrestre a tempo di volo *Leica ScanStation2* .



Fig. 7: Laser Scanner Leica ScanStation2: acquisizione dati

Questo strumento ha il vantaggio di essere molto veloce nell'acquisizione, riducendo in modo significativo i tempi di lavoro sul campo e quindi anche i costi. Caratterizzato da elevata accuratezza

e risoluzione (fino a 1mm), garantisce la massima precisione di rilievo per ogni singolo punto, con una scansione ultra-fine con un piccolo (diametro ridotto) raggio a lunga portata. Il campo visivo è molto ampio, 360°orizzontale e 270° verticale; la portata di acquisizione dello strumento è di 300 m con riflettività del 90% e 134 m con riflettività del 18%. Nel sistema è inoltre integrata una fotocamera digitale che permette di acquisire contestualmente immagini dell'oggetto [69]. (Fig. 71)

Caratteristiche e prestazioni di Leica ScanStation 2	
Tipo di strumento	Scanner laser a impulsi ad altissima velocità con compensatore bi-assiale, caratterizzato da precisione, portata e campo di vista di primo livello
Interfaccia utente	Notebook o PC Tablet
Videocamera	Videocamera digitale integrata ad alta risoluzione
Precisione di misure singole	Posizione* 6 mm Distanza* 4 mm Angolo (orizzontale/verticale) 60 µrad/60 µrad (3.8 mgon/3.8 mgon) **
Dimensioni del punto laser	Da 0 a 50 m : 4 mm (su base FWHH); 6 mm (su base gaussiana)
Precisione della superficie modellata/rumore	2 mm **
Acquisizione del target	deviazione standard di 2 mm
Compensatore bi-assiale	Risoluzione 1", portata dinamica +/- 5'
Controllo integrità dati	Self-check periodico durante il funzionamento e l'avviamento
Sistema di scansione laser	Portata 300 m @ 90%; 134 m @ albedo del 18% Velocità di scansione Massima istantanea: fino a 50.000 punti/sec. Media: in base alla densità di scansione specifica e al campo di vista Densità di scansione <max 1 mm, attraverso tutta la portata; distanza orizzontale e verticale completamente selezionabile; capacità di sosta sul punto singolo
Classe laser	3R (IEC-60825-1), verde visibile
Luce	Funzionamento garantito da pieno sole a buio completo
Alimentazione	36 V; AC o DC; sostituibile durante il funzionamento

Caratteristiche soggette a modifiche senza preavviso

Vedi Caratteristiche del Prodotto Leica ScanStation 2 per i dati tecnici completi

* A una portata di 100 m, un sigma

** Un sigma

Fig. 71: caratteristiche Leica ScanStation 2

Posizionamento dei target

Target artificiali retroriflettenti, proprietari Leica (Figure 2b-e), sono stati posizionati sulla scena intorno alle sculture e in punti visibili da tutte le postazioni scanner previste per facilitare le successive fasi di allineamento e messa in registro delle nuvole di punti. (Fig. 72)

Per 'Defensas I' la nuvola di punti è stata acquisita da due postazioni scanner differenti, distanti dall'oggetto 7,5m e 4m rispettivamente.

Per 'Mentoring' sono state utilizzate quattro postazioni scanner differenti a distanze rispettivamente di 14.9 m, 41.7 m, 51.7 m e 50.3 m. Per ogni rilievo la risoluzione è stata settata a 5mm sulla superficie dell'oggetto.

Ogni scansione è stata condotta mantenendo la perfetta posizione orizzontale della strumentazione in modo da preservare l'asse verticale delle sculture nel modello finale. (Fig. 73)



Fig. 72: posizionamento targhet artificiali per il rilievo



Fig. 73: nuvole di punti acquisite per le due sculture

Processamento dati

Registrazione

Per la fase di allineamento delle scansioni in un'unico sistema di riferimento è stato utilizzato il software *Leica Cyclone Register 6.0* con gli specifici moduli che permettono sia le operazioni di controllo dello scanner sia le successive fasi operative di allineamento e gestione della nuvola di punti. [69]

Si è operato secondo le due tecniche principali: la prima, target-to-target registration, utilizzando i target artificiali posti sulla scena; la seconda, cloud-to-cloud registration, individuando manualmente

punti omologhi e ben identificabili nelle zone di sovrapposizione tra le diverse scansioni.

Il processo di registrazione ha raggiunto un errore medio assoluto di 3mm nel caso di “Defensas I” e di 2mm nel caso di “Mentoring”. (Fig.74)

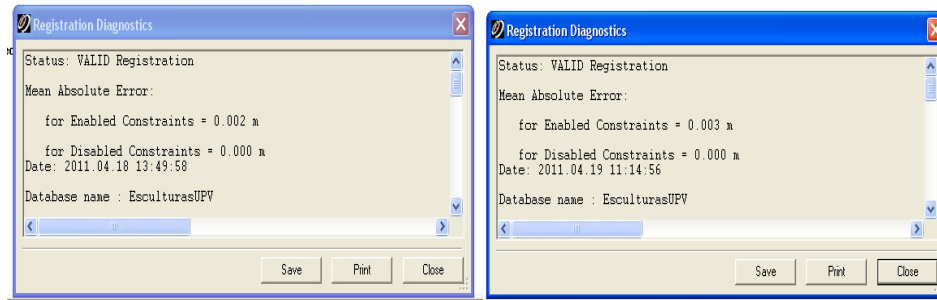


Fig. 74: valori di errore per i due casi

Le nuvole di punti utilizzate per le successive fasi di modellazione sono di circa 1400000 punti per ‘Defensas I’ e 1083670 per ‘Mentoring’

Al termine del procedimento, le nuvole di punti risultanti sono state esportata nel formato di intercambio Leica .PTS

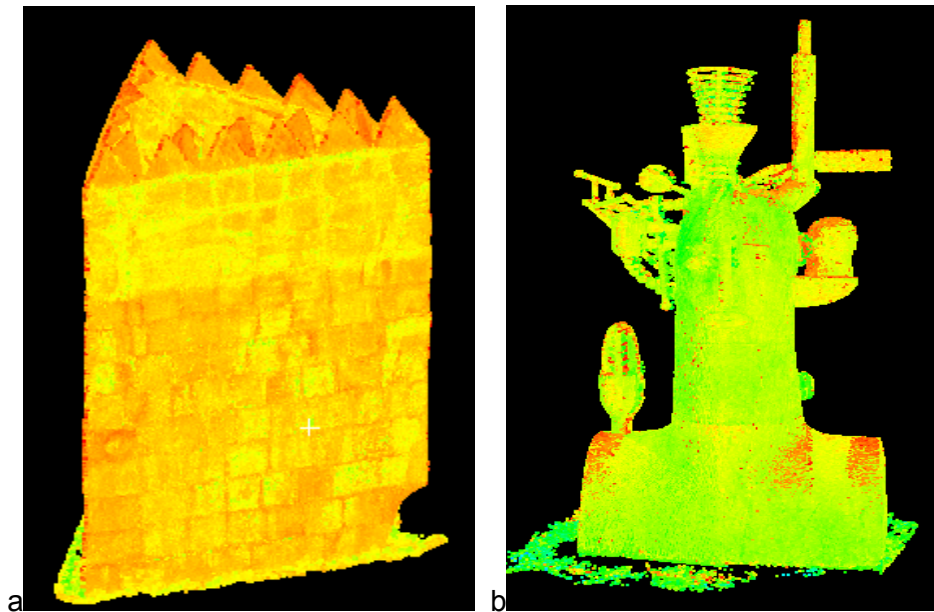


Fig. 75: nuvole di punti finali a) 'Defensas I'; b) 'Mentoring'

Modelling

Il software *3DReshaper 5.3* [70] e' stato scelto come valido strumento per questa fase, che richiede grande impegno, sia in termini di tempo che di risorse umane: non essendo del tutto automatizzata deve essere condotta da operatori specificamente formati.

