

*Carlo Raffaelli*

Carlo Raffaelli, nato a Pisa il 31 ottobre del 1978, ha ottenuto il diploma di maturità artistica presso il "Liceo Artistico Statale" di Lucca e nel 2008 ha conseguito la laurea in Architettura Magistrale presso la Facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze, discutendo la tesi in Rilievo dell'Architettura:

*Analisi del Parco di Villa Fabbricotti. Sistemi di Gestione e Rappresentazione* (relatore: Prof. Stefano Bertucci, correlatore: Dott. Arch. Sandro Parrinello). Dal 2010 ha frequentato il XXV ciclo del Dottorato di Ricerca in Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente presso l'Università degli Studi di Firenze afferente alla Scuola Nazionale di Dottorato in Scienze della Rappresentazione e del Rilievo, e dallo stesso anno è Assegnista di Ricerca presso il Dipartimento di Architettura, Disegno, Storia, Progetto della Facoltà di Architettura di Firenze. Nel corso delle attività di ricerca del laboratorio interdipartimentale *Landscape, Survey & Design* ha partecipato a progetti di rilievo integrato con metodologia laser scanner fra i quali, oltre agli studi sulle quadrature delle sale granducali di Palazzo Pitti (responsabili: Prof. Stefano Bertucci, Prof. Fausto Farneti), ha condotto, come responsabile tecnico, progetti di ricerca relativi a rilievi post-sisma di aggregati in muratura nel centro storico di L'Aquila e del centro storico del Comune di Acciano (AQ) per la redazione del Piano di Ricostruzione del 2012.

Scuola Nazionale di Dottorato - V ciclo - 2010/2012  
in Scienze della Rappresentazione e del Rilievo

*Sede centrale di coordinamento fino al 2010*  
Università degli Studi di Firenze  
*Direttore fino al 2010*  
Emma Mandelli

*Sede centrale di coordinamento dal 2011*  
Università degli Studi di Roma "Sapienza"  
*Direttore dal 2011*  
Cesare Cundari

*Sedi associate*  
Politecnico di Bari  
Università di Catania - Siracusa  
Università degli studi "G. D'Annunzio" Chieti - Pescara  
Università degli Studi di Firenze  
Università degli Studi di Palermo  
Università Mediterranea di Reggio Calabria  
Università degli Studi di Roma "Sapienza"

*Sito web ufficiale*  
[www.scuoladottorato-icar17.it](http://www.scuoladottorato-icar17.it)

Carlo Raffaelli - Metodologie di rilievo integrato in contesti urbani storici post-sisma

Carlo Raffaelli

## Metodologie di rilievo integrato in contesti urbani storici post-sisma.

*Il rilievo e il disegno come fondamenti del processo di documentazione e analisi per la Ricostruzione*



Tesi di Dottorato di Ricerca D.P.R. 1157/1980 - Ciclo XXV - Dicembre 2012

*The work wants to present the methodologies for integrated architecture survey applied to specific study cases related to the analysis of post-disaster contexts. A methodological proposal related to the specific activities is proposed for the knowledge of the artifacts to be analyzed. The study case related to this type of research, made it possible to structure the process of analysis for reconstruction of the built heritage damaged by the earthquake, starts from the architectural scale to the urban one, with the survey of the historic towns of Acciano (AQ) for the preparation of the Reconstruction Plan 2012. The surveys carried out by the research group of the Department of Architecture Design History, Project of the Faculty of Architecture in Florence were performed according to specific needs and purposes. They were also follow through in different contexts, from the "red zone" of the historic town of L'Aquila to minor historic towns of the city of Acciano, in the seismic Abruzzo crater. Thereafter they widened to the Palazzo del Podestà, in Maniava, for the monitoring and detection of plastic deformation of the related external fronts. The issues raised by each case study, all referring to the later tragic, telluric events that occurred throughout the country in Abruzzo 6th April 2009 and in Emilia 20th May 2012, are linked to the design and execution of post-earthquake surveys of the wrecked built heritage. The survey methods used for carrying out research have been proposed by the latest technologies and by the topographic survey integrated with traditional methods of direct survey and photographic documentation and historical critical object of the survey have produced interesting results support to existing tools specific for this kind of activities.*

*In copertina: la foto del crollo di una volta interna ad un aggregato urbano nel centro storico di L'Aquila a seguito del sisma del 6 aprile 2009.*





Università degli Studi di Firenze - Dipartimento di Architettura: Disegno, Storia, Progetto  
Dottorato di Ricerca in *Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente* - Settore disciplinare ICAR 17

Tesi di Dottorato di Ricerca D.P.R. 11/7/1980 - Ciclo XXV - Dicembre 2012

*Carlo Raffaelli*

## **Metodologie di rilievo integrato in contesti urbani storici post-sisma**

Il rilievo e il disegno come fondamenti del processo di documentazione e analisi per la  
Ricostruzione



Scuola Nazionale di Dottorato in Scienza della Rappresentazione e del Rilievo

Copyright Dipartimento di Architettura: Disegno, Storia, Progetto - Sezione Architettura e Disegno, Firenze 2012.  
Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcun modo (comprese fotocopie e microfilms) senza il permesso scritto del dottorando di ricerca in "Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente".

*Scuola Nazionale di Dottorato V ciclo - 2010/2012*  
in Scienze della Rappresentazione e del Rilievo

*Sede centrale di coordinamento fino al 2010*  
Università degli Studi di Firenze  
Direttore fino al 2010 - Emma Mandelli

*Sede centrale di coordinamento dal 2011*  
Università degli Studi di Roma "Sapienza"  
Direttore dal 2011 - Cesare Cundari

*Sedi consorziate*  
Politecnico di Bari  
Università di Catania - Siracusa  
Università degli studi "G. D'Annunzio" Chieti - Pescara  
Università degli Studi di Firenze  
Università degli Studi di Palermo  
Università Mediterranea di Reggio Calabria  
Università degli Studi di Roma "Sapienza"

*Università degli Studi di Firenze*  
Dottorato di Ricerca in Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente  
XXV Ciclo - Settore disciplinare ICAR 17

*Coordinatore 2010 - Emma Mandelli*  
*Coordinatore dal 2011 - Marco Bini*  
*Collegio del Dottorato*

Giovanni Anzani, Barbara Aterini, Maria Teresa Bartoli, Stefano Bertocci, Marco Bini, Giancarlo Cataldi, Giuseppe Conti, Carmela Crescenzi, Fauzia Farneti, Cecilia Luschi, Alessandro Merlo, Paola Puma, Marcello Scalzo, Giorgio Verdiani.

<i>Dottorando</i> Carlo Raffaelli	<i>Coordinatore del Dottorato fino al 2010</i> Emma Mandelli
<i>Tutor</i> Stefano Bertocci <i>Co-Tutor</i> Mario De Stefano Giovanni Minutoli	<i>Coordinatore del Dottorato dal 2011</i> Marco Bini  Data.....

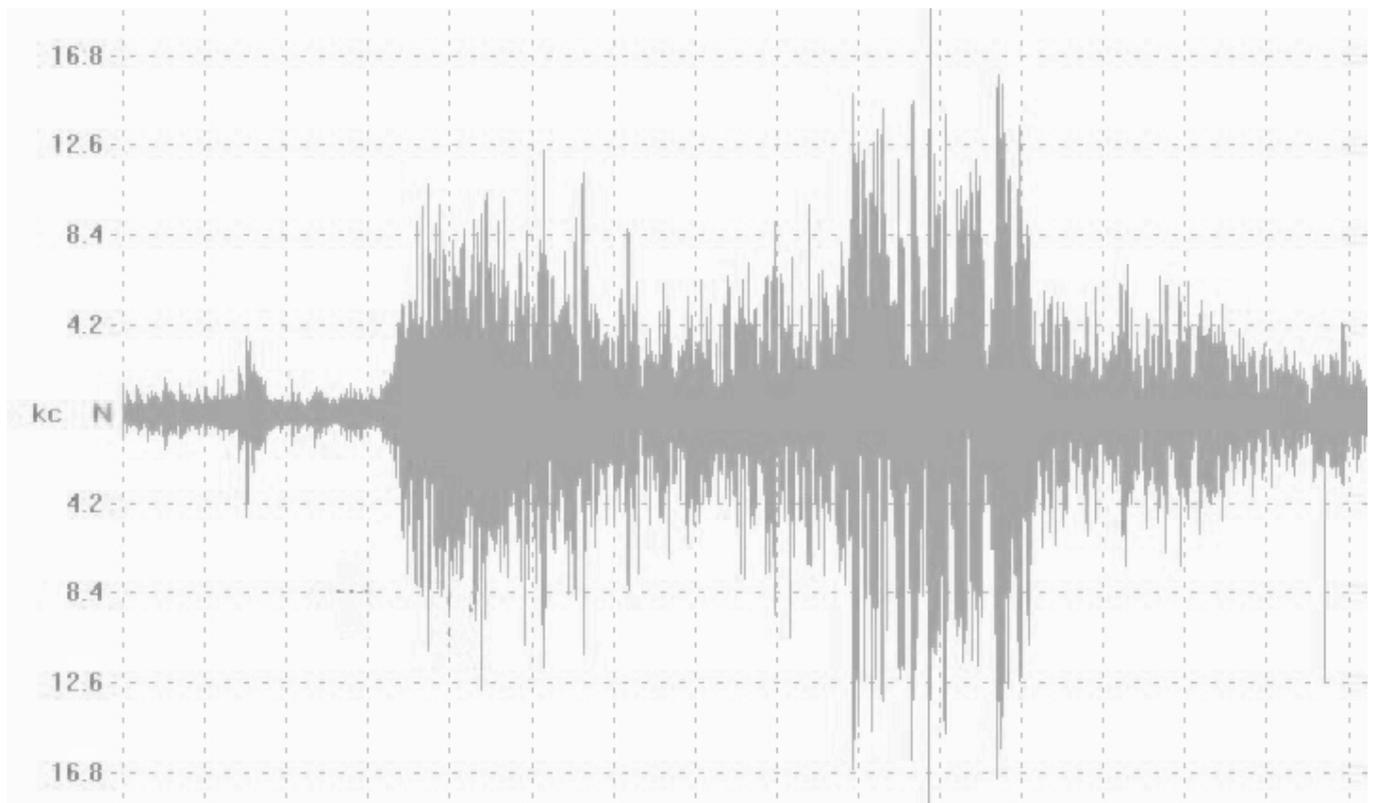
*A tutte le vittime dei terremoti*



## INDICE

Premessa	10	2.2.1R Rilievo 3D e seguito con i sensori canonici	54
Introduzione	11	Aggregati in muratura: acquisizione, elaborazione e restituzione dati	
<b>1. Introduzione al tema della Ricostruzione post-sisma, i diversi approcci nel panorama storico italiano e il contesto legislativo</b>	<b>14</b>	2.2.1R Rilievo 3D e seguito con i sensori canonici	55
Premessa	14	2.2.2R Rilievo di retto, unadde per la parte occlusa	78
1.1 Estrazione e classificazione degli interventi di ricostruzione post-sisma sul territorio italiano	16	2.2.3 Documentazione fotografica	86
1.2 Formazione del contesto legislativo e della normativa in zona sismica	20	2.2.4P Produzione: registrazione e rilievo strumentale e costituzione di un banca dati digitalizzata	100
1.2.1 Riferimenti tecnici e normativi	25	2.2.5 Restituzione grafica 2D	104
<b>2. Il rilievo integrato degli Aggregati in muratura per il consolidamento sismico</b> (Analisi relativa ad alcuni Aggregati campione rilevati nel centro storico di L'Aquila)	<b>30</b>	2.3 Analisi specifiche: rilievo strutturale e diagnostico	122
Premessa	30	2.3.1 Lettura e rappresentazione delle tipologie strutturali costituenti l'Aggregato	123
2.1 Attività preliminari: conoscenza dell'oggetto da rilevare e del contesto post-sisma	32	2.3.2 Lettura e rappresentazione del quadro fessurativo e della meccanica dei dissesti	140
2.1.1 Il rilevamento in emergenza: la scheda AeDES ed il suo processo di formazione	33	2.4 Analisi e interpretazione e la gestione dei dati	152
2.1.2 Localizzazione territoriale/ amministrativa	39	<b>3. Rilievi digitali per il monitoraggio post-sisma dell'edilizia di culto e di pregio.</b>	<b>166</b>
2.1.3 Indagine per lo studio dell'evoluzione storica	42	Premessa	166
2.1.4 Campagna fotografica preliminare	44	3.1.1 Chiesa di San Felice d'Ocre: Beffi e San Lorenzo di Beffi: rilievi digitali	168
2.1.5 Individuazione dei corredi strutturali o Unità Strutturali	48	3.1.1.1 Il rilievo con i sensori canonici in emergenza della chiesa di San Felice d'Ocre	168
2.1.6 Definizione del progetto di rilievo integrato	49	3.1.1.2 Il rilievo con i sensori canonici complessi ecclesiastici di Beffi e di San Lorenzo di Beffi	176

32I	IP alazzo de IP ode stà a M art oia :	198	4.3 Rilevamento dati qualitativi: schedatura delle	276
s	perimentazioneperi lmonitoraggiopos t-		singole unità edilizie e GIS	
	sisma			
	3.2.1 Progetto del rilievo digitale per il	200	4.3.1 La costruzione della scheda di rilevamento	277
	c onfrontoc oni ldat abas ede lr ilievo		e la scelta dei descrittori	
	pre-sisma		4.3.2 La scheda di unità edilizia (U.E.)	279
	3.2.2 La campagna di rilievo	202	4.3.3 L'analisi degli spazi pubblici e delle aree	290
	3.2.3 Messa a registro del database 2012 e	206	aperte	
	sovrapposizione con il database 2007		4.3.4 Elaborazioni GIS per la gestione del	294
3.2	.4P ost-processingde idat ie de laborazioni	208	quadro conoscitivo: cartografia di sintesi	
	per il monitoraggio			
	3.2.5 Valutazioni conclusive sulla	222	4.4 Individuazione degli elementi di vulnerabilità	298
	sperimentazione condotta		sismica dei centri storici di Acciano	
<b>4. Il rilievo urbano post-sisma dei centri storici: il</b>	<b>228</b>		4.4.1 L'orografia	300
<b>caso del Comune di Acciano</b>			4.4.2 La storia sismica	301
(Attività di rilievo per l'elaborazione della base			4.4.3 Indagini sulle tecniche realizzative	306
cartografica necessaria alla redazione del Piano di			dei sistemi costruttivi	
Ricostruzione)			4.4.4 Effetti degli eventi sismici del 2009	314
			nei centri rilevati	
Premessa	228		4.5 Esempi di utilizzo dei dati di rilievo come	318
4.1 Progetto di rilievo urbano e quadro	232		supporto ad analisi specifiche per la stesura del	
metodologico			Piano di Ricostruzione	
4.1.1 Inquadramento geografico territoriale	234		4.5.1 Proposta di individuazione degli	318
4.1.2 Cenni storici per la comprensione	236		aggregati nei centri storici del Comune di	
dell'assetto urbano			Acciano	
4.2 Rilievo digitale integrato dei centri storici del	246		4.5.2 Definizione delle superfici per il calcolo	326
Comune di Acciano			del Quadro Tecnico Economico	
4.2.1 Rilievo laser scanner su appoggio	250		<b>Conclusioni</b>	<b>334</b>
topografico per l'analisi urbana				
4.2.2 Restituzione grafica e creazione della	261		<b>Bibliografia</b>	<b>336</b>
cartografia di riferimento				
			<b>Abstract</b>	<b>340</b>



*La scossa del terremoto di L'Aquila del 6 aprile 2009 rilevata dai sismografi alle ore 3:32.*

## **Premessa**

La mia passione e l'interesse per il tema di ricerca sui rilevamenti architettonici in contesti post-sisma, nasce dalle esperienze di rilievo integrato effettuate nel centro storico di L'Aquila al termine del primo anno di Dottorato. In seguito al terribile evento sismico del 6 aprile 2009 che ha colpito il territorio abruzzese, sono stato inserito in un gruppo di ricerca del Dipartimento di Architettura Disegno, Storia, Progetto della Facoltà di Architettura di Firenze, da novembre 2010, in una realtà che per molteplici aspetti è da considerarsi "eccezionale". La drammaticità della tragedia - il devastante terremoto che ha investito queste terre, amplificata dal silenzio e dalla distruzione di una città che appare morta e ibernata dalla notte delle scosse - ha scaturito un aspetto emotivo in una esperienza formativa allo stesso tempo unica. L'opportunità infatti di vedere a "nudo" la stratificazione architettonica di un centro storico, ha rappresentato un'importante scuola pratica per studiare e rilevare direttamente dall'ossatura degli edifici tecniche costruttive antiche ed elementi strutturali smembrati nelle loro parti. Il costante interfacciarsi con le discipline del restauro architettonico, mi ha permesso di comprendere e verificare sul campo, dalla lettura, il rilievo e l'interpretazione dei danni, le meccaniche dei dissesti innescate dal sisma, fornendomi una chiave di lettura da applicare alle operazioni di rilievo fino a questo momento per me nuova: "rilevare il danno".

Il coinvolgimento emotivo personale, durante le attività di ricerca calate nelle problematiche reali di un sistema

urbano e sociale distrutto e in stato di emergenza, si è rivelato fortissimo.

La perdita di molte vite umane e il dolore di chi ha vissuto quel momento, è fortemente percepibile ad ogni angolo dei vicoli che percorrono i centri storici ormai "fantasma" e sui volti delle persone che provano con difficoltà a ricominciare.

L'ambientazione post-sisma è quasi surreale, la presenza di militari e posti di blocco che circoscrivono la "zona rossa", l'attività di operai che provvedono, a distanza di quasi due anni dal sisma, alla messa in sicurezza di molti edifici, il passaggio di cani randagi e il pesante silenzio che grava su ogni cosa come in uno stato fluido, rende questa atmosfera ovattata e paragonabile a quella di un contesto post-bellico.