In base alla complessità ciascuna scultura è stata suddivisa in diverse parti , modellate separatamente con parametri specifici, adatti il più possibile alle loro caratteristiche di forma e al livello di dettaglio delle superfici. (Fig. 76)

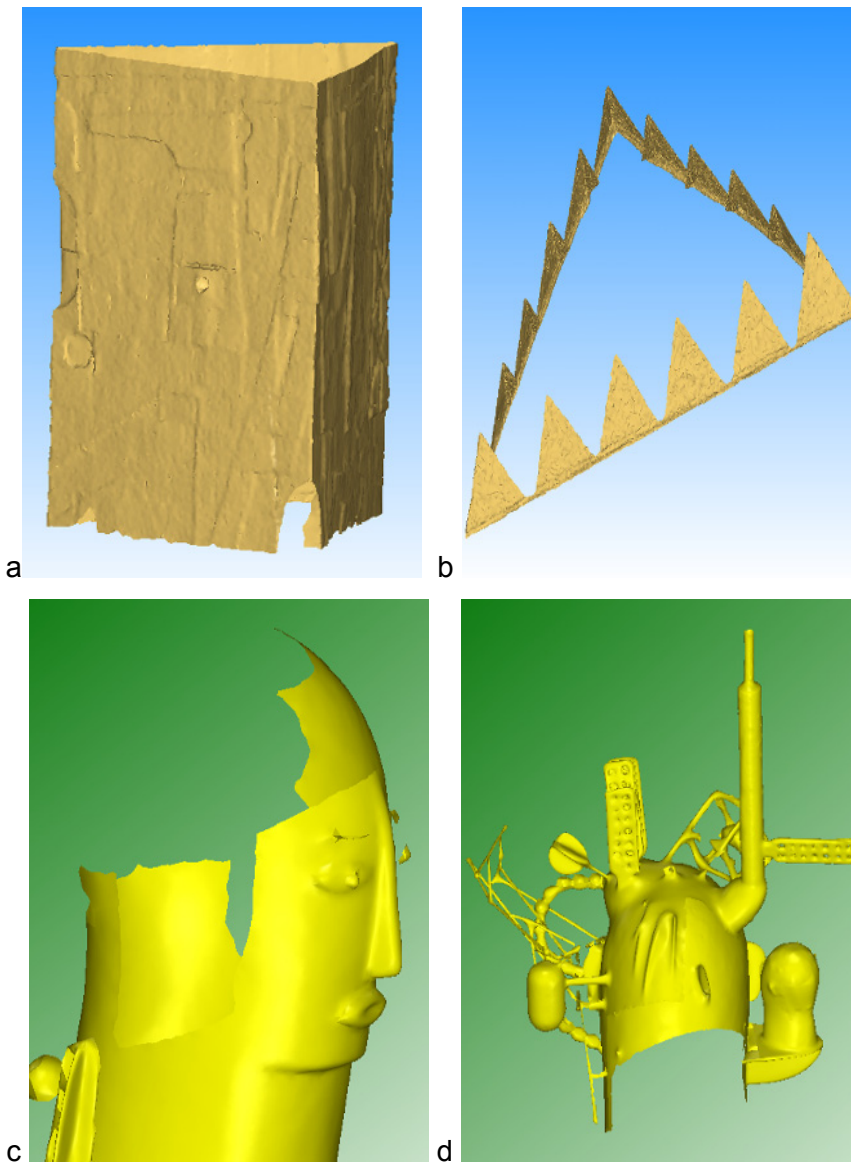


Fig. 76: suddivisione delle sculture in parti per la modellazione a,b) 'Defensas I'; c,d) 'Mentoring'

Data cleaning/Noise filtering

Sono stati rimossi da ogni nuvola i set di punti anomali che generano il rumore e tutte le parti indesiderate non pertinenti i modelli. Sono stati applicati algoritmi specifici tramite due diverse funzioni del software. Una basata sul principio che vede come *outliners* tutti quei punti che non ne presentano altri punti nelle immediate vicinanze, la *noise reduction*, con cui è stato eliminato lo 0.1% del numero totale

di punti; l'altra, l' *explode with distance*, che permette di eliminare tutti i punti isolati rispetto al resto della nuvola, secondo valori assegnati, in questo caso a una distanza superiore a 1.5cm. in Figura 77 si vede come vengano evidenziati con colori diversi i gruppi di punti separati dalla nuvola principale.

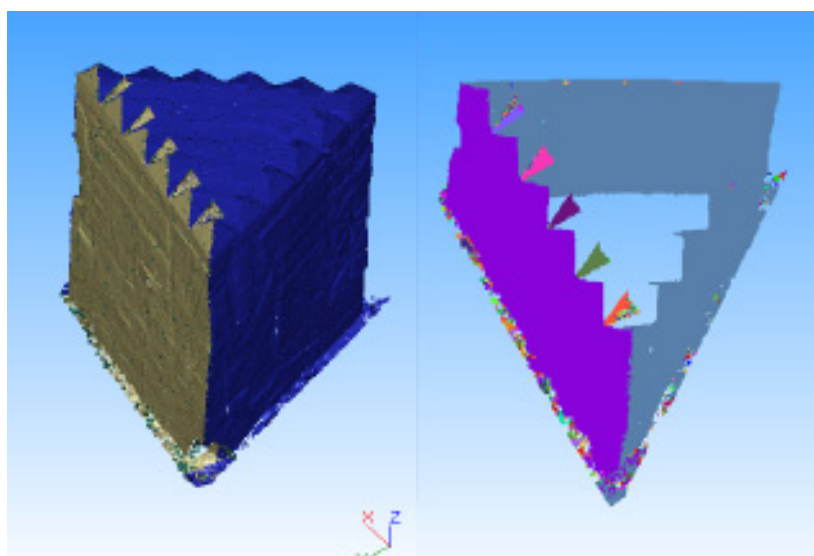


Fig. 77: operazioni di *data cleaning*

Meshing/Triangulation

Questo passo presuppone la triangolazione dei dati per ottenere una *mesh* 3D. Una buona *mesh* teoricamente è quella ottenuta utilizzando solo i set di punti 'validi'. Due criteri sono stati presi in considerazione per raggiungere tale scopo. Un criterio qualitativo, elimina quei punti che si trovano al di sopra o al di sotto di una superficie teorica. L'altro criterio, geometrico, basa la selezione dei punti, nelle aree di massima curvatura, su valori di *deviation error* impostati: considerata come la distanza massima tra la superficie

teorica e la superficie generata. In figura 78 sono schematizzati i due principi.

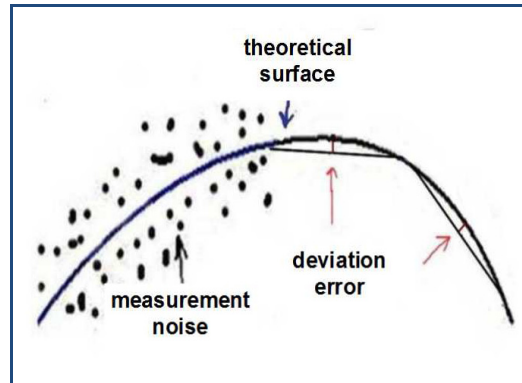


Fig. 78: criteri alla base dell'operazione di *meshing* su una superficie ondulatae due operazioni

Smoothing

Subito dopo la triangolazione i modelli ottenuti presentano numerose irregolarità. Per questo motivo tutte le parti dell'oggetto, con specifici parametri settati, sono stati sottoposti al processo di *smoothing*, per poter avere superfici regolari e un risultato più accurato. Molto difficile è risultato discriminare tra segni intenzionalmente prodotti dall'autore dell'opera e elementi generati da errori di campionatura.