Aver lavorato in un connubio di nuove esperienze professionali che hanno arricchito la mia preparazione e di forti emozioni scaturite dalla tragedia del fatto, ha sviluppato in me un forte interesse per il tema del rilievo post-sisma, che ho avuto la possibilità di effettuare in prima persona come coordinatore tecnico durante diversi progetti di ricerca negli ultimi due anni del corso di Dottorato. Ho potuto raccogliere una cospicua quantità di dati relativi a diversi oggetti di indagine, dalla scala architettonica di vari aggregati residenziali in muratura, edifici di culto e di pregio, fino a quella urbana, applicando la metodologie di rilievo integrato e giungendo al rilevamento di interi centri storici per la stesura di un Piano di Ricostruzione.

## INTRODUZIONE

Il tentativo di definire un protocollo metodologico specifico per le attività connesse alle discipline del rilievo e della rappresentazione dell'architettura danneggiata dai terremoti - che risulti un utile supporto alle "linee guida" già esistenti - è stato possibile grazie alle esperienze condotte sul campo e dall'analisi di specifici casi studio che hanno permesso la sperimentazione e l'applicazione pratica di metodologie interdisciplinari supportate da strumentazioni digitali.

La scelta di affrontare prima il tema del rilievo architettonico sugli aggregati in muratura per gli interventi di recupero e adeguamento sismico e di presentare successivamente il rilievo a scala urbana dei centri storici per la definizione della cartografia di supporto al Piano di Ricostruzione, deriva dal fatto che l'organismo architettonico, rilevato e documentato, dall'inquadramento urbano alle indagini specifiche, permette analisi puntuali. I rilievi a scala architettonica con individuazione degli aspetti strutturali fino al dettaglio costruttivo e degli aspetti diagnostici fino al quadro fessurativo, consentono infatti di definire un protocollo metodologico più completo che può essere applicato - con i dovuti adeguamenti - anche a edifici di culto o di particolare rilevanza storica, o a contesti urbani per la creazione di cartografie dedicate agli strumenti urbanistici atti a regolamentare le dinamiche di ricostruzione post-sisma.

Come riconosciuto dalle *"Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale"*:

*"La salvaguardia del patrimonio culturale dal rischio sismico in Italia è innanzitutto un tema di prevenzione, finora mai attuata, se non in casi assolutamente singolari, tanto da non costituire neanche un precedente. Ma la conservazione del patrimonio culturale dipende moltissimo anche dalla natura dei progetti che si realizzano. Un intervento di scarsa qualità è peggiore del non intervento. Complessivamente, finora, i lavori per la sicurezza antisismica non sono stati di qualità. Di solito, si è trattato di progetti che non si sono preoccupati di*

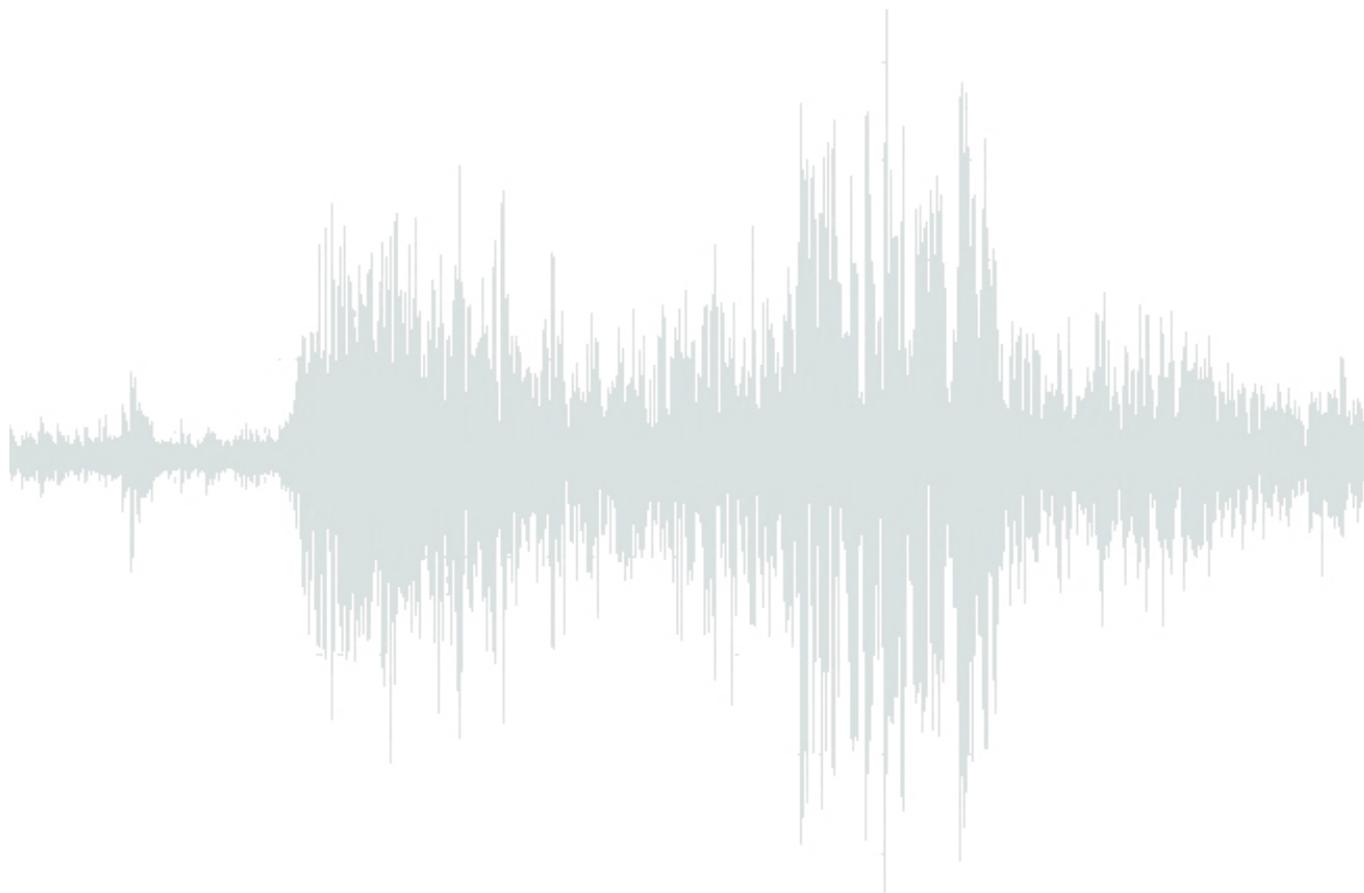
*guardare la fabbrica che è stata volutamente ignorata, nella miope convinzione che fosse a priori inadeguata; maturando l'idea che l'unica soluzione possibile fosse quella di sovrapporsi letteralmente all'esistente, utilizzando i criteri costruttivi del nuovo e adottando modi di intervenire quantomeno impropri. Il risultato è stato disastroso; si sono perse considerevoli parti del patrimonio culturale che non sarà possibile in alcun modo recuperare. Da qui, la necessità di dotarsi di strumenti adeguati per la conservazione in condizioni di sicurezza del patrimonio culturale nei riguardi dell'azione sismica, è necessario disporre di strumenti di analisi a diverso livello di approfondimento, applicabili a due diverse scale: la valutazione della vulnerabilità del patrimonio culturale a scala territoriale; la valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sul singolo manufatto".<sup>1</sup>*

In entrambi i livelli di analisi sopra citati si pone l'esigenza di partire da un processo di conoscenza e documentazione del territorio fino al singolo edificio, che deve svilupparsi secondo una metodologia integrata di rilievo a diverse scale di indagine, sfruttando i sistemi di rilevamento tradizionali e strumentali come supporto a quelli digitali di ultima generazione. I risultati di queste attività, che serviranno alla pianificazione ed alla progettazione degli interventi, devono trovare una loro dialettica comunicativa interpretabile da tutte le entità coinvolte nel processo di ricostruzione post-sisma.

La rappresentazione grafica tradizionale integrata a quella digitale nelle sue possibilità di gestione e visualizzazione tridimensionale, calibrata secondo le esigenze specifiche, diviene il linguaggio necessario a fornire un potente e indispensabile strumento per il progetto.

### NOTE

1. Cfr. Ministero per i Beni e le Attività Culturali - Dipartimento per i Beni Culturali e Paesaggistici - Direzione Generale per i Beni Architettonici e Paesaggistici, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, Gangemi Editore, Roma 2006, p. 5.



## *CAPITOLO 1*

*Introduzione al tema della Ricostruzione post-sisma, i diversi approcci nel panorama storico italiano e il contesto legislativo*

## CAPITOLO 1

### **Introduzione al tema della ricostruzione post-sisma, i diversi approcci nel panorama storico italiano e il contesto legislativo**

#### *Premessa*

I centri storici italiani, per la loro localizzazione geografica, per la conformazione geologica e per la stratificazione storica che li caratterizza sono dal punto di vista sismico particolarmente fragili. Nonostante che il susseguirsi di eventi tellurici abbia sviluppato nella professionalità di progettisti e di esecutori una serie di regole atte a migliorare la qualità del costruito e dell'urbano, i problemi legati alla vulnerabilità sismica<sup>1</sup> dei centri storici permangono di difficile risoluzione<sup>2</sup>.

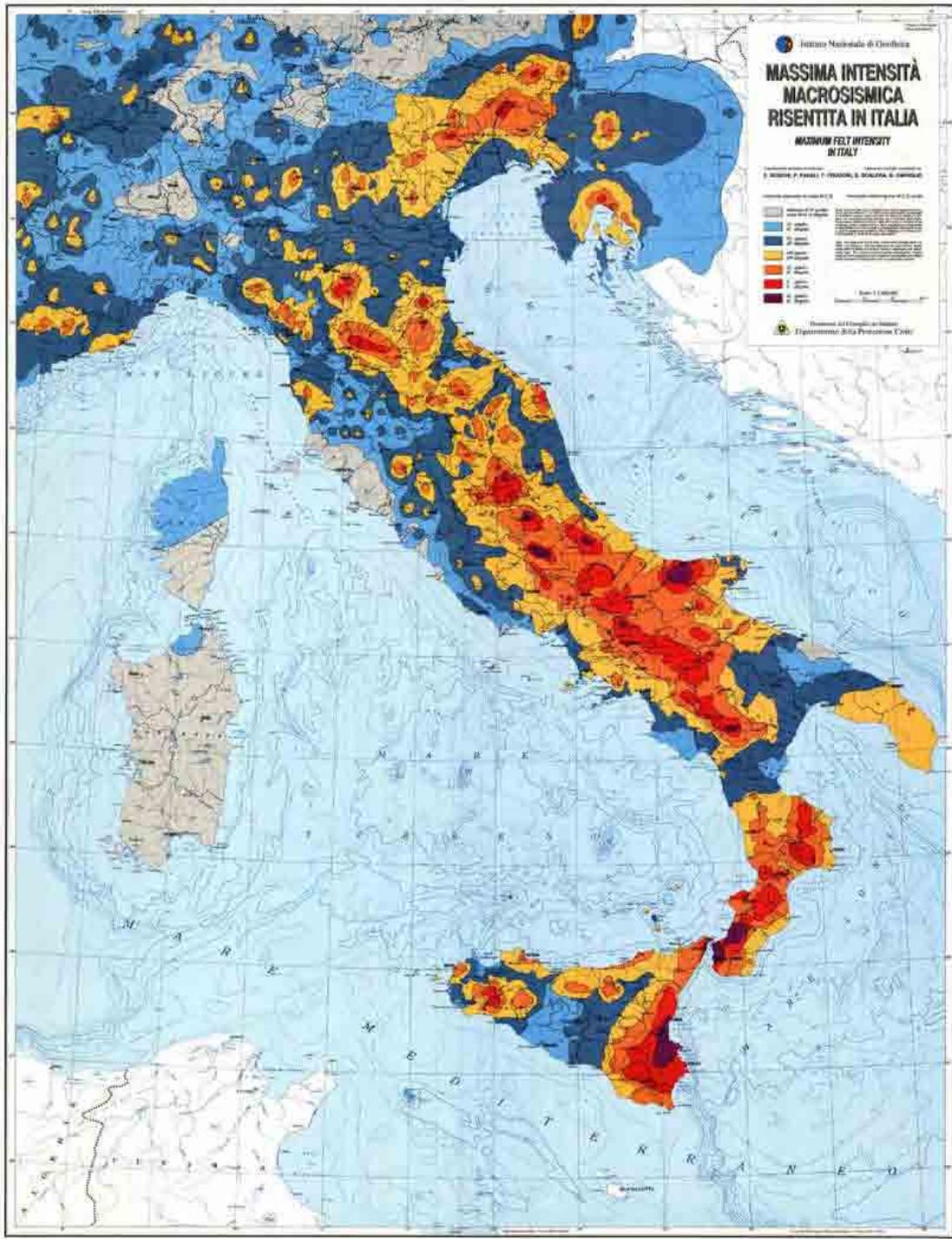
L'analisi che viene proposta in questo primo Capitolo permette un inquadramento al panorama storico/nazionale sulla gestione degli interventi post-sisma, facendo riferimento ai diversi approcci concettuali che il tema della ricostruzione ha necessariamente posto al centro dell'attenzione nei vari periodi storici sul territorio laddove fenomeni sismici si sono presentati con conseguenze disastrose per i centri urbani e per i relativi abitanti.

Individuando le principali politiche di intervento post-sisma che si sono delineate nella storia delle ricostruzioni dei centri urbani interessati, ed esaminando la normativa antisismica che si è andata definendo negli anni, è possibile capire come gli interventi di recupero architettonico, restauro e consolidamento del tessuto urbano, tesi a preservare il patrimonio storico architettonico esistente del nostro edificato - con un adeguamento per quanto possibile

a misure antisismiche - siano soluzioni maturate solo negli ultimi decenni.

Il supporto dato dalle conoscenze specifiche sul danno subito da un sistema urbano storico, identificabile nella capacità di interpretazione delle meccaniche dei dissesti innescate dal sisma sugli organismi architettonici, sta alla base della possibilità di poter recuperare questi ultimi secondo azioni adeguate o della necessità di demolizione o sostituzione edilizia.

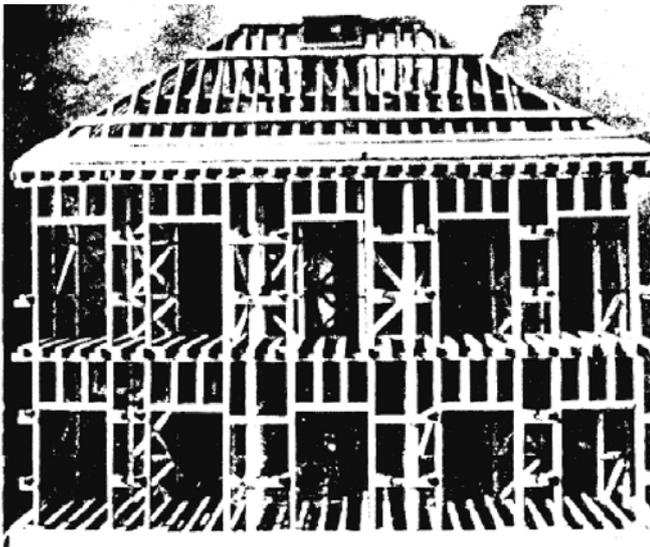
La messa a punto di analisi che a diverse scale di rappresentazione indicassero aspetti urbani, architettonici, strutturali, fino alla specifica lettura dei degradi e dei dissesti delle architetture colpite dal sisma, si è resa necessaria alla programmazione delle attività per la ricostruzione e adeguamento sismico dell'edilizia storica solo dalla fine degli anni '90, integrando - a livello normativo - il rilievo come fase preliminare fondamentale alla conoscenza del manufatto per la definizione degli interventi da effettuare. Il supporto di queste attività di analisi, secondo metodologie di indagine e di rappresentazione grafica proprie alla disciplina stessa del rilievo architettonico, si sta sviluppando, relazionandosi ed evolvendosi in questi ultimi anni, anche sulla base delle recenti tecnologie strumentali e digitali applicate ai processi di documentazione e di gestione tridimensionale dell'architettura.



La carta dell'Istituto Nazionale di Geofisica che individua la massima intensità macrosismica risentita in Italia.

## 1.1 EXCURSUS SULLA GESTIONE DEGLI INTERVENTI DI RICOSTRUZIONE POST-SISMA IN ITALIA

Nella storia moderna della ricostruzione post-sismica dei centri storici colpiti dai terremoti si sono sviluppate principalmente tre diverse tipologie di intervento: la prima in cui i centri storici venivano restaurati e “riammodernati” mantenendo lo stesso assetto urbano e lo stesso sviluppo compositivo, questo è il caso di Siracusa dopo il sisma del 1693 o Messina dopo il sisma del 1783; una seconda tipologia in cui si abbandonavano i vecchi centri ormai devastati per ricostruirli a media distanza in luoghi considerati più sicuri, i nuovi centri seguono uno sviluppo compositivo che tiene conto delle prescrizioni antisismiche dei più importanti trattatisti cercando di ottemperare alle principali regole della progettazione urbana e della solidità della fabbriche, è il caso di Noto dopo il sisma del 1693, Gibellina<sup>3</sup> dopo il sisma del 1968, di Conza della Campania a seguito del sisma del 1980 o delle numerose cittadine calabresi realizzate dopo il sisma del 1738 con la tecnica degli edifici “baraccati” voluti dalla normativa Borbonica e allineata alle direttive volute dopo il sisma di Lisbona del 1755; nel terzo caso si interviene conservando gli edifici rappresentativi principali modificando e aggiornando invece l’urbano “minore”, è quello che succede a Messina dopo il sisma del 1908 o a Teora dopo il sisma del 1980.



Nel secolo precedente tre casi di interventi legati alla ricostruzione post-sismica hanno fatto scuola; il primo, il caso di Messina post 1908, il secondo, le cittadine colpite dal sisma friulano del 1976 e il terzo caso riguarda i centri irpini colpiti dal sisma del 1980.

Il terremoto del 28 dicembre 1908 ebbe inizio alle ore 5 e 21 minuti circa e la sua durata fu di circa 30 secondi. La scossa, che in un primo momento venne considerata del X° grado della scala Mercalli, poi fu corretta in XI-XII. La gravità degli effetti del terremoto non fu determinata esclusivamente dalle scosse, quanto dal fatto che queste colpirono una zona molto popolata. Il disastro fu aggravato dal successivo maremoto, che si manifestò circa dieci minuti dopo.