È stato infine applicato un algoritmo, specifico per la rimozione di residui non pertinenti, tramite il quale i triangoli della *mesh* vengono riorganizzati in modo da seguire l'effettiva forma dell'oggetto, con due principali effetti: miglior livello di dettaglio con riduzione del numero di poligoni e dunque del peso complessivo del modello. (Fig.79)

Hole Filling

.Il software è dotato di funzioni particolarmente utili alla ricostruzione manuale di superfici e superfici curve. Altre funzioni completamente automatizzate permettono di creare superfici continue tramite una

totale riorganizzazione topologica dei triangoli. I 'buchi' più piccoli presenti nella *mesh* sono stati ricostruiti in maniera automatica. Per quelli più grandi si è operato manualmente

Joining the different parts

Tutte le parti modellate separatamente sono state riunite in un modello finale unico. (Fig.80)

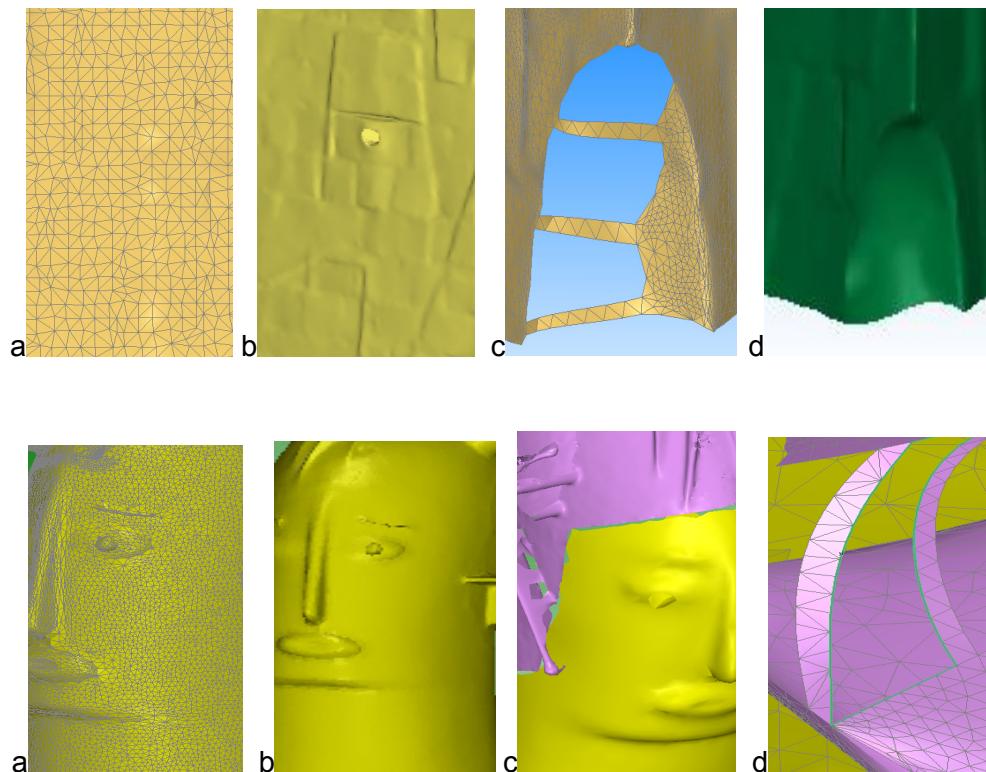


Fig. 79: fasi di modellazione": a) Meshing; b) Smoothing; c) fusione delle parti; d) Holes filling

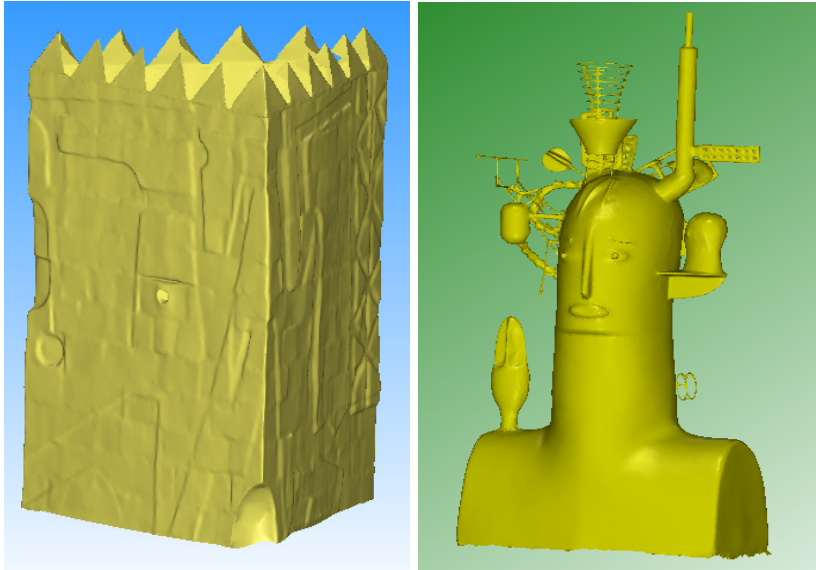


Fig. 80: modelli finali

Texturing

Utilizzando il software *3DReshaper 5.3* è stato possibile ultimare la realizzazione dei modelli foto-realistici desiderati proiettando sulle superfici modellate immagini digitali ad alta risoluzione. Queste sono state ottenute contemporaneamente all'acquisizione dati con il Laser scanner, con fotocamera digitale *Canon Powershot G11* a 10MPixel. [71] (Fig.81)

PowerShot G11

Specifiche Tecniche



SENSORE IMMAGINE	
Tipo	CCD di tipo 1/1,7"
Pixel effettivi	Ca. 10 megapixel
Tipo filtro colore	Colore primario
PROCESSORE	
Tipo	DIGIC 4 con tecnologia iSAPS
OBIETTIVO	
Lunghezza focale	6,1 - 30,5 mm (equivalente a 28 - 140 mm in formato 35 mm)
Zoom	Ottico 5x. Digitale circa 4x [con teleconvertitore digitale circa 1,4x o 2,3x e Safety Zoom ¹] ² . Combinato circa 20x
Apertura massima f/	f/2,8-f/4,5
Schema ottico	11 elementi in 9 gruppi (1 elemento fronte/retro asferico)
Stabilizzatore d'immagine	Sì (tipo shift)

Fig.81 fotocamera *Canon Powershot G11* utilizzata per il rilevamento della texture

I parametri ottici e di orientamento della macchina fotografica vengono determinati automaticamente dopo aver selezionato un minimo di tre punti omologhi tra la superficie 3D e le immagini corrispondenti: per avere risultati ottimali sono state individuate da 6 a 8 coppie di punti omologhi per ogni foto.

Per 'Defensas I' sono state utilizzate 3 sole immagini: un numero maggiore è stato necessario per 'Mentoring' a causa della complessità, soprattutto nella parte superiore: quattro per il corpo principale e otto per i dettagli. (Fig.82, 83)

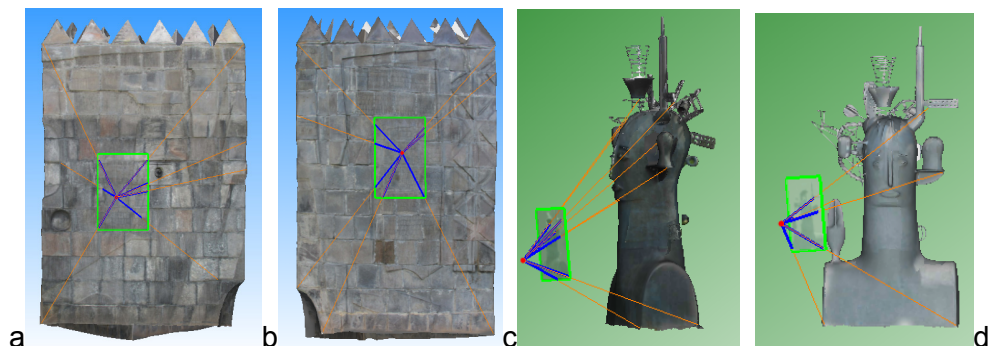


Fig. 82: fasi di proiezione delle foto sui modelli: a,b) 'Defensas I'; c,d) 'Mentoring'

Creazione di video

Step finale del lavoro è stata la realizzazione di video .mov da inserire in un museo virtuale fruibile tramite web. Il software utilizzato a tale scopo è stato *3D Studio Max*. [72]

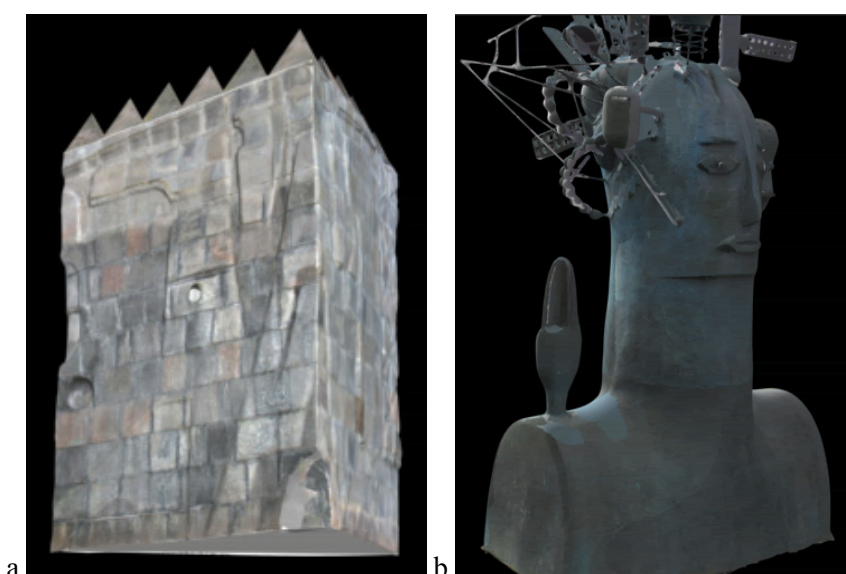


Fig. 83: modelli fotorealistici finali: a,) 'Defensas I'; b) 'Mentoring'

”

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Grazie alle esperienze condotte durante il Dottorato di ricerca, sono stati analizzati molteplici aspetti relativi alle potenzialità applicative delle nuove tecnologie afferenti al campo della Geomatica e dell'Informatica per la documentazione del patrimonio culturale, con particolare attenzione per il paesaggio, inteso questo nella sua accezione più ampia e complessa, secondo quanto definito dalla 'Convenzione Europea del Paesaggio': risultante delle interrelazioni tra fattori umani e naturali, parte di territorio fisico che acquista consistenza e valore in quanto percepito dalle popolazioni che lo vivono interagendo con esso e modificandolo continuamente.

A partire da tale base concettuale il percorso di ricerca è stato caratterizzato da una spiccata interdisciplinarietà con livelli di competenze propri delle Scienze della terra, dell'Archeologia, dell'Informatica e delle Scienze della comunicazione, in cui la trasposizione all'indagine sui beni culturali e paesaggistici di metodologie e strumenti tipici del rilievo geologico e cartografico ha richiesto specifiche valutazioni e adattamenti : in questo senso sono state sperimentate e affinate le tecniche di acquisizione, rappresentazione multimediale e diffusione tramite web per offrire un reale supporto alla fruizione pubblica dei beni culturali e alla tutela del territorio.

Due i differenti casi di studio presi in esame, il primo relativo alla documentazione del patrimonio geologico della Regione Toscana, focalizzato quindi sugli aspetti naturalistico-ambientali del paesaggio; il secondo relativo alla documentazione di un contesto paesaggistico

urbano, come quello del museo d'arte contemporanea presente nel *Campus de Vera* dell'Università Politecnica di Valencia.

Entrambi, anche se con applicazione di differenti tecnologie, sono stati trattati secondo un approccio metodologico comune. Si è posta particolare attenzione alla fase di rilevamento del dato con l'elaborazione di procedure adeguate a garantirne la qualità e affidabilità, soprattutto nei casi in cui viene utilizzato a scopi scientifici, come base per progettazione e interventi di conservazione e restauro. Ampio spazio è stato dato alle tecnologie multimediali per la rappresentazione e visualizzazione dei contesti documentati e alle metodologie di programmazione per la realizzazione di ambienti web.

Si è dunque intrapreso un percorso di conoscenza : dal rilevamento alla rappresentazione, dalla comunicazione alla fruizione.

Il punto di partenza concettuale è stato esposto nella parte introduttiva alla tesi, in cui

si sono trattati alcuni concetti chiave, sia in ambito normativo culturale, sul significato del termine 'paesaggio'. Particolare spazio è stato dato alla storia della sua rappresentazione, pittorica e fotografica, di cui si sono ripercorse solo alcune tappe significative, vista come specchio della storia del rapporto uomo/natura: da sempre l'uomo conosce e interpreta l'ambiente in cui vive elaborandolo intellettualmente attraverso la rappresentazione, momento conoscitivo, di analisi e comprensione che parte proprio dalla percezione.

Il primo caso di studio, dedicato come si è visto alla documentazione del patrimonio geologico, è giunto come prodotto finale alla definizione e catalogazione di specifiche aree di interesse geologico della Regione Toscana definite come 'geopaesaggi'.

Tra le problematiche affrontate rilevante è stata senz'altro quella della delimitazione di tali aree, per le quali sono stati individuati caratteri di uniformità sia in base a soprattutto dati presenti in letteratura sia sulla base dell'esperienza diretta su campo dei geologi del Centro di Geotecnologie dell'Università degli Studi di Siena; fondamentale supporto è stato fornito dalla cartografia regionale 1:10000 recentemente presentata nell'ambito del progetto 'Continuum Geologico della Regione Toscana'.

Dati gli obiettivi del progetto, volti alla progettazione e realizzazione di un portale web dedicato per la diffusione delle conoscenze geologiche sul territorio che valorizzi nel contempo anche gli aspetti storico-culturali, un secondo ordine di problemi affrontati è stato quello di riuscire in un prodotto multiplatforma, in cui concordare livelli informativi diversi, trasversali a più tipologie di utenza, da quella scientifica dello studioso a quella turistico-divulgativa dell'utente generico. Per gestire una tale complessità di informazioni si è reso necessario l'uso di un sistema integrato di tecnologie: per l'elaborazione e gestione dei dati territoriali: Sistemi Informativi Territoriali, documentazione tramite fotografia digitale immersiva, linguaggi di programmazione web; il tutto supportato anche dall'utilizzo congiunto dei servizi di Google Maps, vista la grande diffusione e accessibilità che tali strumenti permettono come mezzi di ricerca e visualizzazione di dati da parte di un pubblico sempre più vasto.

Una particolare applicazione, cui si è dedicato in modo specifico ed approfondito il lavoro di Dottorato, è stata quella relativa alla creazione dei 'geo-panorami virtuali' tramite fotografia digitale immersiva e contestuale piattaforma web di fruizione, da integrare al 'Portale dei Geopaesaggi della Regione Toscana'.

Nell'ambito della ricerca si è voluto definire un flusso operativo di lavoro, sia per le fasi di rilevamento che per quelle di l'elaborazione dati. Particolare attenzione è stata posta a tutti gli accorgimenti necessari a garantire la qualità del dato, sia nella scelta e utilizzo di attrezzature adeguate che nell'uso appropriato di software specifici per avere il massimo controllo in tutti i momenti di elaborazione, nonostante molte applicazioni commerciali facciano pensare, al contrario, che la realizzazione di determinati prodotti sia del tutto automatizzata.