Nei cinquant’anni che seguirono il sisma, quasi tutti gli edifici di pregio distrutti furono ricostruiti o in qualche caso restaurati, tranne quelli che costituivano la Palazzata. Il Ministero dei Lavori Pubblici ordinò l’immediato invio nei luoghi devastati di numeroso personale tecnico affidando a due Ispettori Superiori del Genio Civile, per i compartimenti di Palermo e Catanzaro, la direzione dei servizi spettanti al Genio Civile, rispettivamente per la Sicilia e la Calabria. Il Governo non indugiò a chiedere al



*Sopra: una veduta della città di Mileto, alla fine del 1783. In secondo piano la vecchia città danneggiata dal terremoto; in primo piano l’insediamento di baracche provvisorie (Principe, Città nuove in Calabria).*

*Nella foto a sinistra: un esempio di edificio baraccato con struttura lignea.*

Parlamento i primi mezzi per far fronte agli innumerevoli danni. La Legge 12 gennaio 1909 n. 12 assegnava (art.1) una somma di 30 milioni di lire “per provvedere ai bisogni ed opere urgenti e riparare o ricostruire edifici pubblici danneggiati dal terremoto”<sup>74</sup>, derogando per l’approvazione e per l’esecuzione dei progetti alle ordinarie norme vigenti per i lavori statali; autorizzò (art.3) l’occupazione temporanea di beni immobili “per l’esecuzione di opere urgenti nei paesi colpiti, nonché per la costruzione di baracche e di edifici, sia ad uso di privati che per servizi pubblici”<sup>75</sup> e infine stabilì (art.4) che “l’approvazione dei progetti di tutte le opere da eseguire per riparare i danni del

terremoto equivallesse a dichiarazione di pubblica utilità”<sup>76</sup>. L’iter ricostruttivo per la città di Messina è lungo e complesso, se il nuovo Piano Regolatore viene realizzato nel 1911 a soli 3 anni dal sisma, per la ricostruzione vera e propria bisogna aspettare gli anni ‘20, quasi un decennio è servito per sgombrare e smaltire le macerie dell’antica città e per realizzare o iniziare a realizzare gli edifici governativi e pubblici. Per la realizzazione delle residenze si è dovuto attendere fino alla seconda metà degli anni 20 e la popolazione superstite e i “nuovi cittadini” sono stati alloggiati nei quartieri baraccati realizzati all’indomani del sisma.



*In queste figure i frontespizi dei due Piani Regolatori presentati per la ricostruzione di Messina a seguito del terremoto del 1908, rispettivamente in alto quello proposto da Augusto Guidini, a destra quello che venne adottato di Luigi Borzi.*



*Alcune immagini storiche di Messina dopo l'evento sismico del 1908, dall'alto: i ruderi del Duomo, Corso Garibaldi invaso dai cumoli di macerie, la Palazzata nei giorni seguenti il terremoto.*

Le proposte più valide furono presentate da Augusto Guidini e da Luigi Borzi; il primo progetto era caratterizzato da un approccio conservativo alla città storica, mentre il secondo, che venne poi approvato, prevedeva di mantenere dei rapporti con il tessuto storico, sovrapponendo i nuovi tracciati viari ai vecchi, ma in sostanza aveva come priorità il rispetto delle norme di igiene e antisismiche. L'incarico di redigere il Piano Regolatore venne affidato con delibera d'urgenza il 27 maggio 1909 all'ing. Luigi Borzi che, in qualità di Capo dell'Ufficio Tecnico Municipale conosceva molto bene la realtà dei luoghi, pre e post terremoto.

Il terremoto friulano del 6 maggio 1976 colpì principalmente la zona a nord di Udine, l'epicentro macrosismico situato tra i comuni di Gemona e Artegna nelle vicinanze della località Lessi e la forza del sisma fu pari al decimo grado della scala Mercalli. I danni furono amplificati dalle particolari condizioni del suolo, dalla posizione dei paesi colpiti, quasi tutti posti in cima ad alture, e dall'età avanzata delle costruzioni.

La scossa, avvertita in tutto il Nord Italia, investì principalmente 77 Comuni italiani con danni, anche se molto più limitati, per una popolazione totale di circa 80.000 abitanti, provocando, 989 morti e oltre 45.000 senza tetto.

Il governo regionale del Friuli Venezia Giulia, grazie ad un'attenta ed efficiente gestione delle risorse, poté, nell'arco di circa dieci anni ricostruire interi paesi. Ancora oggi il ricordo di come venne gestito il dramma post-terremoto, viene ricordato come un alto esempio di efficienza e serietà. Il motore della ricostruzione fu assicurato da 500 miliardi di lire destinati alla ripresa economica, mentre il resto dei fondi fu affidato in gestione alle amministrazioni locali che effettuarono controlli efficaci e rigorosi sugli standard di ricostruzione.

I paesi vennero ricostruiti dov'erano situati originariamente migliorando la qualità dei nuovi edifici e calibrando con attenzione gli interventi sull'edilizia storica.

Il terremoto Irpino del 23 novembre 1980 si contraddistingue per una forte scossa della durata di circa 90 secondi del X grado della scala Mercalli con un ipocentro a circa 30 km di profondità che colpì un'area di 17.000 km<sup>2</sup> che si estendeva dall'Irpinia al Vulture, posta a cavallo delle province di Avellino, Salerno e Potenza. I comuni più duramente colpiti furono quelli di Castelnuovo di Conza, Conza della

Campania, Laviano, Lioni, Sant'Angelo dei Lombardi, Teora e Santomena. Gli effetti, tuttavia, si estesero ad una zona molto più vasta interessando praticamente tutta l'area centro meridionale della penisola: dissesti e crolli avvennero anche a Napoli interessando numerosi edifici fatiscenti o lesionati da tempo e vecchie abitazioni in tufo. La ricostruzione fu però uno dei peggiori esempi di speculazione su una tragedia, come testimoniano tutta una serie di inchieste della magistratura, per le quali sono state coniate espressioni come Irpiniagate, Terremotopoli o il terremoto infinito. Nei processi di ricostruzione, durante gli anni, si inserirono interessi loschi che dirottarono i fondi verso aree che non ne avevano diritto, moltiplicando il numero dei comuni colpiti: 339 paesi in un primo momento, che divennero 643 in seguito a un decreto dell'allora presidente del Consiglio Arnaldo Forlani nel maggio 1981, fino a raggiungere la cifra finale di 687, ossia quasi l'8,4% del totale dei comuni italiani. Più di settanta centri furono integralmente distrutti o seriamente danneggiati e oltre duecento ebbero consistenti danni

al patrimonio edilizio. Centinaia di opifici produttivi e artigianali furono cancellati con susseguente perdita di migliaia di posti di lavoro e danni patrimoniali per decine di migliaia di miliardi di lire. Sul modello del terremoto del Friuli, la ricostruzione anche in Irpinia venne incentrata sul rilancio industriale. Nonostante il territorio non presentasse caratteristiche industriali già da prima del sisma, la pioggia di contributi costituì una tentazione irrefrenabile per molti. Il meccanismo di capitalizzazione dei fondi pubblici prevedeva la costituzione di imprese che fallivano non appena venivano intascati i contributi. I finanziamenti arrivarono talmente concentrati da non riuscire ad essere spesi. In sette anni, ventisei banche cooperative aprirono gli sportelli nella zona terremotata (nove nella sola provincia di Avellino), arrivando a fare prestiti alle imprese del Nord Italia. Dal punto di vista urbanistico alcuni centri come Conza furono spostati e totalmente ricostruiti mentre altri comuni come Teora sono stati "restaurati" nella parte più antica<sup>7</sup> e ricostruiti nelle parti periferiche.



*In alto: il "Cretto" di Alberto Burri, opera realizzata dall'artista fra il 1984 e il 1989 sulle macerie di Gibellina vecchia, distrutta dal terremoto del 1968.*

*A destra: due immagini del post-terremoto in Irpinia del 1980, nella foto in basso il centro di Castelnuovo di Conza distrutto dal sisma.*



## 1.2 FORMAZIONE DEL CONTESTO LEGISLATIVO E DELLA NORMATIVA IN ZONA SISMICA

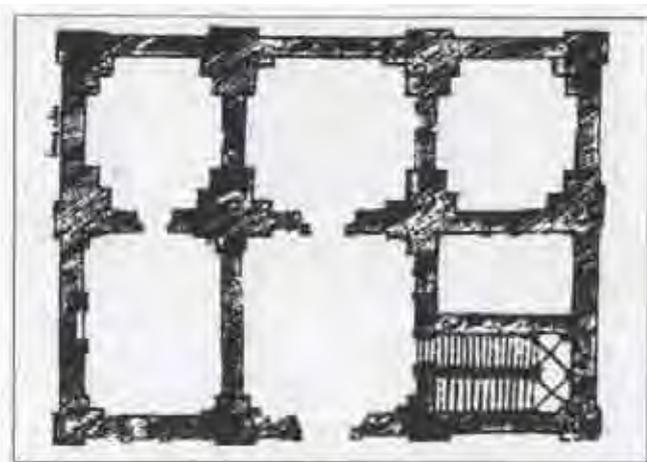
La ricorrenza di eventi tellurici ed i conseguenti danneggiamenti agli insediamenti urbani è documentata fin dall'antichità classica, già Plinio (23-79 d.C.) sembra essere il primo a riportare in maniera esplicita e chiara i metodi di difesa dal sisma in relazione alle cause ipotizzate da Aristotele che le individuava nelle "esalazioni" di vapori racchiusi nelle viscere della terra che tentano di uscire. Nel libro II della sua opera enciclopedica in 37 libri "*Naturalis Historia*"<sup>8</sup>, egli affronta il tema del terremoto, della sua previsione, della sua origine e della sua difesa, indicando la realizzazione di pozzi di sfato e individuando una geometria costruttiva idonea secondo una buona resistenza angolare degli edifici ben ammassati.

Lo stretto collegamento tra individuazione delle fonti di pericolosità sismica ed enunciazione di istruzioni per la progettazione tese a ridurla si sviluppa però dalla fine della prima metà dello scorso secolo<sup>9</sup>.

Un primo periodo è individuabile, tra il Quattrocento e la fine dell'Settecento, in cui trovano posto i suggerimenti, ovviamente non prescrittivi, di studiosi e tecnici, rappresentando l'embrione della futura normativa ancora

in gestazione. A questo proposito risulta significativa l'opera di Giannozzo Manetti, uno degli eruditi più importanti del Quattrocento che scrive "*De Terremotu liber tres*"<sup>10</sup>, manoscritto membranaceo conservato in più copie presso la Biblioteca Apostolica Vaticana, nel quale descrive dettagliatamente i danni provocati dal terremoto del dicembre del 1456 che colpì l'Italia centro-meridionale. Nel secolo successivo, il Cinquecento, numerosi sono i trattati specifici o meno che si occupano dell'argomento, Leonardo, intorno al 1492, in uno dei suoi scritti<sup>11</sup>, fu il primo ad intuire che durante i sismi fondamentale è il comportamento scatolare della struttura.

A seguito del terremoto del 1570 nel ferrarese, Pirro Ligorio stende l'opera manoscritta "*Trattato de diversi terremoti*" nel quale disegna la pianta della prima casa concepita con criteri antisismici.



Pianta della casa antisismica di Pirro Ligorio, 1570.



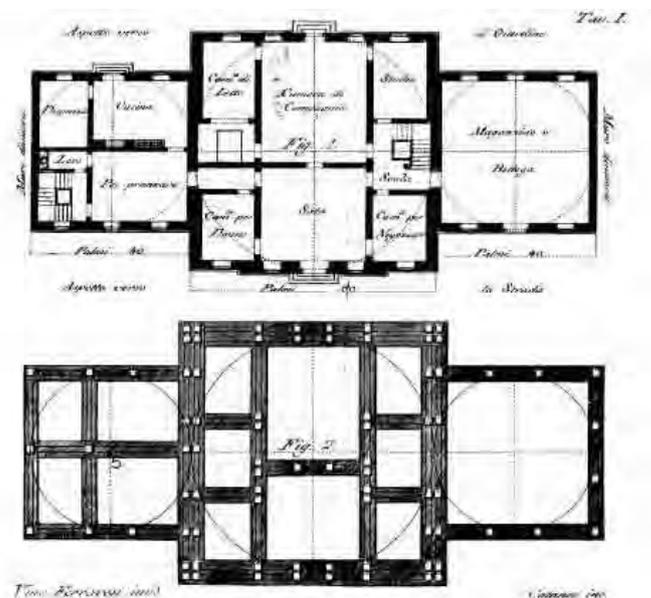
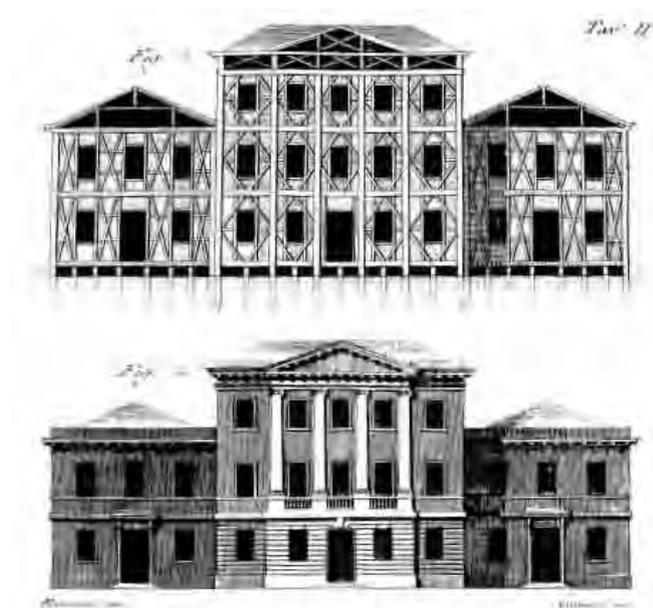
Bonito M. frontespizio dell'opera pubblicata a Napoli nel 1691.

Successivamente, a seguito del sisma avvenuto nella città di Napoli il 5 giugno 1688, Marcello Bonito scrive “*Terra tremante*”, (1691), riportando un elenco completo di tutti i terremoti avvenuti fino a quel momento.

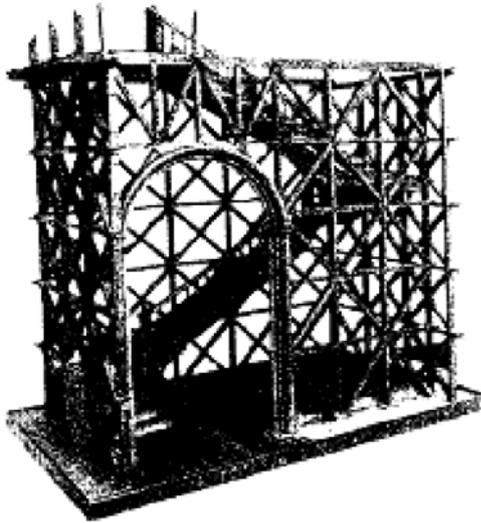
A Lisbona, dopo il terremoto del 1 novembre 1755 venne varata una normativa antisismica che prevedeva l’obbligo di costruire edifici ad intelaiatura lignea. La *gaiola* o gabbia pombaliana<sup>12</sup> dal nome del Ministro, Marchese di Pombal che presiedette alla ricostruzione della città, era infatti una struttura lignea, che, in caso di terremoto avrebbe potuto sostenere i solai e lo stesso tetto, anche qualora le murature fossero cadute, data la sua indipendenza da queste ultime. Verso la fine del Settecento è possibile individuare un secondo periodo di circa un secolo, nel quale vengono riferiti i primi sporadici e frammentari tentativi di norme tecniche, come le normative borboniche del Regno di Napoli del 1783-1784. In sostanza durante questo arco temporale, pur liberandosi lentamente dei retaggi dell’antichità, la storia delle tecniche antisismiche rivela un carattere sostanzialmente stagnante con un piccolo picco negli ultimi decenni del Settecento quando si inizia ad

entrare maggiormente nello specifico del problema, con indicazioni quantitative e con l’emanazione di norme prescrittive. Appare comunque evidente l’ostacolo frapposto dalla lentezza dell’evoluzione tecnologica, che esploderà soltanto con l’avvento della carpenteria metallica e del cemento armato.

Un terzo periodo, dal 1884 al 1924, in cui trovano posto le prime normative emanate dal Regno d’Italia a seguito dei violenti terremoti che nel 1883, 1905, 1908, 1915 colpirono rispettivamente Casamicciola<sup>13</sup> (Ischia), la Calabria e Messina<sup>14</sup>, Messina e Reggio Calabria<sup>15</sup>, le zone di Avezzano<sup>16</sup> (Abruzzo). Tali indicazioni risultano finalizzate, sostanzialmente, alla ricostruzione delle zone devastate, sviluppandosi nel corso di mezzo secolo in relazione ai vari eventi sismici sopra citati, fino alla stesura della prima normativa prescrittiva ad estensione nazionale per la regolamentazione delle costruzioni in tutte le zone dichiarate sismiche, quella del 1924. Le norme del 1884 costituiscono la base della successiva evoluzione: si tratta della prima serie di prescrizioni che copre in modo abbastanza completo l’intero campo delle problematiche



Uno studio sulle costruzioni in legno come strutture antisismiche proposte da Giovanni Vivencio nella sua Opera “*Istoria de’ tremuoti avvenuti nella provincia della Calabria ulteriore e nella città de Messina nell’anno 1783: e di quanto nella Calabria fu fatto per lo suo risorgimento fino al 1787: preceduta da una teoria, ed istoria generale de’ tremuoti*”, Volume 1, Nella Stamperia Regale, 1788. Nelle figure a sinistra sezione e prospetto della casa, in quelle a destra pianta e platea di fondazione.



Modello della "gaiola" dell'Istituto Superiore Tecnico di Lisbona (1987)

costruttive in zona sismica nei loro molteplici aspetti. In particolare, è posta nuova attenzione, rispetto al passato, alle fonti di vulnerabilità connesse alla forma dell'edificio, alle azioni trasmesse dalle coperture alle pareti portanti della costruzione e alla posizione delle aperture. Viene inoltre vietata la muratura a sacco e sono emanate specifiche norme per i restauri prevedendo una serie di interventi relativi agli orizzontamenti delle strutture. Le norme successive, da quelle entrate in vigore nel 1912 a quelle del 1924, appaiono da un lato meno restrittive, in relazione al numero di piani massimo, allo spessore delle murature e all'intelaiatura dei vani, dall'altro, più precise e affinate nel definire gli spessori murari e le modalità dei collegamenti. Estendono inoltre, per la prima volta alle zone sismiche dell'intero territorio nazionale le prescrizioni sino ad allora dettate per le zone assoggettate a particolari eventi sismici.