Il prodotto multimediale ottenuto, del tutto innovativo nell'ambito della documentazione del patrimonio geologico, reso disponibile tramite piattaforma GoogleMaps, ha contribuito senza dubbio al raggiungimento degli obiettivi preposti alla realizzazione del portale dei geopaesaggi, con grandi potenzialità in termini di comunicazione, diffusione e fruibilità delle conoscenze e dunque con una ricaduta positiva sui processi conservazione e tutela del territorio.

Il secondo caso di studio si è incentrato sull'utilizzo sperimentale del Laser Scanner Terrestre a tempo di volo per la documentazione di opere scultoree contemporanee di grandi dimensioni. Da tempo si sta utilizzando questo tipo di tecnologia nel settore dei beni culturali, in particolare nel rilevamento del patrimonio architettonico e dei siti archeologici; per le opere scultoree solitamente si utilizzano altri tipi di strumentazioni quali laser scanner a triangolazione, più precisi nei piccoli dettagli o tecniche fotogrammetriche.

Sono state analizzate in dettaglio tutte le fasi operative per la realizzazione di modelli 3D fotorealistici, dal rilievo al processamento dei dati al *texturing* fino a ottenere prodotti

multimediali per la diffusione su piattaforma web. I risultati sono da considerarsi soddisfacenti e perfettamente in linea con gli obiettivi e le finalità del progetto in cui si è inserito il lavoro di dottorato, volto alla realizzazione di un museo virtuale, fruibile tramite internet, che incrementi la diffusione delle conoscenze sul patrimonio culturale della Comunità Valenziana.

Evidente è risultata l'enorme potenzialità delle tecnologie laser scanner, vista la velocità di acquisizione per una grandissima quantità di informazioni spaziali che questo tipo di strumenti consente. Date le geometrie spesso complesse degli oggetti rilevati, nonostante l'elevato livello di automazione raggiunto, si è vista comunque la necessità di un consistente intervento dell'operatore, con lunghi tempi di elaborazione, e di pc e software potenti capaci di gestire l'ingente mole di dati.

Fondamentale, al fine di ottenere risultati ottimali di qualità del dato metrico, la scelta dei parametri di settaggio dello strumento per il rilevamento e quelli del software per la modellazione. A tal proposito va detto come il caso del rilievo di oggetti d'arte sia particolarmente delicato in quanto anche il minimo dettaglio, segno o incisione, è il prodotto dall'artista e deve poter essere mantenuto: per ciò va posta molta attenzione nel filtraggio delle nuvole di punti, nella triangolazione e nello *smoothing* delle superfici generate.

I software utilizzati si sono dimostrati di facile approccio e molto efficienti in tutte le fasi di acquisizione, gestione ed elaborazione, permettendo di raggiungere prodotti fotorealistici di alta qualità con una buona resa dei particolari, utilizzabili quindi non solo a scopi divulgativi, ma anche a scopi scientifici, di conservazione e di restauro.

I dati bruti acquisiti con il laser scanner costituiscono di per sé una banca dati tridimensionale delle morfologie e potranno essere utilizzati in futuro per altre applicazioni e sperimentazioni di tecnologie innovative. Risultati migliori potranno esser ottenuti parallelamente allo sviluppo di software sempre più potenti. Anche i tempi di elaborazione si ridurranno contestualmente all'automazione di molti passaggi.

Rispetto alle tecnologie utilizzate bisogna sicuramente confermare la enorme potenzialità del laser scanner nel campo del rilevamento delle morfologie: la nube di punti che si genera nel momento stesso dell'acquisizione dati infatti è una ricostruzione immediata e fedele delle geometrie e ha di per sé un enorme valore documentale. In termini di comunicazione del dato le ricostruzioni tridimensionali godono in questo momento di grande successo nel pubblico e possono dunque fungere da ottimo mezzo per la diffusione della conoscenza. Con lo sviluppo di sempre nuovi software di modellazione è possibile ormai raggiungere altissimi livelli nella ricostruzione virtuale di oggetti e di ambienti, che affascinano tutti i tipi di pubblico. I dati 3D inoltre hanno un enorme valore dal punto di vista scientifico in quanto come già detto costituiscono una base di dati ineguagliabile per valutazione sullo stato di fatto di monumenti, siti archeologici, opere d'arte e quindi per valutare lo stato di degrado e programmare e pianificare interventi di restauro.

Uno dei punti a sfavore da considerare è che i costi delle apparecchiature sono ancora molto elevati e non sempre sostenibili per molti enti pubblici, considerata anche la necessità di risorse umane specializzate e dei detti tempi lunghi di elaborazione dati.

Di gran lunga più economica risulta in questo senso è la fotografia digitale. Sicuramente il dato metrico che se ne può ricavare non è

affidabile quanto quello ottenibile con il laser scanner ma, ai fini della semplice diffusione e dell'informazione tale tecnica si è rivelata molto efficiente. Ai fini dei processi di comunicazione, in tutte le sue modalità, rimane ancora oggi, dopo secoli, il *medium* per eccellenza; socialmente riconosciuto a livello globale, ha acquisito un valore culturale che va molto oltre la semplice rappresentazione dell'oggetto in quanto tale. La fotografia dà maggiore spazio all'immaginazione, proprio perché, grazie ai limiti imposti dall'inquadratura stessa, lascia un che di non detto, di non totalmente visibile che può scatenare curiosità e il desiderio di conoscenza, così come la famosa siepe leopardiana faceva scaturire l'infinito. Al contrario una fedele rappresentazione metrica tridimensionale, seppure accattivante e innovativa, e senza ombra di dubbio insostituibile per analisi e studi scientifici a fini conservativi, non stimola a livello così profondo come una fotografia la nostra sfera emotiva in quanto 'troppo' oggettiva e realistica, tanto da sostituire quasi l'oggetto reale; cosa che l'immagine fotografica invece non fa aumentando invece in chi la osserva il desiderio di esplorare il reale e di provare direttamente la sensazione di stupore e meraviglia che l'autore può aver sentito nel momento dello scatto.

Considerando in definitiva il lavoro di Dottorato nel suo complesso, si vede come, seppure con metodologie di indagine del tutto diverse, siano stati raggiunti gli obiettivi iniziali preposti: ottimizzazione dei processi di documentazione tramite l'utilizzo delle nuove tecnologie della geomatica e dell'informatica e miglioramento dei processi di diffusione della cultura tramite i canali di comunicazione del web.

Partendo dal rilevamento dell'oggetto si è voluto raggiungere l'utente a livello emozionale attraverso la rappresentazione e visualizzazione, attivando in questo modo un percorso di conoscenza che, poiché

condivisa pubblicamente attraverso internet, da individuale diviene globale, creando un feedback positivo al riconoscimento del valore del patrimonio paesaggistico culturale e della necessità di una sua tutela e conservazione perché possa essere tramandato alle generazioni future.

Convegni e pubblicazioni

Il progetto 'Portale dei Geopaesaggi della Regione Toscana' è stato presentato, in forma di poster (All.1), in occasione VI Convegno di Geologia Informatica GIT – Geology and Information Technology Group – Sezione Società Geologica Italiana. (Molfetta, 14-16 giugno 2011)

http://www.socgeol.it/206/715/news/6a_riunione_gruppo_git_geology_and_information_technology_group.html

Il lavoro di rilevamento con Laser Scanner Terrestre è stato presentato in forma di articolo scientifico (All.2) in occasione del XXIIIrd International CIPA Symposium, Prague, Czech Republic, September 12 - 16, 2011 e pubblicato a dicembre 2011 nel vol. 6 della rivista *Geoinformatics*

(http://geoinformatics.fsv.cvut.cz/gwiki/Category:2011_Volume_6)

Prospettive future della ricerca

Per quanto riguarda l'applicazione delle tecnologie di fotografia digitale immersiva, integrata a mezzi di comunicazione quali siti e portali web, sicuramente ci saranno molte possibilità di applicazione, soprattutto per i costi contenuti dell'intero processo di realizzazione.