Un quarto periodo, dal 1924 al 1962, dove si colloca la successione delle normative a carattere nazionale emesse dal Regno d'Italia fino alla prima normativa della Repubblica, nel 1962. Queste interpretabili come successive rielaborazioni, senza grandi modifiche a parte la progressiva introduzione di più moderne tecnologie a partire dalle normative della ricostruzione del periodo

precedente. Solo con queste ultime norme si ritorna ai vecchi limiti sulle altezze, introducendo il giunto di separazione fra gli edifici contigui come nuovo elemento di sicurezza antisismica.

Un quinto periodo, dal 1962<sup>17</sup> al 1996, in cui l'ammodernamento generale della normativa italiana per le costruzioni in zona sismica, porta progressivamente verso l'allineamento con le normative europee ed internazionali più avanzate grazie ad una messa al passo con l'evoluzione scientifica tecnica fondata sulle ampie esperienze tratte dagli effetti dei violenti terremoti - del Belice nella Sicilia occidentale nel 1968<sup>18</sup>, del Friuli nel 1976, dell'Irpinia nel 1980<sup>19</sup> e, in particolare, del terremoto umbro-marchigiano del 1997<sup>20</sup> - ha trovato un adeguato riscontro nell'ambito delle costruzioni in muratura e specificamente verso gli edifici monumentali.

A partire dal 1974, infatti, prende avvio il processo di adeguamento del quadro normativo italiano a quello delle più avanzate normative estere, ciò anche in conformità con le raccomandazioni di organismi europei ed internazionali preposti allo scopo<sup>21</sup>. Parallelamente prende corpo una più rigorosa zonizzazione sismica del territorio italiano<sup>22</sup>. Sensibili progressi si hanno nella parte di normativa concernente gli interventi su edifici esistenti e ciò sotto la spinta del significativo interesse culturale ed economico per il recupero dei centri storici e la salvaguardia architettonica dell'esistente.

La normativa tecnica per le zone sismiche del 1986 prescrive ancora una serie di regole da seguire per la costruzione degli edifici in muratura, ribadite da una normativa generale su tali edifici (D.M. del 1987) mentre, per le altre tipologie costruttive quali il cemento armato, è sempre suggerito il calcolo, tramite analisi dinamico-statica, con successiva verifica delle tensioni ammissibili. Il limite normativo si basa implicitamente sul sistema tipologico duttile del materiale e non suggerisce come creare tali risorse di duttilità. Le norme del 1996 pongono in parte rimedio a questa situazione, rifacendosi anche all'Eurocodice 8, relativo alle zone sismiche, che sarà alla base del rinnovamento della normativa italiana; è inoltre di importanza fondamentale per l'allineamento di quest'ultima ai codici CEE.

In data 20 marzo 2003 è stata firmata dal Presidente del Consiglio l'Ordinanza 3274 con la quale, su indicazione

della Protezione Civile, vengono profondamente modificate le Norme Tecniche per le costruzioni in zona sismica e introdotta una nuova Classificazione Sismica dell'intero territorio nazionale. L'Ordinanza 3274 è così definita: "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica". I principi di questa normativa, dai contenuti innovativi<sup>23</sup>, hanno come motivazione principale la necessità di acquisire gli sviluppi teorici, maturati in questi ultimi anni nel settore dell'ingegneria antisismica, e di riqualificare l'intero approccio metodologico di progettazione.

La circolare del Ministero per i Beni Culturali e Ambientali n. 1032 del 18 luglio 1986 e il D. M. del 19 gennaio 1996 "*Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*", avevano messo l'accento sull'importanza delle fasi preliminari all'intervento di restauro e soprattutto alla necessità che i rilievi fossero dotati di quelle informazioni tecniche indispensabili per l'intervento. Nel D. M. '96 viene inserita una norma, relativa agli interventi sugli edifici esistenti (C.9.), che prevede fra le operazioni progettuali l'esigenza dell'individuazione dello schema strutturale nella situazione esistente, oltre alla valutazione delle condizioni di sicurezza attuale dell'edificio e delle caratteristiche di resistenza degli elementi strutturali interessati dagli interventi, avendo riguardo alla eventuale degradazione dei materiali e ad eventuali dissesti in atto. L'Ordinanza 3274 del 2006 introduce a tale scopo il "livello di conoscenza" per gli edifici esistenti, concetto nuovo rispetto alla precedente normativa. Ai fini della scelta del tipo di analisi e dei coefficienti parziali di sicurezza vengono definiti tre livelli di conoscenza:

- LC1: *Conoscenza Limitata*;
- LC2: *Conoscenza Adeguata*;
- LC3: *Conoscenza Accurata*.

In tutti i gradi di approfondimento gli aspetti che definiscono i livelli di conoscenza sono: la geometria dell'edificio, le caratteristiche geometriche degli elementi strutturali, quantità e disposizione delle armature (c.a.), collegamenti (acciaio), collegamenti tra elementi strutturali diversi, consistenza degli elementi non strutturali collaboranti, materiali, proprietà meccaniche dei materiali. Il livello

di conoscenza acquisito determina il metodo di analisi, i valori caratteristici da adottare per le proprietà dei materiali e i valori dei coefficienti parziali di sicurezza. Relativamente alla geometria della struttura si rende nota l'esigenza di un rilievo metrico o la consultazione di disegni esistenti originali. In quest'ultimo caso un rilievo visivo a campione dovrà essere effettuato per verificare l'effettiva corrispondenza del costruito ai disegni. Relativamente alla costatazione che la conoscenza del patrimonio edilizio esistente deriva di regola da operazioni di rilievo, l'Ordinanza 3274 distingue, per gli edifici in muratura, due tipologie di rilievo:

- *Rilievo sommario*: comprende il rilievo dei principali elementi strutturali resistenti a tagli, piano per piano, delle volte in muratura ed una stima a campione dell'andamento e della rigidità dei solai;
- *Rilievo completo*: comprende il rilievo completo, piano per piano, di tutti gli elementi in muratura, il rilievo delle volte e della loro tipologia, il rilievo dell'andamento di tutti i solai, una valutazione accurata della loro rigidità ed una valutazione dei carichi gravanti su ogni elemento di parete.

Con l'approvazione definitiva delle Nuove norme tecniche per le costruzioni nel D. M. del 14 gennaio 2008 e relativa Circolare esplicativa del 2009, per l'intervento su edifici esistenti, vengono definite norme particolari al fine della precisa esplicitazione di un "percorso conoscitivo" delle caratteristiche architettoniche e strutturali del fabbricato oggetto dell'intervento e di una relativa analisi storico critica.

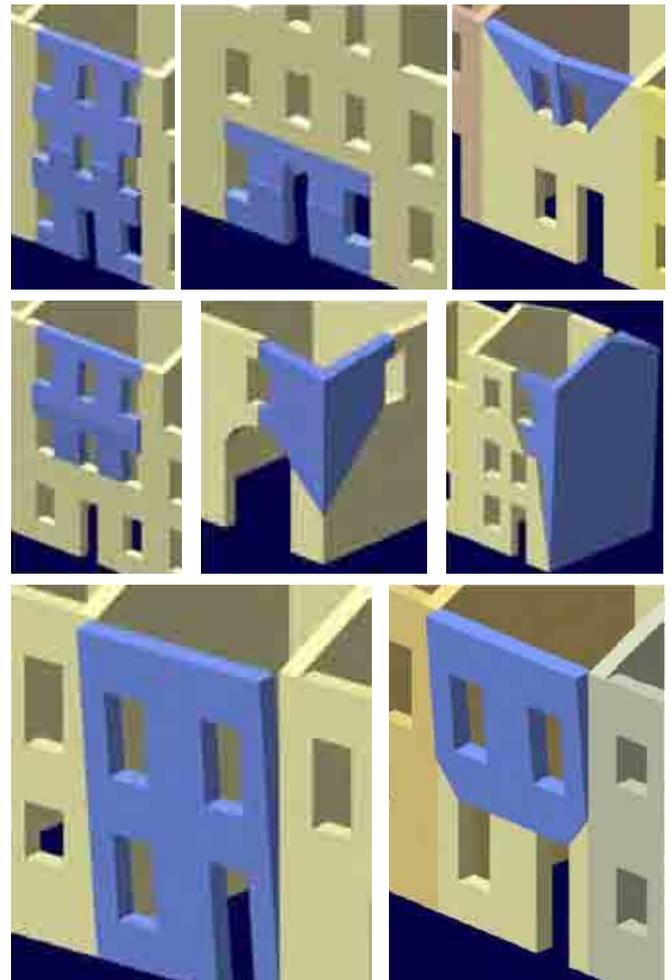
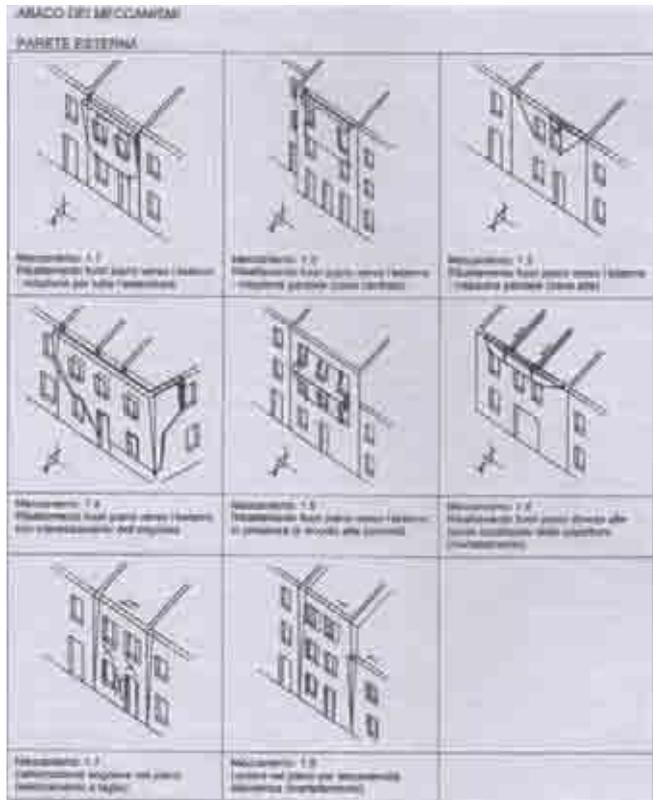
Anche a seguito di queste prescrizioni normative si rende evidente la necessità dell'impiego e dello sviluppo specifico di metodologie relative alla conoscenza, all'analisi e alla documentazione del patrimonio edilizio esistente, soprattutto in funzione di un adeguamento sismico. La disciplina del rilievo architettonico e della rappresentazione, sviluppata secondo le ultime tecnologie digitali, offre l'adeguato supporto scientifico e operativo necessario a questo tipo di analisi.

Per quanto riguarda l'individuazione dei dissesti provocati dal sisma, relativamente al patrimonio edilizio e la loro graficizzazione, vengono sviluppati una serie di strumenti

applicativi delle norme (linee guida) che, successivamente a quelle redatte nel 1977 durante le ricerche dirette dal Prof. Francesco Doglioni<sup>24</sup> hanno ulteriori sviluppi con la stesura di quelle del 2006<sup>25</sup> e le bozze<sup>26</sup> che si sono succedute a seguito del terremoto in Abruzzo del 2009 elaborate dal Consorzio interuniversitario ReLUIs.

Tali strumenti rappresentano manuali atti ad indirizzare in modo non prescrittivo le attività connesse alla conoscenza dei manufatti proponendo un protocollo metodologico strutturato su livelli diversi di indagine e che sono risultati essere la base dalla quale partire per lo sviluppo delle ricerche presentate in questo lavoro.

*In queste figure sono riportati alcuni esempi di graficizzazione dei meccanismi di dissesto innescati dal sisma sulle strutture edilizie proposti dagli strumenti applicativi alle norme (Linee Guida) che si sono sviluppati negli ultimi decenni. Qui sotto gli esempi fanno riferimento agli studi condotti dal Prof. F. Doglioni nel 1997, a destra quelli elaborati dal Consorzio interuniversitario ReLUIs nelle Bozze del 2010.*



### 1.2.1 Riferimenti tecnici e normativi

Normativa e *Linee Guida* di riferimento per il rilievo, l'analisi ed il progetto d'intervento:

– *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, Ministero per i Beni e le Attività Culturali - Dipartimento per i Beni Culturali e Paesaggistici - Direzione Generale per i Beni Architettonici e Paesaggistici, Roma 2006.

– *Linee Guida per gli interventi di miglioramento sismico degli edifici in aggregato nei centri storici*, ReLUIS (a cura di CAROCCI C., TOCCI C., CATTARI S., LAGOMARSINO S.), marzo 2009;

– *Linee Guida per la riparazione e il rafforzamento di elementi strutturali, tamponature e partizioni*, DPC-ReLUIS, Bozza agosto 2009.

– *Linee Guida per le modalità di indagine sulle strutture e sui terreni per i progetti di riparazione/miglioramento/ricostruzione di edifici inagibili*, ReLUIS, Bozza marzo 2010;

– Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri - Patrimonio Culturale del 12/10/2007.

*Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche e all'applicazione dell'O.P.C.M. n. 3274 del 2003 e successive modifiche e integrazioni*. G.U. n. 24 del 29/1/2008 suppl. ord. n. 25.1, nel seguito indicato come *Linee Guida Patrimonio Culturale*;

– Decreto Ministeriale del 14/1/2008. *Norme Tecniche per le Costruzioni*. G.U. n. 29 del 4/2/2008 suppl. ord. n.30, nel seguito indicato come NTC 2008;

– Circolare 2 febbraio 2009 n. 617, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. *Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008*. G.U. n. 47 del 26/2/09 suppl. ord. n. 27;

– *Linee Guida per la riduzione della vulnerabilità di elementi non strutturali, arredi e impianti*, Dipartimento della Protezione Civile (a cura di DE SORTIS A., DI PASQUALE G., DOLCE M., GREGOLO S., PAPA S., RETTORE G.F.), giugno 2009.

#### 8.0 Livello di Conoscenza e Stima del Fattore di Confidenza

		Edifici Antichi	Edifici Recenti
Geometria	IC1	<input type="checkbox"/> Rilievo muratura, volte, solai, scale. Individuazione carichi gravanti su ogni elemento di parete. Individuazione tipologia fondazioni. Rilievo eventuale quadro fessurativo e deformativo.	<input type="checkbox"/> Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione.
	IC2		
	IC3		
Dettagli Costruttivi	IC1	<input type="checkbox"/> Verifiche in-situ limitate	<input type="checkbox"/> Deducibile dalle norme dell'epoca e limitate verifiche in situ.
	IC2	<input type="checkbox"/> Verifiche in-situ estese ed esaustive.	<input type="checkbox"/> Disegni costruttivi incompleti con limitate verifiche.
	IC3		<input type="checkbox"/> Disegni costruttivi completi con limitate verifiche.
Proprietà dei Materiali	IC1	<input type="checkbox"/> Indagini in-situ limitate.	<input type="checkbox"/> Deducibile dalla pratica costruttiva dell'epoca e limitate prove in-situ.
	IC2	<input type="checkbox"/> Indagini in-situ estese.	<input type="checkbox"/> Dalle specifiche originali di progetto o da sporadici certificati di prova.
	IC3	<input type="checkbox"/> Indagini in-situ esaustive.	<input type="checkbox"/> Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto completi di certificati di prova.

#### 8.1 Livello di Conoscenza e Fattore di Confidenza finale

IC (livello di Conoscenza)	<input type="checkbox"/> Non Determinabile	<input type="checkbox"/> IC1 Conoscenza limitata	<input type="checkbox"/> IC2 Conoscenza adeguata	<input type="checkbox"/> IC3 Conoscenza accurata
FC (Fattore di Conoscenza)		1,35	1,20	1,00

Schema riassuntivo per la valutazione del fattore di confidenza, tratto del D. M. 14 gennaio 2008.

NOTE

1. La “vulnerabilità” esprime la correlazione, non lineare, esistente tra l’intensità di un evento stressore, in questo caso il terremoto ed il danno atteso: ogni sistema ha quindi una propria “curva di vulnerabilità”. L’analisi di vulnerabilità comporta tuttavia problemi diversi a seconda che si esamini un sistema puntuale come in singolo edificio oppure un sistema esteso e complesso come un insediamento urbano. Per la valutazione della vulnerabilità dei singoli edifici esistono vari metodi, ormai abbastanza consolidati. Si tratta di metodi che, attraverso l’analisi dei caratteri tipologici e costruttivi, identificano classi di edifici alle quali è possibile associare curve di “vulnerabilità” ovvero matrici di probabilità di danno. Per un utile approfondimento si rimanda a F. DOGLIONI, A. MORETTI, V. PETRINI, *Le chiese e il terremoto: dalla vulnerabilità constatata nel terremoto del Friuli al miglioramento antisismico nel restauro, verso una politica di prevenzione*, Trieste 1994; L. DI SOPRA *La vulnerabilità sismica come dimensione generatrice del rischio. Un approccio di scienza del territorio*, in *Teoria della vulnerabilità. Introduzione multidisciplinare*, a cura di L. DI SOPRA, C. PELANDA, Milano 1984. Cfr., inoltre, I. CREMONINI (a cura di), *Rischio sismico e pianificazione nei centri storici*, Firenze 1994.

2. Cfr. M. DE STEFANO, *Presentazione*, in G. MINUTOLI, *La ricostruzione post sismica di Messina (1909-1939): l’edificato “minore”, tecniche costruttive e uso dei materiali contemporanei*, Alinea, Firenze, 2012, p. 7.

3. La città storica è stata trasformata in una grande opera scultorea realizzata da Burri “il cretto”

4. Legge 12 gennaio 1909 n. 12 “Provvedimenti e disposizioni in seguito al terremoto del 28 dicembre 1908” art. 1.

5. Legge 12 gennaio 1909 n. 12 “Provvedimenti e disposizioni in seguito al terremoto del 28 dicembre 1908” art. 3.

6. Legge 12 gennaio 1909 n. 12 “Provvedimenti e disposizioni in seguito al terremoto del 28 dicembre 1908” art. 4.

7. In realtà non si tratta di un vero restauro ma piuttosto una ricostruzione con forme e volumetrie simili a quelle originarie.

8. Cfr. G. PLINIUS SECUNDUS, *Naturalis Historia...* cit., II, p. 62.

9. Cfr. S. VAN RIEL, *Gli edifici in muratura e la normativa antisismica (1884 - 2003)*, Alinea, Firenze, 2004, pp. 21-22.

10. Cfr. G. MANETTI, *De terraemotu*, Roma 1983.

11. LEONARDO DA VINCI, codice A.F.53r, 1452, in AA. VV., *I manoscritti di Leonardo da Vinci. 3. Il codice A/2172 nell’Istituto di Francia*, Roma, 1938. Cfr. F.P. DI TEODORO, L. BARBI, *Leonardo da Vinci: del riparo a’ terremoti*, in “Phisys”, 25, 1983, pp. 13-14.

12. La sua struttura è estremamente elementare: si compone essenzialmente di un insieme di pali (*prunos*) e traverse (*travessenhos*); le traverse sono connesse alle murature con una specie di dadi (*maos*), le parti superiori dei pali sono legate fra loro da travi (*frechais*), e nei vani da architravi (*vergas*) e da travetti (*pendurais*). Il legno usato era la quercia o il leccio, la cui elasticità le garantiva una enorme resistenza accentuata da un flessibile congegno di tasselli anch’essi lignei.

13. Regolamento edilizio per i comuni dell’isola d’Ischia danneggiati dal terremoto del 28 luglio 1883 (a seguito del terremoto di Casamicciola, Ischia, dello stesso anno).

14. R.D.L. n. 511 del 16/9/1906 - *Norme per le costruzioni, ricostruzioni e riparazioni degli edifici privati, pubblici e di uso pubblico nella regione calabrese e nei comuni di Messina danneggiati dal terremoto* - G.U. n. 225 del 27/9/1906. (A seguito del terremoto di Calabria del 1905)

15. R.D. n. 193 del 18/4/1909 - *Norme tecniche e igieniche obbligatorie per le ricostruzioni e riparazioni degli edifici pubblici e privati nei comuni colpiti dal terremoto del 28/12/1908, o da altri precedenti, e elencati nel regio decreto del 16/9/1909* - G.U. del 3/4/1909. (A seguito del terremoto di Messina del 1908). R.D. n. 1080 del 6/9/1912 - *Norme tecniche e igieniche obbligatorie per le ricostruzioni e riparazioni degli edifici pubblici e privati nei comuni colpiti dal terremoto del 28/12/1908, o da altri precedenti, in sostituzione delle norme approvate con R.D. n. 193 del 18/4/1909* - G.U. del 19/10/1912. (In sostituzione delle norme del 1909).

16. R.D.L. n. 573 del 29/4/1915 - *Norme tecniche e igieniche da osservarsi per i lavori edilizi nelle località colpite dal terremoto del 12/1/1915* - G.U. del 11/5/1915. (A seguito del terremoto di Avezzano del 1915).

R.D.L. n. 2089 del 23/10/1924 - *Norme tecniche e igieniche di edilizia per le località colpite dal terremoto* - G.U. n. 303 del 30/12/1924.

17. Provvedimenti per l’edilizia, con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

18. DD.LL.PP. del 3/3/1975 - *Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni in zona sismica* - G.U. n. 93 del 8/4/1975. (Precedute nel 1974 dalla legge quadro “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”).

19. DD.LL.PP. del 3/6/1981 - *Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni in zona sismica* - G.U. n. 93 del 30/6/1981. DD.LL.PP. del 2/7/1981 - *Normative per le riparazioni ed il rafforzamento degli edifici danneggiati dal sisma nelle regioni Basilicata, Campania e Puglia* - Suppl. ord. G.U. n. 198 del 21/7/1981.

Circ. M. LL.PP. n. 21745 del 30/7/1981 - *Istruzioni relative alla normativa tecnica per la riparazione ed il rafforzamento degli edifici in muratura danneggiati dal sisma*. D. M. LL.PP. del 19/5/1984 - *Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche* - G.U. n. 208 del 3/7/1984. D. M. LL.PP. del 24/1/1986 - *Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche* - G.U. n. 108 del 12/5/1986. D. M. LL.PP. del 16/1/1996 - *Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche* - G.U. n. 29 del 5/2/1996. Cfr. L. SANPAOLESI, *Considerazioni sulle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*, Riferimenti sulla progettazione strutturale, Monografia 1 della ricerca: *Il comportamento delle*

*strutture portanti di acciaio alle azioni sismiche*, Genova 1977.

20. Cfr. F. GURRIERI (a cura di), *Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica degli edifici*, Roma 1999; *Codice di pratica (linee guida) per la progettazione degli interventi di riparazione, miglioramento sismico e restauro dei beni architettonici danneggiati dal terremoto umbro-marchigiano del 1997*, ricerca diretta da F. DOGLIONI, in “Bollettino Ufficiale della Regione Marche”, 15, 29 settembre 2000; *Rassegna ragionata dei programmi di recupero post sisma*, ricerca coordinata da P. MAZZOTTI in “Bollettino Ufficiale della Regione Marche”, 3, 21 marzo 2002. Si rimanda, inoltre, alle disposizioni della Normativa vigente per le Regioni Umbria e Marche.

21. *International Association of Earthquake Engineering-Basic Concept for Seismic Codes* - 1982, in “Bulletin d’information CEB”, 149, 1982. Commissione della Comunità Europea - *Eurocodice Sismica*, 1983.

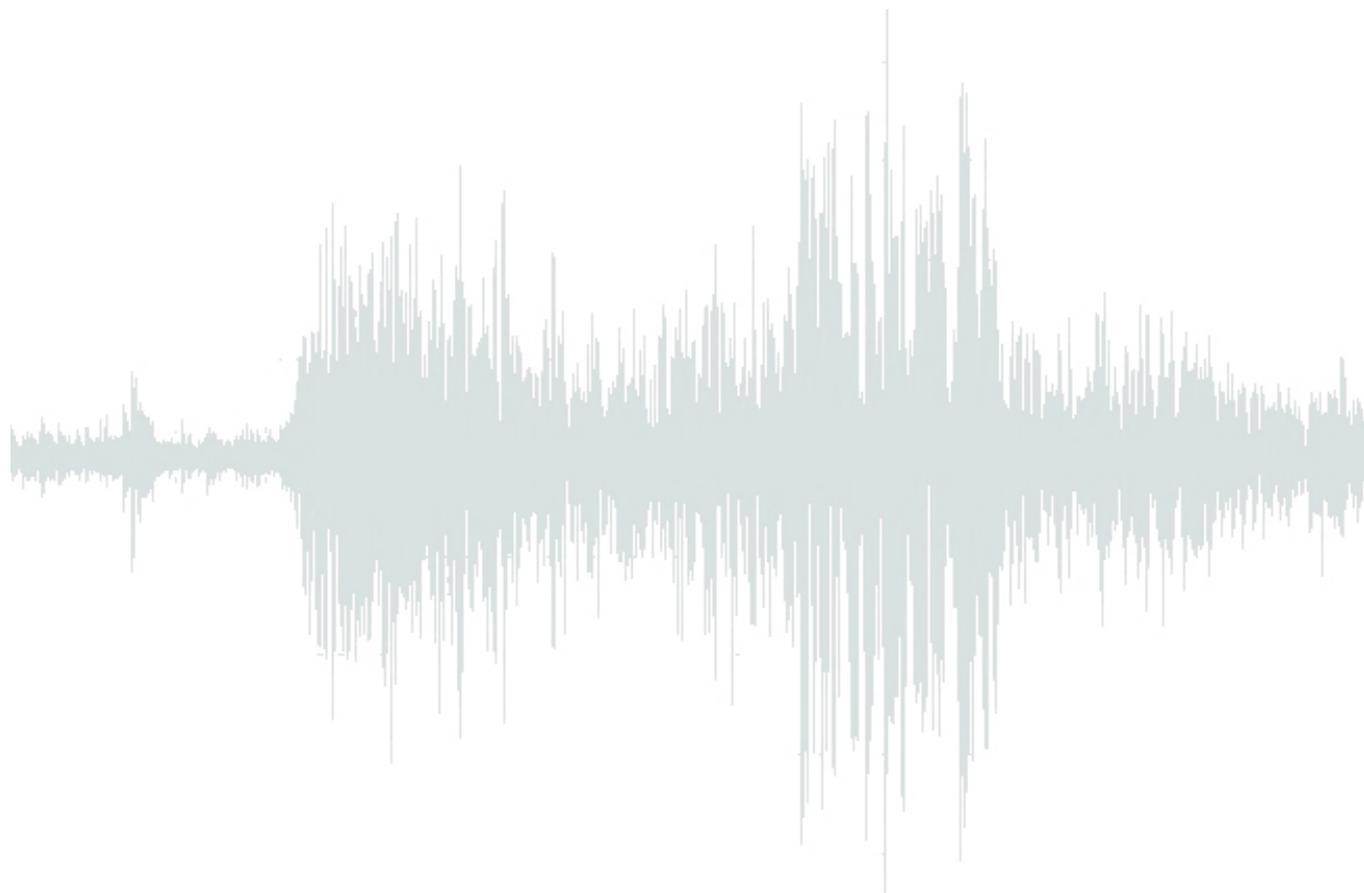
22. Legge n. 64 del 2 febbraio 1974 - *Provvedimenti per l’edilizia con particolari prescrizioni per le zone sismiche* - G.U. n. 76 del 21/03/1974.

23. Si rimanda alla nota informativa, *Nuova normativa sismica 2003 per le costruzioni, con riclassificazione sismica del territorio nazionale: la progettazione strutturale degli edifici in muratura*, elaborata da F. Pugi e trasmessa ai titolari di programmi di calcolo dell’AEDES Software s.a.s.

24. F. DOGLIONI, *Op. cit.*

25. Ministero per i Beni e le Attività Culturali - Dipartimento per i Beni Culturali e Paesaggistici - Direzione Generale per i Beni Architettonici e Paesaggistici, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, Gangemi Editore, Roma 2006.

26. Dipartimento Protezione Civile ReLUIIS, Ufficio del Vice-Commissario Delegato per la Messa in Sicurezza dei Beni Culturali - Struttura Tecnica di Missione, *Linee Guida per il rilievo, l’analisi ed il progetto di interventi di riparazione e consolidamento sismico di edifici in muratura in Aggregato*, Bozza - ottobre 2010.



## *CAPITOLO 2*

*Il rilievo integrato degli Aggregati in muratura per il consolidamento sismico  
(Analisi relativa ad alcuni Aggregati campione rilevati nel centro storico di L'Aquila)*

## CAPITOLO 2

### **Il rilievo integrato degli Aggregati in muratura per il consolidamento sismico**

*(Analisi relativa ad alcuni Aggregati campione rilevati nel centro storico di L'Aquila)*

#### **Premessa**

Negli ultimi anni si sono avuti numerosi sviluppi per quanto riguarda l'elaborazione di strumenti applicativi delle norme in materia antisismica che a seguito degli eventi sismici che si sono succeduti - da quello umbromarchigiano del 1997 fino ai recenti terremoti, in aprile 2009 sul territorio abruzzese e a maggio 2012 in Emilia - hanno definito, in fasi successive, politiche e metodologie di approccio al tema della cosiddetta "Ricostruzione" dei centri storici delle aree nei crateri sismici.

In questo processo sono stati sviluppati manuali operativi che, a più riprese, hanno definito criteri di analisi e di intervento proponendo, nello specifico di ogni fase, protocolli metodologici da strutturare durante lo svolgimento di queste operazioni riferite all'edilizia danneggiata dal sisma. Analizzando il processo evolutivo di questi strumenti applicativi o "Linee Guida" (già citate nel capitolo 1) e sperimentando sul campo le metodologie proposte, si è fatta strada una specifica visione degli apporti delle discipline del rilievo scientifico e del disegno, che, integrate con le possibilità offerte dalle più aggiornate



tecnologie, erano in qualche misura assenti nelle ricerche fino ad ora condotte relativamente a questo tipo di attività. L'intento di questo lavoro è pertanto quello di sperimentare, nel quadro di quelle metodiche delineate progressivamente dagli interventi legislativi e normativi che fanno riferimento al rilievo geometrico come attività necessaria alla definizione dei "Livelli di Conoscenza", un quadro metodologico in linea con i più recenti sistemi di acquisizioni nel campo del rilievo digitale ed in particolare all'utilizzo di supporti quali il rilievo topografico, spinto a livello architettonico, e il rilievo con apparecchiature laser scanner 3D.

La necessità di un rilievo accurato e affidabile rientra a pieno nel processo di documentazione e conoscenza del patrimonio storico/culturale e del territorio; l'impossibilità oggettiva, nel caso specifico dei contesti post-sisma, di potersi relazionare direttamente con alcuni spazi da rilevare e il dovuto adeguamento all'impiego di queste ultime tecnologie adottate in campo scientifico internazionale, rendono questo tema di ricerca particolarmente interessante e stimolante aperto a molteplici possibilità di approfondimento anche con specifici caratteri di interdisciplinarietà.

In questo quadro si sono svolte alcune esperienze di rilievo integrato nel centro storico di L'Aquila<sup>1</sup> che vengono proposte come casi studio di questo lavoro, costituenti quattro aggregati in muratura nella "zona rossa" e due rispettivamente nelle località dell'*interland* aquilano, Scoppito e Bominaco. Le attività condotte pongono all'attenzione la necessità di definire metodologie di analisi interdisciplinari finalizzate alla individuazione e progettazione degli interventi di restauro, consolidamento e ricostruzione per ogni singolo aggregato urbano<sup>2</sup>. Questo tipo di interventi deve inoltre riferirsi ad una pianificazione delle attività connesse alla ricostruzione, che siano state programmate e gestite secondo le indicazioni date dai Piani di Ricostruzione per gli ambiti di intervento entro le perimetrazioni dei centri storici. La campagna di indagini conoscitive condotta sui casi studio si è confrontata con

problematiche specifiche - determinate dalle condizioni post-sisma e dalla precarietà statica degli edifici - e con altre comuni alla maggior parte degli edifici esistenti, che sono ancora più evidenti nei casi del patrimonio culturale storico. La stratificazione architettonica che si è prodotta nel tempo rende ancora più complesso conoscere i dati originari della fabbrica, le modifiche dovute ai fenomeni di danneggiamento a causa delle trasformazioni antropiche, degli eventi calamitosi e del naturale invecchiamento dei materiali; inoltre le operazioni di indagine devono essere ponderate sulle condizioni dell'organismo architettonico in quanto una analisi completa e generalizzata potrebbe risultare troppo invasiva per la fabbrica stessa già danneggiata dal sisma. Dobbiamo quindi operare mediante fasi conoscitive dal diverso grado di attendibilità, tenendo conto del loro impatto, attraverso un affinamento progressivo delle tecniche di analisi. I vari livelli di approfondimento e di accuratezza del rilievo diretto e indiretto, delle ricerche di carattere storico e delle indagini sperimentali sono fattori fondamentali per conseguire la piena conoscenza del manufatto.

Lo studio delle caratteristiche dell'edificio è finalizzato alla definizione di un modello interpretativo che permetta sia un'interpretazione qualitativa dell'impianto strutturale, sia una valutazione quantitativa attraverso l'analisi strutturale. La percentuale di attendibilità del modello sarà proporzionata al livello di approfondimento, ai dati disponibili e alle relative metodologie di acquisizione ed elaborazione. Dalla esperienza sul campo è emersa la necessità di una più rigorosa strutturazione metodologica ai fini della costruzione di un corretto processo operativo. A tale scopo, nei seguenti paragrafi, si intende proporre una sorta di "guida generale", alla quale riferirsi per questa tipologia di rilievi, che costituisca una integrazione alle "Linee Guida" esistenti. L'intento della ricerca svolta è quindi quello di un protocollo metodologico che venga definito attraverso le esperienze dirette, integrato con strumenti propri delle tecnologie di rilevamento digitale approfondendo nel dettaglio tali operazioni.

*Nella pagina precedente: una vista della nuvola di punti 3D prodotta dalle scansioni durante le operazioni di rilievo laser scanner e relativa ad aggregati urbani nella "zona rossa" del centro storico di L'Aquila in prossimità di piazza Duomo.*

**2.1 ATTIVITÀ PRELIMINARI: CONOSCENZA DELL’OGGETTO DA RILEVARE E DEL CONTESTO POST-SISMA**

Il processo di analisi di un aggregato urbano all’interno di un centro storico colpito da un evento sismico deve riferirsi a molteplici aspetti e convergere nella produzione di una documentazione essenziale destinata a fornire informazioni tecniche/dimensionali, normative e amministrative relative all’oggetto in esame, inserendosi anche in un quadro di ricostruzione più ampio che si estende all’intera riqualificazione urbana del centro storico e della città.

La produzione di un rilievo geometrico-architettonico<sup>3</sup> costituisce inevitabilmente la base morfologica per tutte le successive analisi e deve fornire informazioni precise sullo stato di fatto dell’aggregato, il rilievo deve evidenziare specifici aspetti: l’individuazione delle tipologie strutturali, la lettura delle evoluzioni storiche dell’aggregato, le eventuali rilevanze architettoniche, il quadro fessurativo e la meccanica dei dissesti, le superfici

relative alle proprietà catastali, le destinazioni d’uso, le unità strutturali e tutte quelle informazioni necessarie alla completa documentazione per una lettura critica e obiettiva sulle reali condizioni dell’aggregato. Inoltre deve essere effettuato tenendo conto del contesto post-sisma ed in modo più speditivo e meno invasivo possibile, ma garantendo allo stesso tempo lo sviluppo delle informazioni sopra citate.