In particolare è in via di elaborazione una proposta progettuale presso IICCD, Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione deò Mibac, relativamente all'affiancamento di dette tecnologie alle attività di documentazione del patrimonio paesaggistico della 'Campagna Romana' di cui viene mostrato un primo caso esemplificativo nella seguente tavola 8.

Rispetto all'utilizzo del laser scanner terrestre, molteplici sono gli ambiti in cui il CGT, Centro di Geotecnologie dell'Università di Siena, sta utilizzando lo strumento, sia in campo di rilevamento geologico che archeologico.

In quanto al progetto di documentazione del complesso museale del Campus dell'Università Politecnica di Valencia, è stata presentata, presso il settore culturale del rettorato, una richiesta di fondi per la prosecuzione del lavoro una selezione di 15 opere scultoree di cui in figura. tridimensionale delle opere scultoree in figura 84.

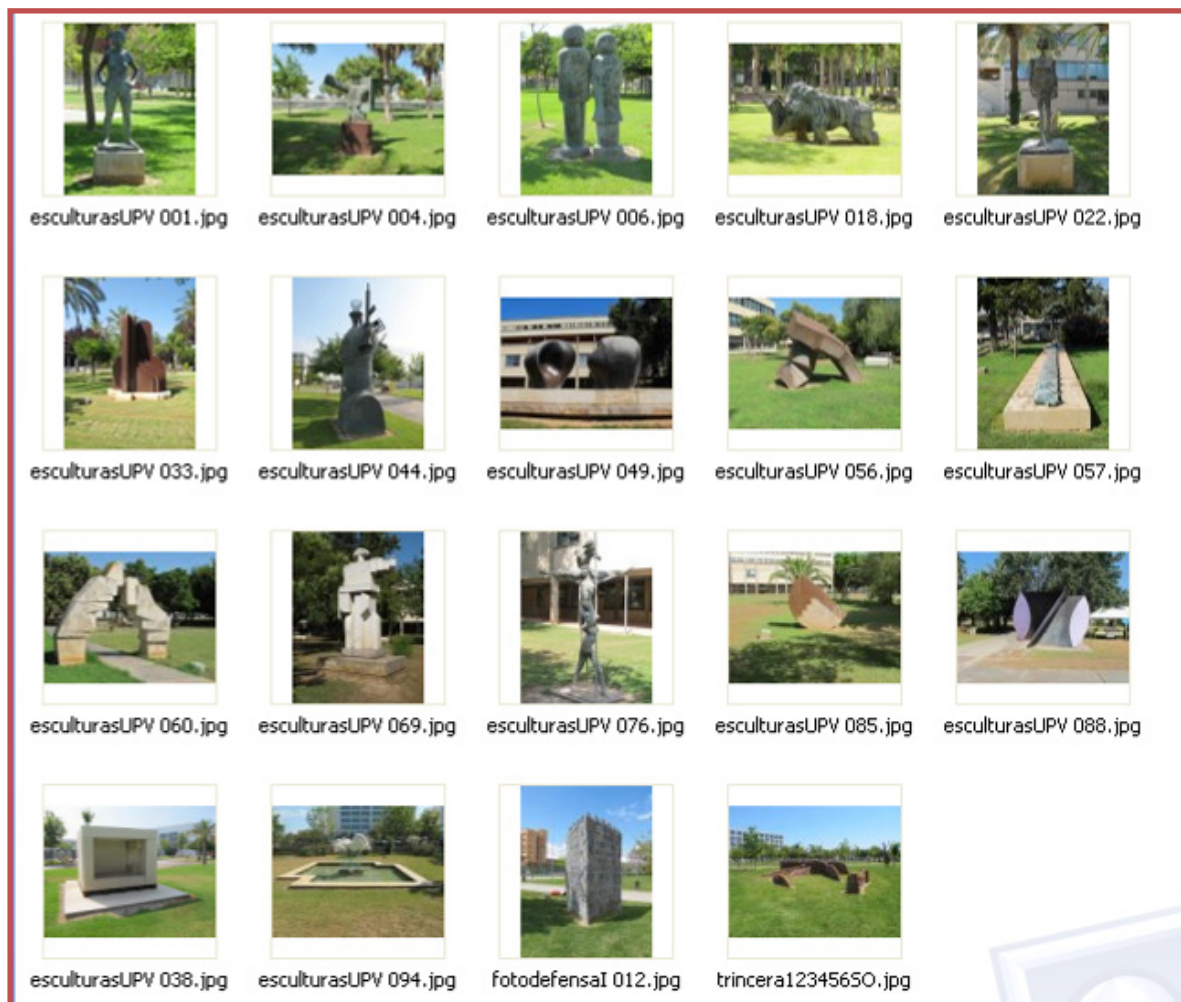


Fig84: Sculture del *Museo Al Aire Libre* dell'Università Politecnica di Valencia selezionate per la prosecuzione del progetto



Tav.8 foto panorama - Campagna Romana, Parco Regionale dell'Appia Antica



Regione
Toscana



CGT
Centro di GeoTecnologie

Portale dei Geopaesaggi della Regione Toscana

DOTT. E. RIGNANI - DOTT.SSA M.C. BASTARDI, DOTT.SSA E. CAPELLI - DOTT.SSA P. QUAR - DOTT.SSA V. TURCI
(CGT - Centro di GeoTecnologie dell'Università degli Studi di Siena)

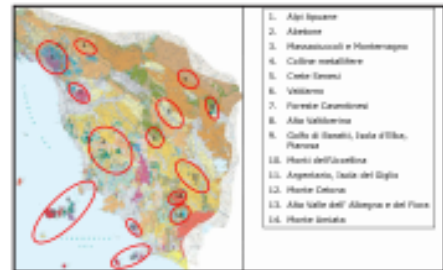
Il progetto "Portale dei Geopaesaggi della Regione Toscana" rientra nell'ambito delle attività di ricerca previste dall'Accordo di collaborazione scientifica tra il Consorzio LaMMA e il Centro di GeoTecnologie.

L'attività di rilevamento geologico svolta negli ultimi decenni ha permesso di evidenziare un patrimonio geologico regionale di grande interesse con luoghi segnati da singolarità geologiche: i paesaggi geologici. Obiettivo generale del progetto è la creazione di un Sistema Informativo Territoriale che contribuisca a valorizzare il patrimonio geologico e storico/culturale della Regione Toscana, incrementando l'offerta turistica e promuovendo lo sviluppo delle conoscenze delle culture del territorio regionale a livello locale, nazionale e internazionale. Le attività del progetto si focalizzano sulle letture integrate del dato ambientale, paleontologico, archeologico e culturale attraverso avanzati sistemi informatici e multimediali per l'individuazione, la catalogazione e l'archiviazione del patrimonio ai fini della tutela, della gestione, ma soprattutto della fruizione. Il progetto prevede la catalogazione e la divulgazione di tutte le informazioni che riguardano singolarità del paesaggio e che testimoniano i processi che hanno formato e modellato il territorio.

Fasi di sviluppo del progetto

Fase 1: Catalogazione delle aree di interesse geologico

In questa prima fase (impiego di più figure professionali (geologi, naturalisti e archeologi) parte all'individuazione dei principali geositi della Regione Toscana, raggruppandoli in aree omogenee dal punto di vista delle caratteristiche paesaggistiche: i Geopaesaggi.



Fase 2: Elaborazione dati e strutturazione del database.

Le informazioni raccolte sono inserite in un database geografico-informativo appositamente elaborato, che consente la gestione dei dati e la loro restituzione cartografica.

All'interno delle aree dei geopaesaggi sono raccolte informazioni puntuali di tipo turistico-culturale, quali siti archeologici, storici o naturalistici di particolare pregio, agriturismi o infrastrutture di interesse che permettono la creazione di itinerari turistici che gravitano attorno ai geositi.

Fase 3: Sviluppo e pubblicazione del Sistema Informativo Territoriale

Attraverso l'utilizzo di software GIS il database viene utilizzato come base informativa per lo sviluppo di un PORTALE WEB interrogabile che



associato ad informazioni territoriali permette la realizzazione di un "Sistema Informativo territoriale dei Geopaesaggi". Il sistema realizzato sarà messo a disposizione degli utenti finali (cittadini, turisti, ricercatori) mediante la creazione di una interfaccia web (WEGGIS), pubblicabile in rete. Per ogni area di interesse vengono elaborate cartografie degli itinerari geologico-ambientali e archeologico-artistici del comparto:

- sul fronte, su una base cartografica in scala 1:50.000, gli elementi geologico-ambientali e archeologico-artistici, i percorsi individuati e gli stadi delle carte geologiche regionali dei geositi;
- sul retro le descrizioni delle singole tappe dei percorsi e dei geositi corredate da immagini fotografiche e da un elenco di agriturismi e strutture ricettive.



PHOTO-REALISTIC 3D MODELLING OF SCULPTURES ON OPEN-AIR MUSEUMS

Francesca DUCA¹, Miriam CABRELLES², Santiago NAVARRO², Ana
Elena SEGUI² and José Luis LERMA²

¹Università di Ferrara, Dipartimento Risorse Naturali e Culturali
Corso Ercole I d'Este, 32, 44100 Ferrara, Italy

francesca.duca@gmail.com

²Universitat Politècnica de València (UPV). Photogrammetry & Laser Scanning
Research Group (GIFLE). Department of Cartographic Engineering, Geodesy and
Photogrammetry. C° de Vera s/n, Building 7i, 46022 Valencia, Spain

(micablo, ansegil, sannata, jllerma)@upvnet.upv.es

Keywords: terrestrial laser scanning; cultural heritage; documentation;
data acquisition; 3D modelling; visualization

Abstract:

Laser scanning is a high-end technology with possibilities far ahead the well-known civil engineering and industrial applications. The actual geomatic technologies and methodologies for cultural heritage documentation allow the generation of very realistic 3D results used for many scopes like archaeological documentation, digital conservation, 3D repositories, etc. The fast acquisition times of large number of point clouds in 3D opens up the world of capabilities to document and keep alive cultural heritage, moving forward the generation of virtual animated replicas of great value and smooth multimedia dissemination. This paper presents the use of a terrestrial laser scanning (TLS) as a valuable tool for 3D documentation of large outdoor cultural heritage sculptures such as two of the existing ones inside the "Campus de Vera" of the UPV: "Defensas I" and "Mentoring". The processing of the TLS data is discussed in detail in order to create photo-realistic digital models. Data acquisition is conducted with a time-of-flight scanner, characterized by its high accuracy, small beam, and ultra-fine scanning. Data processing is performed using Leica Geosystems Cyclone Software for the data registration and 3DReshaper Software for modelling and texturing. High-resolution images after calibration and orientation of an off-the-shelf digital camera are draped onto the models to achieve right appearance in colour and texture. A discussion on the differences found out when modelling sculptures with different deviation errors will be presented. Processing steps such as normal smoothing and vertices recalculation are found appropriate to achieve continuous meshes around the objects.

All.2 Abstract pubblicazione scientifica XXIIIrd International CIPA Symposium, Prague, Czech Republic, September 12 - 16

Riconoscimenti

(in ordine alfabetico)

Dott. Geol. Ivan Callegari - Centro di GeoTecnologie dell'Università degli studi di Siena: responsabile del Laboratorio di Rilevamento Geotematico e Geopedologia

Prof. Luigi Carmignani - Centro di GeoTecnologie dell'Università degli studi di Siena: Presidente

Prof. Leonardo Disperati - Centro di GeoTecnologie dell'Università degli studi di Siena: tutor del lavoro di tesi.

Prof. José Luis LermaGarcía - Universitat Politècnica de València (UPV). Photogrammetry & Laser Scanning Research Group (GIFLE).: Direttore

Dott. Giovanni Massa - Centro di GeoTecnologie dell'Università degli studi di Siena: Laboratorio di Rilevamento Geotematico e Geopedologia

...

Bibliografia³

1. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization: *Guidelines for the preservation of digital heritage*, 2003
<http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001300/130071e.pdf>
2. ICOMOS *Principles for the Recording of Monuments, Groups of Buildings and Sites*, 1996 <http://www.icomos.org/charters/archives-e.pdf>
3. La Costituzione della Repubblica Italiana
<http://www.governo.it/Governo/Costituzione/principi.html>
4. Codice dei beni culturali e del paesaggio, 2004
http://www.beniculturali.it/mibac/multimedia/MiBAC/documents/1240240310779_codice2008.pdf
5. Convenzione europea del Paesaggio, Firenze 2000
<http://www.darc.beniculturali.it/ita/paesaggio/Convenzione%20europea%20del%20Paesaggio.pdf>
6. Turri E., *Il paesaggio degli uomini. La natura, la cultura, la storia*, Zanichelli, Bologna, 2011 p.2
7. Jakob M., *Il Paesaggio*, Bologna, Il Mulino, 2009.
8. Carta del Paesaggio Mediterraneo, Siviglia 1992
http://www.unisi.it/did/dip-direcon/carta_medit.pdf
9. SSSE - Schema di sviluppo dello spazio europeo. Verso uno sviluppo equilibrato e sostenibile del territorio dell'Unione europea, 1999
http://europa.eu/legislation_summaries/regional_policy/management/g24401_it.htm
10. ICOMOS *Principi per la conservazione ed il restauro del patrimonio costruito*. Carta del Restauro di Cracovia, 2000
<http://www.unisi.it/did/dip-direcon/Carta%20di%20Cracovia.pdf>
11. Scazzosi L. (a cura di), *Reading the Landscape. International Comparison / Leggere il paesaggio. Confronti internazionali*. Roma: Gangemi, 2002.pp.19-40
12. Clément G., *Manifesto de Terzo Paesaggio*, Macerata, Quodlibet, 2005, pp.57-59
13. Turri E., *Il paesaggio come teatro. Dal territorio vissuto al territorio rappresentato*. Venezia, Marsilio, 2006, pp.13-15; 117-121
14. Sestini A. (1963), *Appunti per una definizione di paesaggio geografico*, in *Scritti in onore di Carmelo Calamonica*, Napoli, Loffredo, 1963 pp. 272-286

L'ultimo accesso verificato per i siti internet citati è del 02/2012

15. Turri, E., *Antropologia del paesaggio*, Milano, 1974, pp. 49-81
16. Vitta M., *Il paesaggio. Una storia tra natura e architettura*, Einaudi, Torino 2005, pp. 107-121; 211-217
17. Givone S., *Prima lezione di estetica*, Laterza, Roma-Bari: 2006, p13
18. Clark K., *Landscape into Art*, 1949. Trad. it. *Il paesaggio nell'arte*, Milano, Garzanti, 1985, p.39.
19. Netti F., *Per l'Arte italiana*, 1867, in *Scritti vari*, Trani 1895, p.94
20. Ottani Cavina A. (a cura di), *La pittura di paesaggio in Italia*. Milano, Electa, 2004
21. Valtorta R.(1996), *Dilatazioni del paesaggio, dilatazioni della fotografia*. In Marisa Galbiati, Piero Pozzi, Roberto Signorini (a cura di), *Fotografia e Paesaggio*, Milano, Guerini e Associati, 1996, pp. 99-104
22. Signorini R., *Alle origini del fotografico. Lettura di «The Pencil of Nature» (1844-1846) di William Henry*. Bologna, CLUEB 2007
23. Sontag S., *Sulla Fotografia. Realtà e immagine della nostra società*, Torino, Einaudi, 1992, p.50
24. Giuliana Scimè G. (1996), *Fotografia di territorio, fotografia di paesaggio*. In Marisa Galbiati, Piero Pozzi, Roberto Signorini (a cura di), *Fotografia e Paesaggio*, Guerini e Associati, Milano, 1996, pp. 91-96
25. Clarke G., *La fotografia. Una storia culturale e visuale.*,Torino, Einaudi. 2009,pp.57-81
26. Elwazani S., Lerma L.(2007), *Recording Streetscape*, in *Recording, Documentation, and Information Management for Conservation of Heritage Places*, Vol.2: *Illustrated Examples*, The Getty Conservation Institute. 2007
27. Odum. E. P, *Principi di Ecologia*. Padova, Piccin Editore, 1973
28. Sturm B. (1994), *The geotope concept: geological nature conservation by town and country planning*. In O'Halloran et alii Ed., *Geological Society*, London, pp.27-31
29. Wimbledon W.A. et alii (1999), *The development of a methodology for the selection of British geological Sites for Conservation*. Part 1. *Modern Geology*, 20, pp.159-202
30. Wimbledon W.A. (1999), *L'identificazione e la selezione dei siti geologici, una priorità per la geoconservazione*. In G. Poli (a cura di), *Geositi Testimoni del tempo (Fondamenti per la conservazione del patrimonio geologico)*, Bologna, pp. 52-63
31. Vai G.B. (1999), *Il ruolo delle scienze geologiche per la comprensione della natura*. In G. Poli (a cura di), *Geositi Testimoni del tempo (Fondamenti per la conservazione del patrimonio geologico)*, Bologna, pp. 24-26.