Il primo passo della conoscenza consiste nella corretta e completa identificazione dell’organismo e nella sua localizzazione sul territorio, al fine di individuare la sensibilità della fabbrica nei riguardi dei diversi rischi ed in particolare di quello sismico. Questa fase dell’analisi comprende il reperimento di tutta la documentazione esistente derivante da molteplici fonti che possono identificare aspetti diversi dell’aggregato stesso.



### 2.1.1 Il rilevamento in emergenza: la scheda AeDES ed il suo processo di formazione

In generale è difficile considerare il “rilievo in emergenza” come una metodologia di rilievo definita e ben codificata, i testi e i manuali che approfondiscono l’argomento fanno tutti riferimento ad una sommatoria di attività ed analisi integrate relative alla documentazione degli aspetti architettonici, strutturali e diagnostici dell’edificio, da eseguire in modo speditivo e con metodologie strumentali non invasive, producendo una banca dati relativa e una serie di elaborati grafici affidabili. È giusto però distinguere le attività connesse ai rilievi per gli interventi e i progetti di consolidamento dai rilevamenti speditivi effettuati nell’immediato dopo terremoto e fondamentali ad una primissima valutazione dello stato di fatto sul quale definire l’esito di agibilità<sup>4</sup> e il progetto di messa in sicurezza<sup>5</sup> dell’edificio danneggiato.

Una prima valutazione del danno e del livello dell’agibilità nel primissimo stato di emergenza sono le attività basilari che contraddistinguono il dopo terremoto, prima ancora delle indagini e dei rilievi architettonico, strutturale e diagnostico. Negli anni, queste attività, si sono evolute sulla sola base della continua esperienza dei tecnici incaricati di questo compito molto delicato, in quanto la verifica di agibilità determina il ritorno delle popolazioni nelle case o l’evacuazione nelle aree di ricovero. Come ausilio alle campagne di sopralluoghi post-sisma, si utilizzano, ormai diffusamente in tutto il mondo, strumenti schedografici che offrono una serie di vantaggi. Costituiscono una *check list* di guida per il tecnico addetto alle valutazioni; consentono di effettuare un rilievo del danno in modo omogeneo su tutto il patrimonio colpito dal sisma; consentono una immediata informatizzazione e quindi un trattamento statistico e informativo dei dati raccolti.

Per molto tempo i sopralluoghi post-sisma sono stati effettuati con l’ausilio della “*scheda di vulnerabilità*” messa a punto dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT). Questa scheda però era stata concepita per un’attività di rilievo conoscitivo sulla vulnerabilità e sul danno ma non si poneva l’obiettivo di valutazione di agibilità sul manufatto. È per questo che negli anni 1996/7 il Servizio Sismico Nazionale (SSN) e il GNDT avviarono un Gruppo di Lavoro congiunto per definire, invece, uno

strumento per la schedatura, specificatamente mirato al rilievo del danno, ai provvedimenti di pronto intervento per limitarlo e alla valutazione dell’agibilità post-sisma degli edifici ordinari.

La scheda fu adottata dal Dipartimento della Protezione Civile nella sua versione preliminare durante le operazioni successive al terremoto che il 26 settembre del ‘97, colpì l’Umbria e le Marche. Nella sua versione del giugno ‘98 e con brevi e preliminari istruzioni per la compilazione, la scheda venne inserita nel “*Manuale per la gestione tecnica dei COM*”, approvato nel novembre dello stesso anno dalla Commissione Nazionale per la Previsione e Prevenzione dai Grandi rischi. La scheda, utilizzata ancora nel terremoto del Pollino del successivo settembre, poi a Patti e nel Frignano nel 1999, dopo il terremoto dei M.ti Tiburtini del 2000, ha subito alcuni cambiamenti fino alla attuale versione definitiva del novembre 2000.

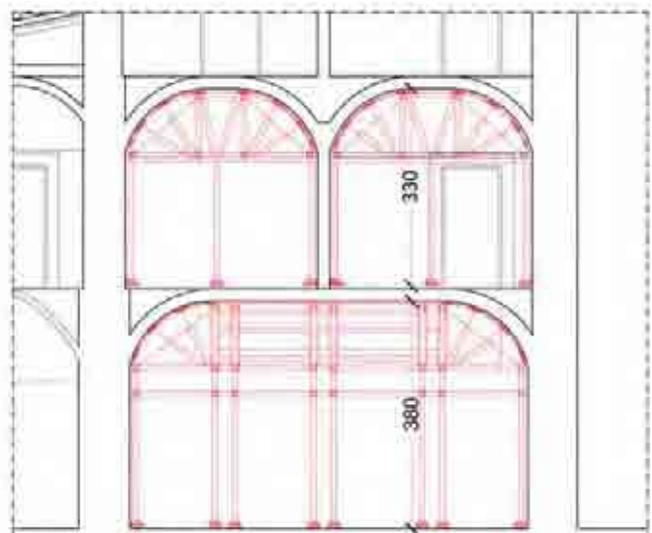
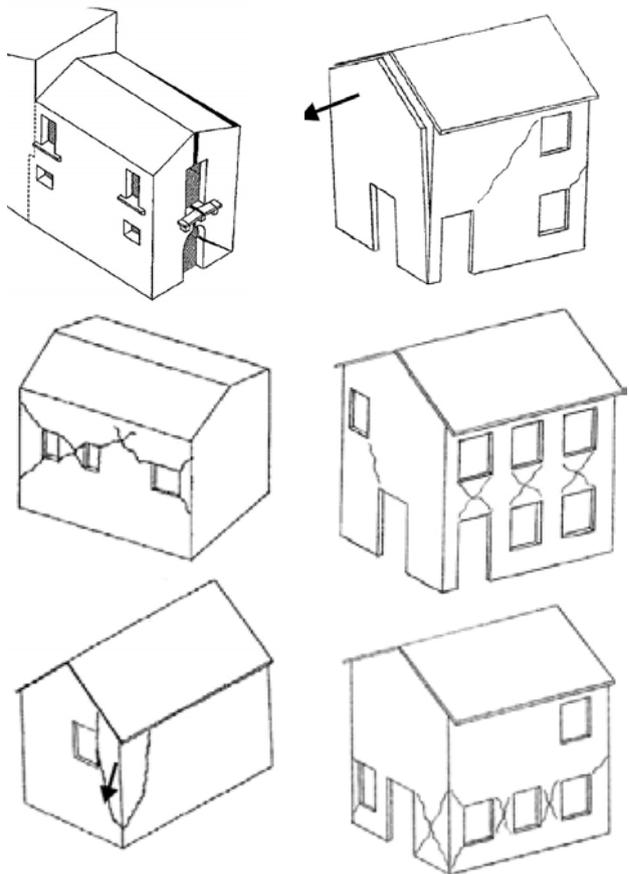
Nel quadro complessivo dell’organizzazione dell’emergenza tecnica post-sismica, vale a dire dell’insieme delle attività volte a valutare gli effetti di danneggiamento su manufatti, ambiente e reti e a contribuire alla attivazione dei provvedimenti di riduzione degli effetti, l’attività di verifica dell’agibilità degli edifici riveste un ruolo di particolare rilievo. L’assenza di una specifica dottrina per i sopralluoghi speditivi post-sisma ha portato, nella realizzazione del “*Manuale per la compilazione della scheda di agibilità*”, ad affrontare approfonditamente, forse per la prima volta, le problematiche di tale tipo di operazioni. Il “*Manuale*” definisce, pertanto, anche un percorso metodologico accurato e, insieme alla scheda, offre al rilevatore uno strumento unico e indispensabile per la propria attività. La “*scheda di primo livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell’emergenza sismica*” AeDES (Agibilità e Danno nell’Emergenza Sismica) è finalizzata al rilevamento delle caratteristiche tipologiche, del danno e dell’agibilità degli edifici ordinari nella fase di emergenza che segue il terremoto. Questa consente di effettuare un rilievo speditivo ed una prima catalogazione del patrimonio edilizio, disponendo di dati tipologici e metrici degli edifici. Uniti ai dati di danno, tali dati sono utili anche ad una prima valutazione dei costi di riparazione e/o miglioramento, consentendo di predisporre scenari di costo per diversi contributi unitari associati a

diverse soglie di danno. Una caratteristica peculiare, che contraddistingue la scheda AeDES dalle schede utilizzate in passato, riguarda la classificazione tipologica dei diversi elementi costruttivi. Nelle schede utilizzate fino al 1997 la tipologia era direttamente individuata sulla base delle caratteristiche specifiche dei materiali e della loro combinazione con approccio puramente descrittivo. Pertanto si rimanda al citato *“Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AeDES)”* la descrizione esaustiva delle modalità di compilazione di tali schede.

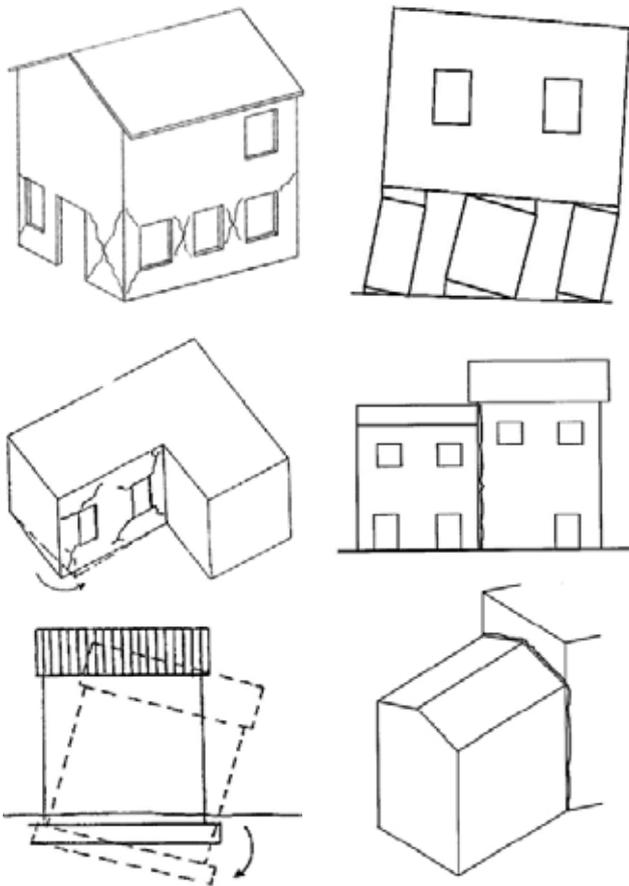
La valutazione di agibilità in emergenza post-sismica è una valutazione temporanea e speditiva, formulata sulla base di un giudizio esperto e condotta in tempi limitati ed in base alla semplice analisi visiva ed alla raccolta di informazioni facilmente accessibili, volta a stabilire se, in presenza di una crisi sismica in atto, gli edifici colpiti dal terremoto possano essere utilizzati, restando ragionevolmente protetta la vita umana. Per questo il giudizio di agibilità non rappresenta una analisi di sicurezza sismica, né la sostituisce, non è supportato da calcoli di staticità, ma è basato su un giudizio esperto e non di carattere definitivo. Solo un rilievo integrato da metodologie digitali e la sua attenta elaborazione ed interpretazione può dare indicazioni sicure sulle reali condizioni e su come intervenire.

Queste schede risultano quindi un primo strumento di supporto da reperire durante le attività di consultazione della documentazione esistente, generalmente vengono compilate da tecnici che hanno fatto i primi sopralluoghi subito dopo il sisma e sono disponibili nelle sedi provinciali.

Le maggiori criticità riscontrate durante i suddetti sopralluoghi rappresentano anche la base per una prima valutazione relativa alla stesura del progetto di messa in sicurezza dell'edificio, definito però solo dopo una valutazione strutturale e a seguito di una analisi statica maggiormente approfondita. Nel caso in cui l'aggregato non presentasse urgenti problemi di rischio crolli immediati, da necessitare la collocazione di mantovane sui prospetti come protezione alla viabilità pubblica, sarebbe auspicabile effettuare i rilievi strumentali e quindi le scansioni laser dei fronti, prima che queste opere provvisorie per la messa in sicurezza siano montate, ovviamente, sempre che



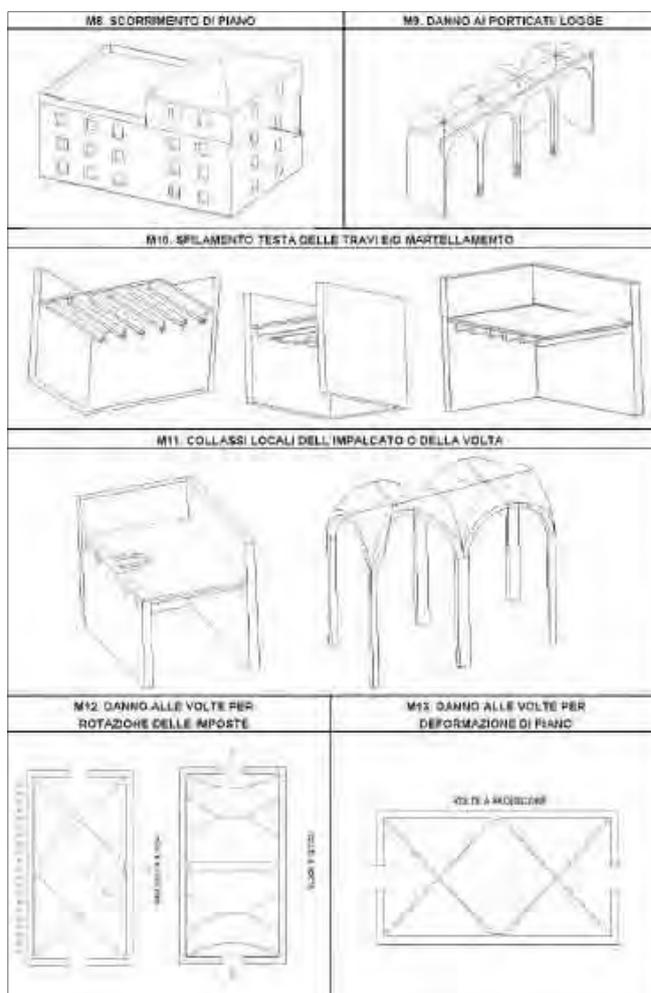
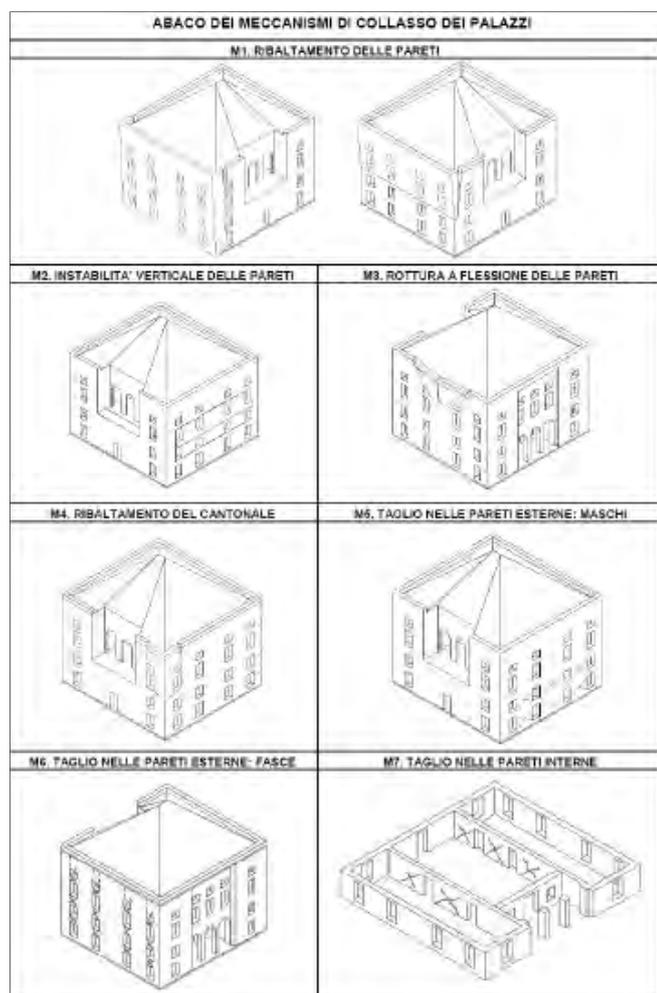
Un esempio di un progetto per l'intervento di messa in sicurezza con allestimento di centine lignee a sostegno di volte a padiglione.