32. Martini G. e Pages J. (1999), *Il patrimonio geologico come fattore di sviluppo economico*. In G. Poli (a cura di), *Geositi Testimoni del tempo* (Fondamenti per la conservazione del patrimonio geologico), Bologna, pp. 212-217.
33. <http://www.progeo.se/>
34. www.iugs.org
35. www.europeangeoparks.org
36. Marian S., (2006), *La valorizzazione del patrimonio geologico. Un'esperienza di ricerca sui siti tra Emilia Romagna e Baviera*, Tesi di Dottorato, Università di Bologna.
37. http://www.isprambiente.gov.it/site/it-IT/Progetti/Tutela_del_patrimonio_geologico_Parchi_Geominerari,_Geoparchi_e_Geositi/Il_censimento_nazionale_dei_geositi/
38. <http://www.imagoromae.com/>
39. http://dizionari.corriere.it/dizionario_italiano/P/parallasse.shtml
40. Freeman M., *100 e un consiglio per il fotografo*, LOGOS, 2009
41. <http://www.panoguide.com>
42. <http://hugin.sourceforge.net/>
43. <http://www.w3.org/>
44. <http://www.html.it/>
45. <http://www.w3schools>
46. <http://it.wikipedia.org/wiki/HTML>
47. <http://www.web-link.it/css/>
48. Universidad Politécnica de Valencia: *Campus en Tercera Dimensión: (primera fase)*, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia 1993
49. Gruen A. (2008), *Reality-based generation of virtual environments for digital earth*. Int J Digital Earth 1(1), pp. 88-106
50. Remondino F., Rizzi A. (2010), *Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites-techniques, problems, and examples*, Appl. Geomat (2010) 2, pp. 85-100
51. English Heritag, *3D laser scanning for heritage. Advice and guidance to users on laser scanning*. In archaeology and architecture, 2007
<http://www.helm.org.uk/upload/pdf/publishing-3d-laser-scanning-reprint.pdf>
52. Levoy M, Pulli K, Curless B, Rusinkiewicz S, Koller D, Pereira L, Ginzton M, Anderson S, Davis J, Ginsberg J., Shade J., Fulk D. (2000): *The digital Michelangelo project: 3d scanning of large statues*, Proceedings SIGGRAPH 2000, New Orleans, Louisiana, USA, July 2000, pp.131-144.

53. Lerma J.L., Navarro S., Cabrelles N., Villaverde V. (2010) *Terrestrial Laser Scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the upper palaeolithic cave of Parpallò as a case of study*, Journal of Archaeological Science, 37 (3), 2010, pp. 499-507
54. Remondino F., Girardi, S., Rizzi A., Gonzo, L.(2009), *3D modeling of complex and detailed cultural heritage using multi-resolution data*, Journal on Computing and Cultural Heritage 2(2009)1, 2:1-2:20
55. Ruther H.(2010), *Documenting Africa's Cultural Heritage*, Proceedings of VAST 2010, Archaeology and Cultural Heritage, Paris, September 2010.
56. Al-kheder, S., Al-shawabkeh, Y., and Haala, N. (2009), *Developing a documentation system for desert palaces in Jordan using 3D laser scanning and digital photogrammetry*, Journal of Archaeological Science, 2009, 36, pp. 537-546
57. Cabrelles N., Galcerá S., Navarro S., Lerma J.L., Akasheh T., Haddad N.(2009), *Integration of 3D laser scanning, photogrammetry, thermography to record architectural monuments*, Proceedings of CIPA 2009, Kyoto, Japan, 11-15 Oct. 2009, pp. 6
58. Bohler, W, and Marbs, A. (2002), *3D Scanning Instruments*, Proceedings of CIPA WG6 Scanning for Cultural Heritage Recording, September 1-2, Corfu, Greece
59. Peloso D.(2005), *Tecniche laser scanner per il rilievo dei beni culturali*. In Archeologia e Calcolatori, 16, 2005, pp. 199-224.
60. Bitelli G., Dubbini M., Zanutta A. (2004), *Terrestrial Laser Scanning and Digital Photogrammetry Techniques to Monitoring Landslide Bodies*. In Altan (ed.) Proceedings of XX ISPRS Congress, 12-13 July 2004, Istanbul, Turkey, IAPRS vol. XXXXV, part B5, pp.246-251
61. Bini M. e Verdiani G. (2006), *Dal laser scanner alla realtà virtuale*. In Stefano Campana , Riccardo Francovich (a cura di) Laser Scanner e GPS. Paesaggi Archeologici e Tecnologie Digitali, Quaderni del Dipartimento di archeologia e Storia delle Arti Sezione Archeologia – Università di Siena, Firenze, Edizioni All'Insegna del Giglio, 2006,pp. 93-115
62. Lerma García, J.L., Van Genechten B. , Santana Quintero M. (2008), *3D Risk Mapping. Theory and Practice on Terrestrial Laser Scanning. Training Material Based on Practical Applications*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia 2008, 261 pp.
63. <http://www.stonehangelaserscan.org/laser.html>
64. Scopigno R., (2006), *Gestione efficiente dei dati prodotti dai sistemi di scansione tridimensionale*. In Stefano Campana , Riccardo Francovich (a cura di) Laser Scanner e GPS. Paesaggi Archeologici e Tecnologie Digitali, Quaderni del Dipartimento di

archeologia e Storia delle Arti Sezione Archeologia – Università di
Siena, Firenze, Edizioni All'Insegna del Giglio, 2006,pp. 41-67

65. Girelli V. (2007) *Tecniche digitali per il rilievo, la modellazione tridimensionale e la rappresentazione nel campo dei beni culturali*. Tesi di Dottorato, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna.
66. Barber D., Mills J., Bryan P.(2003) *Towards a standard specification for terrestrial laser scanning of cultural heritage*. In Proc. Of the XXth ISPRS Congress on Geo-Imagery Bridging Continents, Vol. XXXV, Part B5, 2003
67. Giorgio Verdiani G., Di Tondo S. (2006), *An improved stratigraphy based on laser scanner survey*. In Cultural Heritage and new technologies, Workshop 11 “Archäologie & Computer”, Wien October 18-20 2006.
68. George P.L., Borouchaki H. (1998), *Delaunay triangulation and Meshin*, Paris, Editions Hermes.
69. <http://hds.leica-geosystems.com>
70. <http://www.3dreshaper.com>
71. http://www.canon.it/For_Home/Product_Finder/Cameras/Digital_Camera/PowerShot/PowerShot_G11/
72. <http://usa.autodesk.com/3ds-max/>