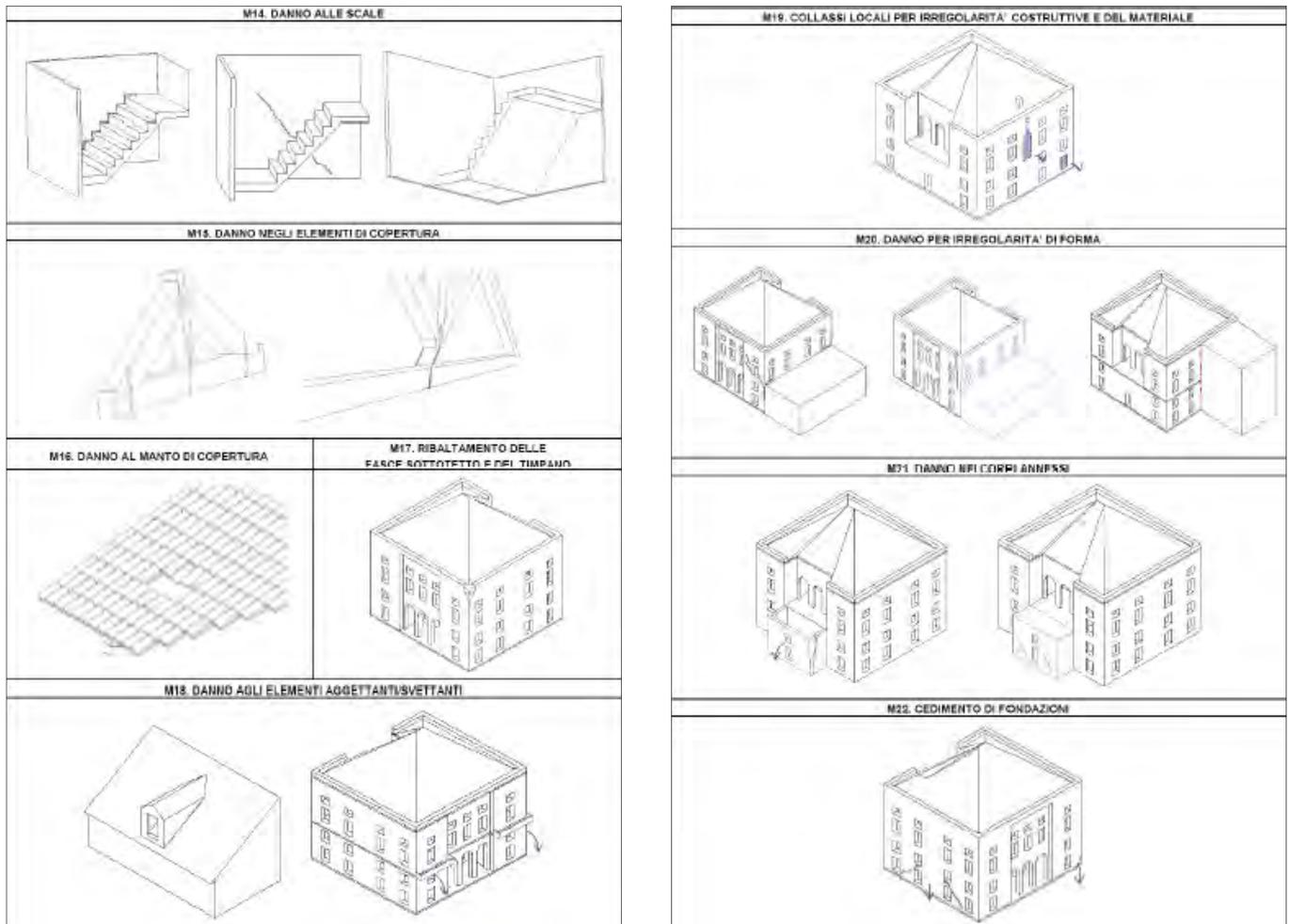


*Nelle figure in queste e nelle successive pagine sono riportati alcuni esempi delle indicazioni presenti nelle istruzioni per la compilazione della scheda AeDES e nella Bozza delle "Linee Guida" ReLUIS 2010. Nella definizione dei descrittori della scheda (sezioni 4 e 5), vengono individuate le tipologie di dissesto più comuni relative alle sollecitazioni sismiche subite dagli edifici, queste, corrispondenti alle possibilità di scelta da effettuare durante la compilazione della scheda, vengono qui illustrate da foto e schemi assonometrici negli esempi riferiti: ai meccanismi di fuori piano dei fronti o di porzioni di edifici, alle discontinuità murarie e ai ribaltamenti dei maschi murari.*

non si presenti una elevata pericolosità per gli operatori in campo. Questo permetterebbe di non avere elementi di disturbo alla lettura del raggio laser dei prospetti e quindi di acquisire un dato senza occlusioni localizzate ma completo di tutta la morfometria dell'aggregato, oltre che a consentire una migliore documentazione fotografica per la realizzazione di ortofotopiani completi.

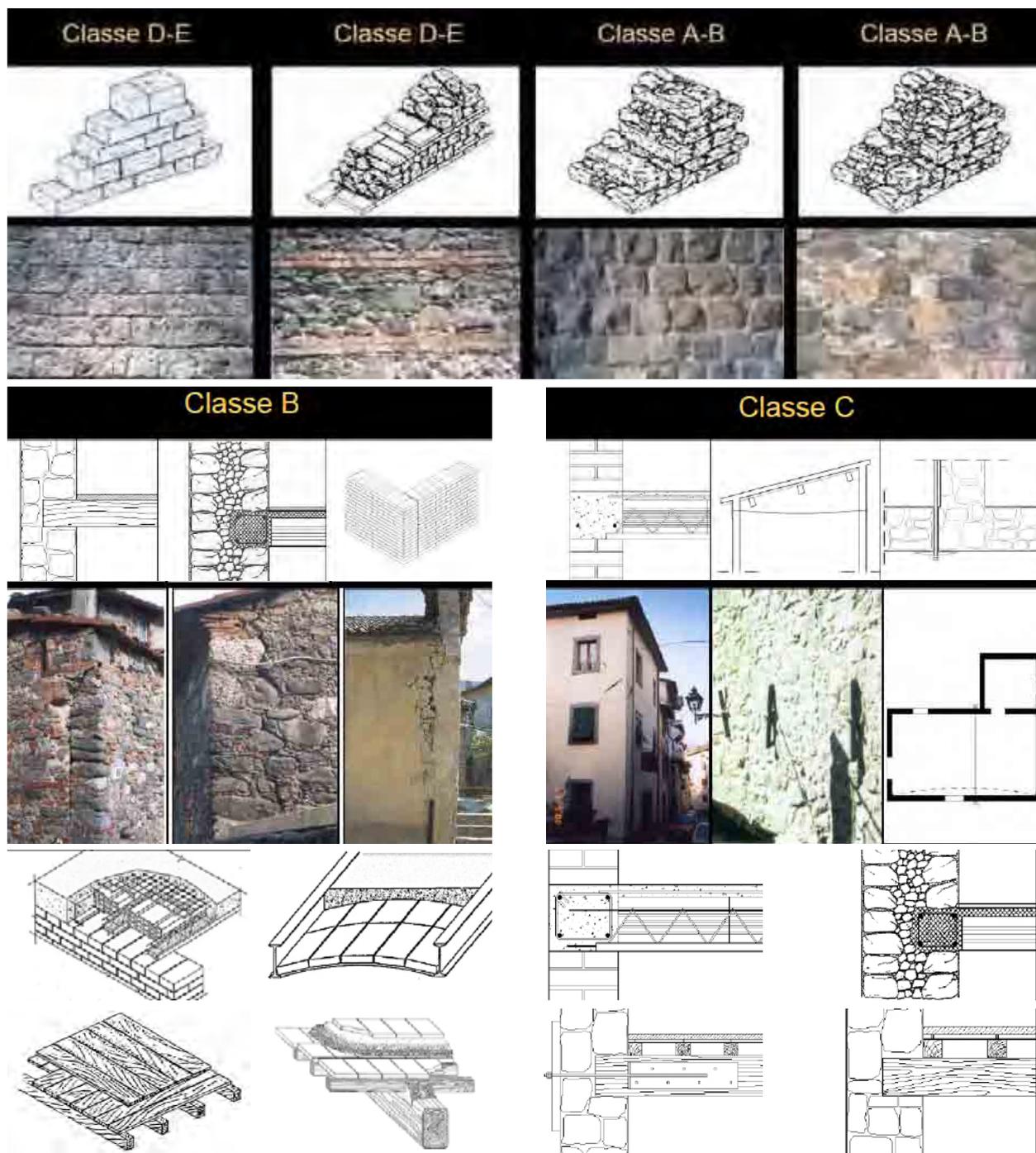






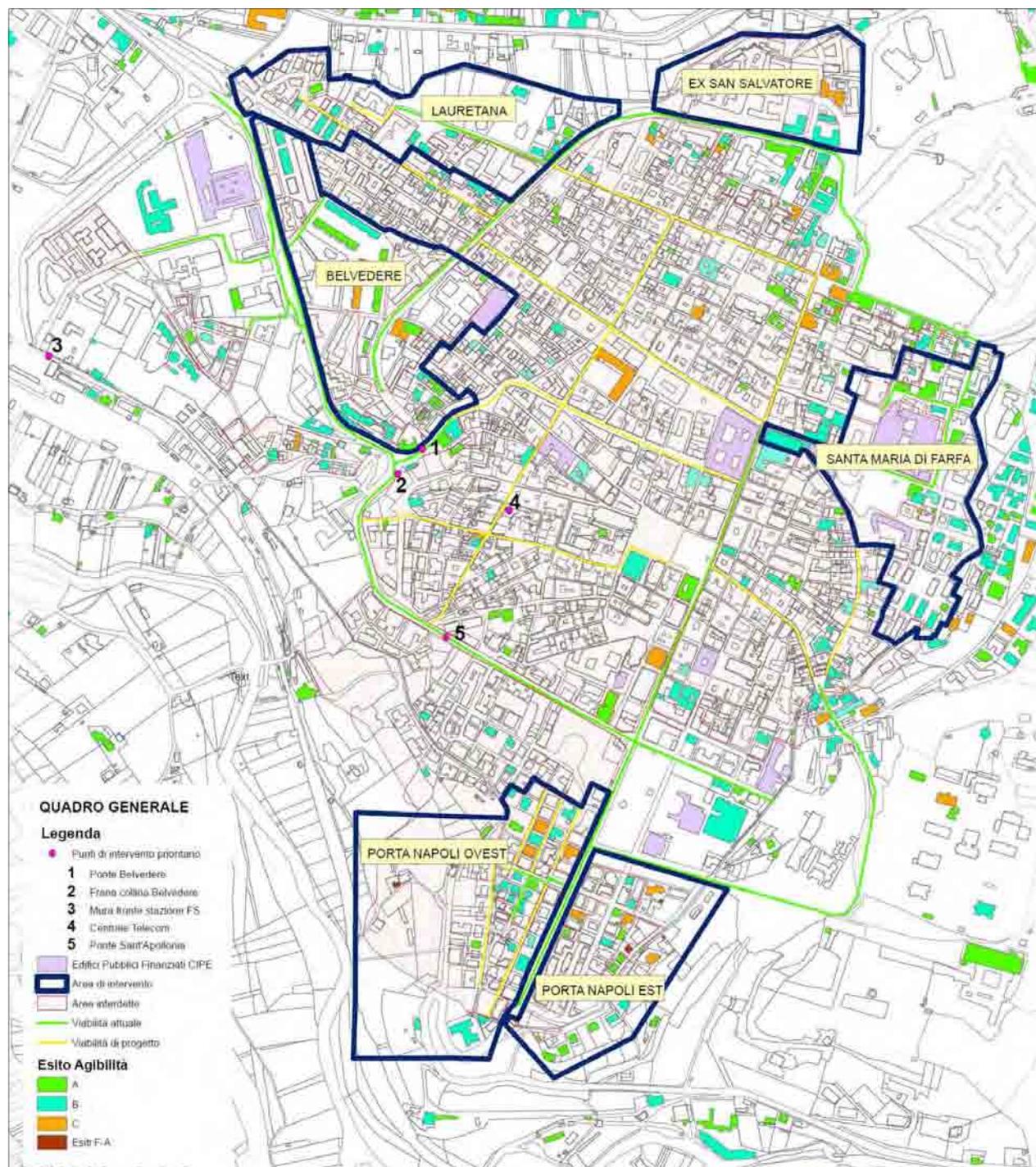
*Nelle foto in basso in queste pagine sono riportati altri casi di meccaniche dei dissesti presenti all'interno delle istruzioni per la compilazione della scheda AeDES. Vengono illustrati negli esempi i meccanismi di fuori piano dei fronti innescati dalla spinta delle coperture, quelli a taglio che interessano l'intera facciata, quelli dovuti alla irregolarità piano-volumetrica dell'edificio e i cedimenti di fondazione.*

*I disegni sopra e nelle pagine precedenti, schematizzano i meccanismi di dissesto descritti nelle istruzioni della scheda AeDES con modellini assonometrici che evidenziano singolarmente le meccaniche analizzate.*

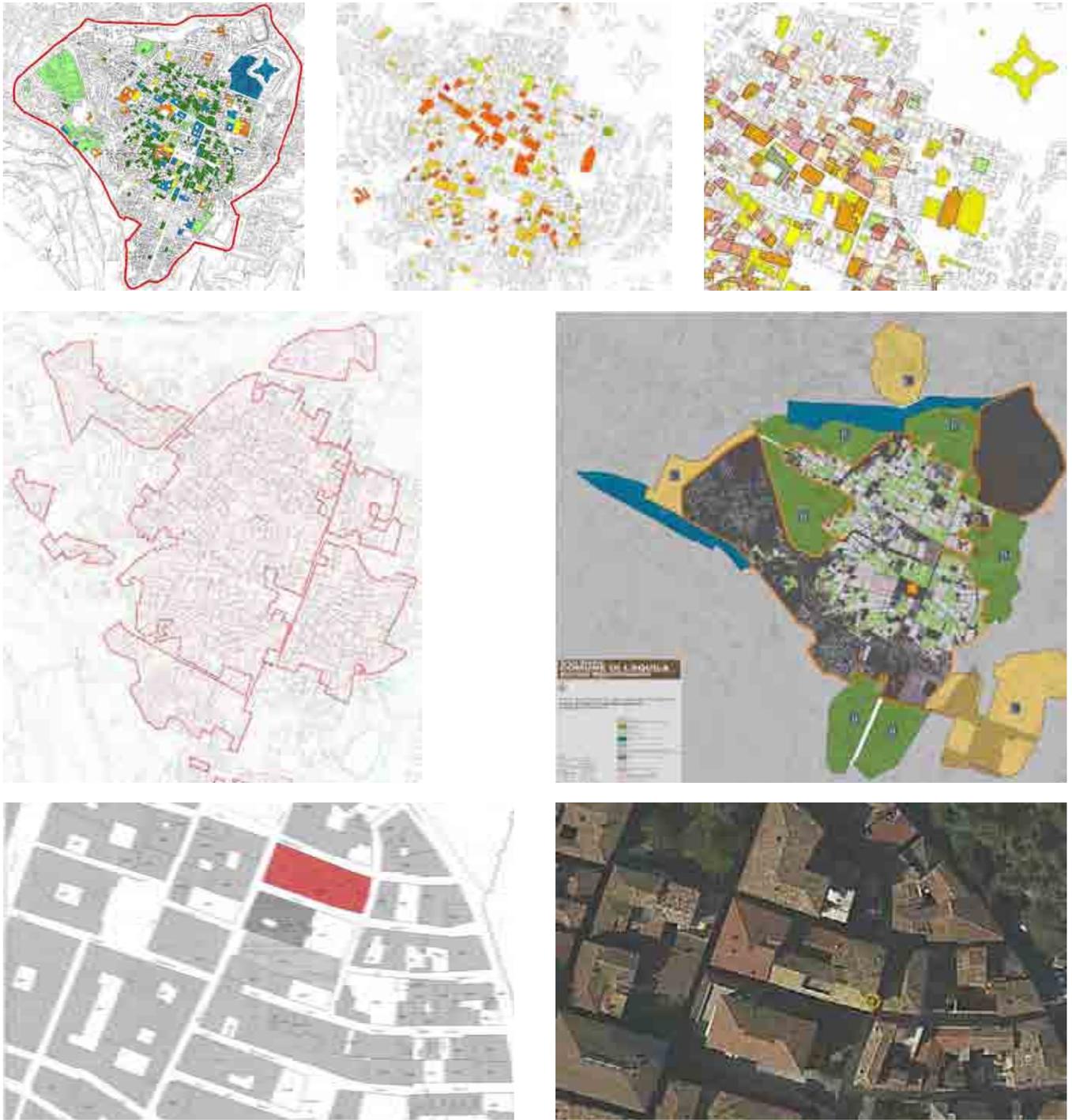


*In queste immagini vengono riportati alcuni esempi di tipologie delle strutture in muratura relative a quelle delle murature verticali, degli orizzontamenti e dei collegamenti fra questi.*





La carta Allegata al Decreto3 che individua le Aree di Fattibilità a Breve Termine all'interno del centro storico di L'Aquila.



*In questa serie di cartografie viene proposto l'inquadramento dell'aggregato oggetto del rilievo, all'interno del suo contesto urbano partendo dalla perimetrazione della "zona rossa" del centro storico di L'Aquila individuata a seguito del sisma del 2009, fino all'estratto catastale passando per le varie scale che individuano gli aggregati urbani.*

### 2.1.3 Indagine per lo studio dell'evoluzione storica

Si intende qui definire un tipo di indagine che può avere specifici risultati solo in seconda battuta, superata la fase delle prime analisi in emergenza ed una volta acquisito un certo numero di dati. Oltre ai sopralluoghi, la conoscenza dell'opera non può prescindere dall'analisi, anche storica, dell'evoluzione funzionale dell'edificio e delle sue articolazioni, finalizzata a riconoscere quali utilizzazioni si siano succedute nel tempo ed in quali ambienti. Il risultato di questa analisi porta infatti alla disponibilità di notizie utili per capire anche le ragioni delle utilizzazioni future compatibili con le caratteristiche dell'edificio e con l'obiettivo della riduzione del rischio sismico.

È importante quindi ricostruire l'intera storia costruttiva dell'edificio per ottenere una corretta individuazione del sistema resistente e del suo stato di sollecitazione, evidenziandone la successione realizzativa delle diverse porzioni di fabbrica al fine di individuare le zone di possibile discontinuità e disomogeneità materiale (corpi aggiunti, sopraelevazioni, sostituzioni di orizzontamenti, ecc).



Individuazione planimetrica delle fasi evolutive dell'aggregato urbano.

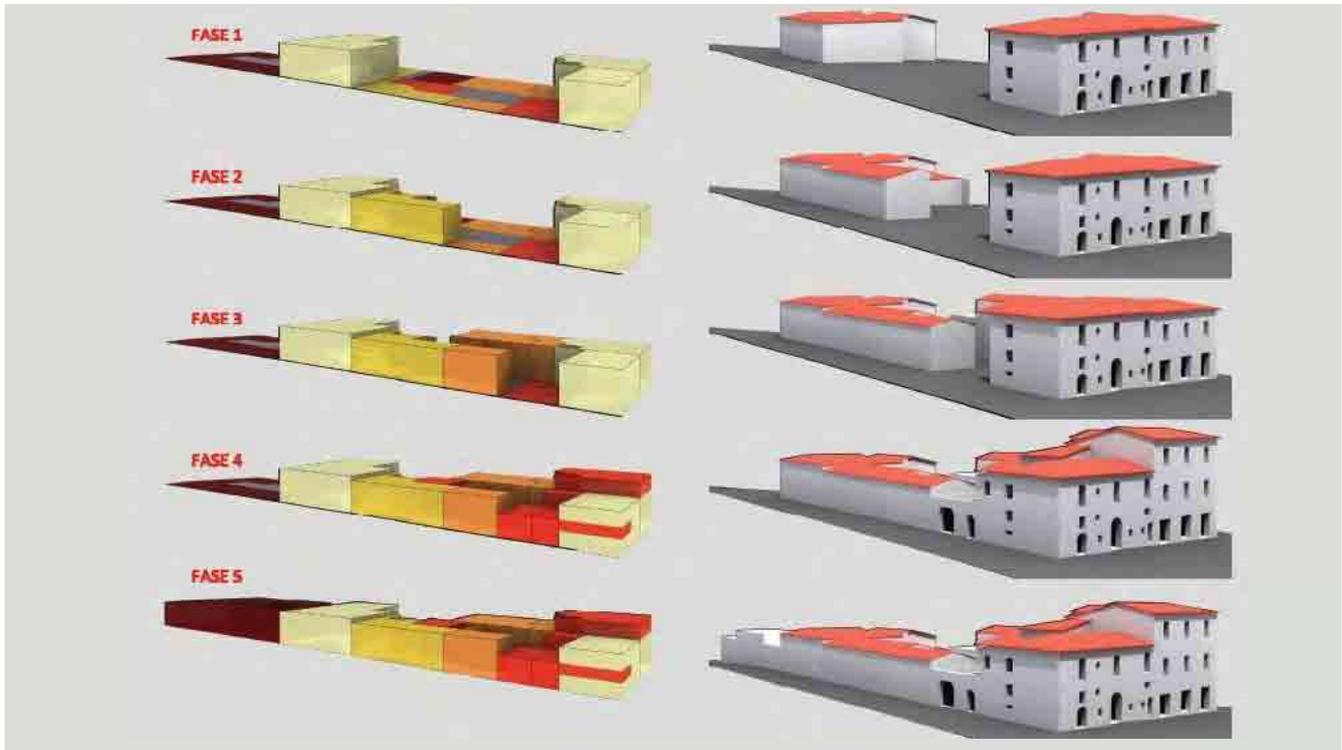


Il modello tridimensionale di un aggregato rilevato nel centro storico di L'Aquila sul quale vengono evidenziate le fasi evolutive.

La storia dell'edificio può anche essere utilizzata come uno degli strumenti di controllo e verifica della risposta dell'edificio a particolari eventi naturali o antropici e delle eventuali conseguenti trasformazioni. Devono pertanto essere identificati gli eventi subiti, soprattutto quelli più significativi e traumatici, ed i corrispondenti effetti e accertabili per via documentale (fonti scritte o iconografiche). Anche la storia della destinazione d'uso del bene può fornire indicazioni sulle azioni applicate in passato.

Ai fini della comprensione del comportamento attuale e per la definizione degli eventuali interventi di miglioramento sismico è importante individuare la natura degli interventi di consolidamento già realizzati in passato, la loro localizzazione e gli elementi strutturali coinvolti, il periodo di realizzazione e la verifica della loro efficacia nel tempo.

Le tipologie delle fonti utili per una ricerca storica di questo tipo possono essere varie: per le fonti scritte è indispensabile consultare archivi storici di varia natura, mentre per quanto riguarda le fonti iconografiche, è possibile risalire alla evoluzione del fabbricato ricercando (ovviamente in relazione alla rilevanza storica del manufatto) su dipinti o affreschi, foto storiche, mappe e cartografie storiche o foto aeree, ripercorrendo la stratificazione dell'aggregato nell'aggiunta progressiva di corpi di fabbrica durante il susseguirsi dei vari periodi storici. Il successivo rilievo geometrico/morfologico integrato da letture di tipo stratigrafico, con considerazioni sull'assetto strutturale fino alla scala del dettaglio costruttivo e la interpretazione dei dati, incrociata all'analisi di quelli raccolti dalle ricerche storiche, potrà definire in modo più certo l'evoluzione storica dell'intero aggregato urbano.



*In questa immagine viene riportata la graficizzazione delle fasi evolutive dell'aggregato proposta nella Bozza di "Linee Guida" ReLUIS 2010.*

### 2.1.4 Campagna fotografica preliminare

Altro aspetto da riferire alle attività preliminari di conoscenza è quello di un primo inquadramento fotografico.

La semplice consultazione di *Google Maps Street View* o il reperimento di fotografie che illustrino lo stato dell'aggregato pre-sisma, possono aiutare a verificare se la condizione di danneggiamento che si presenta sia da riferire interamente all'evento sismico o se alcuni dissesti o stati di degrado fossero già presenti prima ed eventualmente si siano aggravati a seguito del sisma.



*Nelle fotografie proposte in questa e nella pagina successiva è possibile fare un confronto di alcune zone del centro storico di L'Aquila fra la situazione pre-sisma e quella post-sisma 2009. Le fotografie in alto, relative alle condizioni pre-sisma, sono visualizzabili dal servizio Google Maps Street View disponibile on line. Queste offrono la copertura fotografica di tutte le strade e le piazze, sul territorio nazionale e di quasi tutte le principali città a livello mondiale, visualizzabile percorrendole con una sorta di fruizione virtuale 3D. In questa pagina: "Palazzo Campione" pre e post-sisma.*



*Nell'immagine in alto: Piazza Rocca di Corno nel centro storico di L'Aquila prima del sisma del 2009 (Google Maps Street View).  
Nell'immagine in basso: Piazza Rocca di Corno due anni dopo l'evento sismico.*

*In alto la fotografia che inquadra Piazza San Marciano nel centro storico di L'Aquila, scaricata dal servizio on line offerto da Google Maps Street View, pre-sisma.*

*Nelle due fotografie sotto è possibile fare un confronto delle condizioni in cui versano gli edifici che si affacciano sulla piazza dopo il sisma del 2009. Rispettivamente: la chiesa di San Marciano con la fontana antistante e in basso il fronte di "Palazzo Rustici" sul quale sono state allestite opere provvisorie di messa in sicurezza.*

Durante il primo sopralluogo è importante effettuare una campagna di inquadramento fotografico generale per una prima valutazione degli aspetti volumetrici dell'aggregato e la distribuzione spaziale degli edifici che lo compongono, ma anche per una valutazione sulla progettazione preliminare delle attività di rilievo strumentale, individuando i diversi gradi di difficoltà nella misurazione di tutti gli elementi architettonici, strutturali e decorativi che compongono l'aggregato.

È opportuno fotografare anche il contesto entro il quale si inserisce l'aggregato, valutando i rapporti spaziali con altri edifici circostanti e con aree aperte di pertinenza e non, per la individuazione di posizioni strategiche dalle quali rilevare porzioni esterne di aggregato non visibili dal piano stradale.

In un contesto post-sisma gli ostacoli alle attività di rilievo possono essere molteplici: se non ancora rimosse, si può operare in presenza di macerie, che, se disposte lungo il perimetro esterno dell'aggregato, possono occludere parte dell'attacco a terra dei fabbricati, o, se presenti internamente, localizzano crolli o cedimenti strutturali che possono rendere impraticabili alcuni ambienti. Non ultima la presenza di strutture di messa in sicurezza che si interpongono fra gli elementi dell'organismo architettonico e gli strumenti di rilievo digitale.

Fotografare l'aggregato evidenziando il contesto post-sisma e cercando di mettere in luce tutti gli aspetti e gli eventuali ostacoli alle operazioni di rilievo sopra descritti documentandoli, fornisce una serie di informazioni utili non solo alla comprensione dell'oggetto da rilevare ma anche alla pianificazione delle attività di acquisizione dati e quindi alla progettazione del rilievo integrato in relazione alle problematiche ed alle esigenze riscontrate.

Consultando fotografie aeree e immagini satellitari è inoltre possibile comprendere l'andamento delle coperture: l'orientamento delle varie falde dei tetti, la presenza di corti, sopraelevazioni, aperture sulle falde o terrazzi a tasca ed il posizionamento delle canne fumarie.



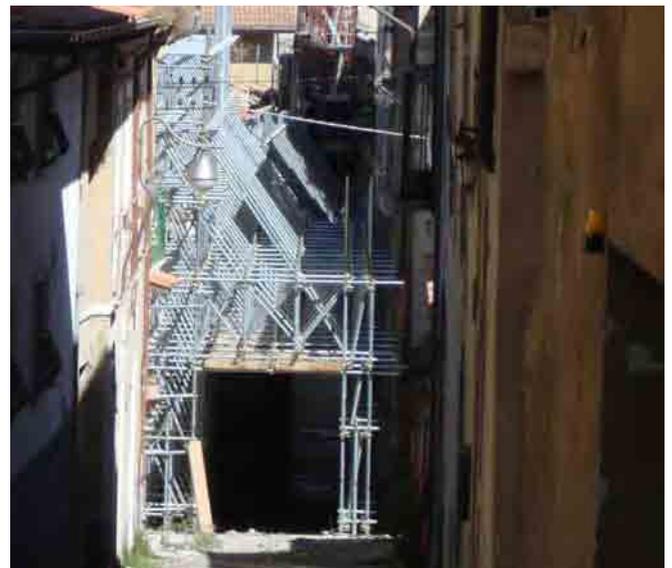
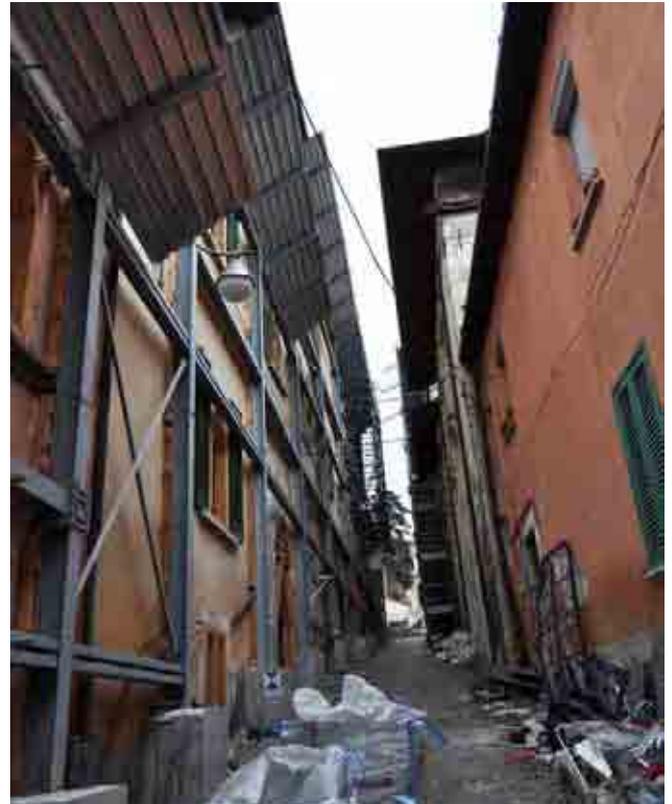
*Il contesto post-sisma può presentare diversi ostacoli alle operazioni di rilievo; le macerie, se non ancora rimosse, possono occludere l'attacco a terra degli edifici.*



*In questa foto si individua la composizione volumetrica dell'aggregato da rilevare.*



*Nelle analisi preliminari al rilievo è importante individuare posizioni strategiche dalle quali rilevare strumentalmente parti dell'aggregato non visibili dal piano stradale.*



*Fotografare il contesto post-sisma significa anche individuare ambienti resi impraticabili dal crollo delle strutture. Nelle foto qui sopra alcuni crolli di edifici che si affacciano su Piazza San Marciانو nel centro storico di L'Aquila.*

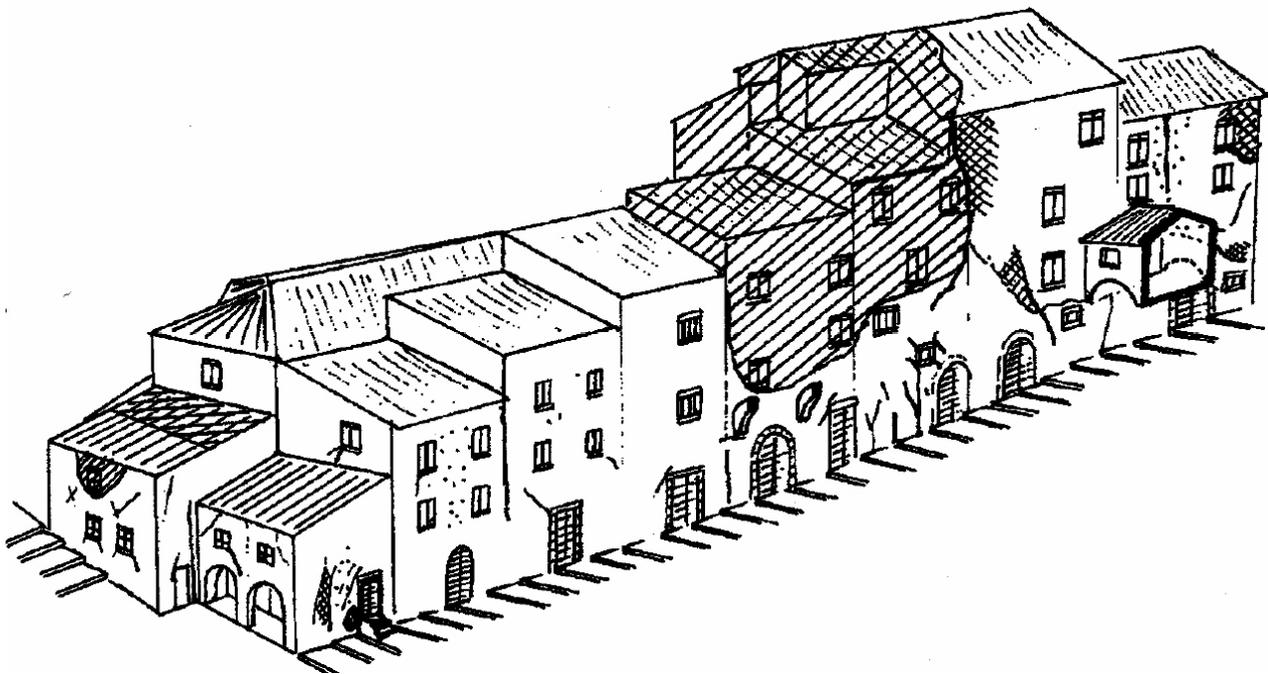
*Ai fini della progettazione del rilievo integrato è importante documentare anche la presenza di strutture per la messa in sicurezza allestite a sostegno degli edifici danneggiati che si interpongono come ostacoli alle operazioni di rilevamento.*

### 2.1.5 Individuazione dei Corpi di Fabbrica o Unità Strutturali

Uno degli aspetti più importanti per la comprensione degli assetti strutturali e delle stratificazioni di un aggregato urbano è l'individuazione delle porzioni omogenee che lo compongono, in questa fase viene analizzato il rapporto del manufatto con l'intorno descrivendo il complesso architettonico nella sua articolazione, isolato o non isolato, e la caratterizzazione dei rapporti spaziali e funzionali tra l'edificio ed eventuali manufatti contermini. Lo studio del tessuto servirà ad ipotizzare la gerarchia costruttiva e le relazioni tra l'edificio ed il contesto. In particolare partendo dal concetto di complesso architettonico,

costituito dall'aggregazione di più corpi di fabbrica in continuità strutturale e definito spazialmente dalle strade che lo circoscrivono, si dovrà risalire ai corpi di fabbrica costituenti, individuabili attraverso l'analisi dei prospetti visibili e l'articolazione plano-altimetrica.

Anche un primo rilievo schematico del manufatto, od un semplice eidotipo, possono essere in grado di descriverne la consistenza di massima e la localizzazione di eventuali elementi di pregio che possono determinarne la rilevanza o condizionare il livello di rischio. L'identificazione degli elementi di pregio dovrà essere utilizzata anche per l'individuazione di possibili zone di sacrificio ove realizzare eventuali indagini distruttive e localizzare eventuali interventi di rinforzo.



Uno schizzo di rilievo a vista che descrive il complesso edilizio nella sua articolazione volumetrica, individuando porzioni omogenee che lo compongono o che hanno subito i dissesti più evidenti.

### 2.1.6 Definizione del progetto di rilievo integrato

Le attività preliminari di conoscenza devono concorrere a definire la fase progettuale del rilievo integrato, individuare le operazioni da compiere e la relativa cronologia per la definizione di un cronoprogramma delle attività operative. Dall'analisi del materiale raccolto, e disegnando direttamente in sito secondo un rilievo a vista<sup>7</sup>, si può avere un controllo ed un livello di discretizzazione delle geometrie dell'aggregato tale da produrre una serie di disegni (eidotipi) utilizzabili come base grafica per la progettazione delle attività di rilievo strumentale.

Gli eidotipi di rilievo a vista permettono di poter indicare per esempio, la posizione delle stazioni di ripresa Laser

Scanner, la posizione dei target di riferimento e quella delle stazioni di rilievo topografico, per la pianificazione e lo svolgimento delle operazioni strumentali che saranno successivamente descritte più dettagliatamente.

Questo tipo di indicazioni sono indispensabili non soltanto alla gestione delle operazioni di rilevamento in campo, ma anche come riferimenti utili per il processo di registrazione dei dati acquisiti e la loro postproduzione.

La progettazione della campagna di rilievo va inoltre contestualizzata alla precarietà statica degli edifici, e deve tener conto degli interventi di messa in sicurezza e delle eventuali macerie che si interpongono come ostacoli al rilievo strumentale o diretto delle morfologie architettoniche occludendone la lettura di alcuni elementi.



Sugli eidotipi di inquadramento planimetrico generale dell'aggregato oggetto del rilievo (riportati in alto), viene impostato il progetto del rilievo strumentale. Vengono indicati: i punti di stazione laser scanner; quelli delle stazioni topografiche collegati dalla poligonale chiusa e i target di riferimento posizionati sugli elementi dell'ambiente da rilevare. Nel disegno a destra vengono individuate le sezioni fondamentali per la restituzione grafica dei prospetti e delle sezioni interne all'aggregato, andando a verificare se sia necessario integrare altre metodologie di misurazione nel rilievo di porzioni di fronti o vani interni, eventualmente occlusi da elementi di disturbo ai rilievi strumentali.

Per questo motivo è necessario integrare più metodologie di rilievo che vadano a compensare e ridurre la possibile assenza di dati che, inevitabilmente, in uno stato di emergenza, di danneggiamento e di precaria sicurezza come quello di un contesto post-sisma va considerata con un certo grado di tolleranza. Allo stesso tempo è necessario garantire un errore medio, in fase di acquisizione, che si avvicini a quello della metodologia strumentale più

precisa fra quelle messe in campo, e garantire, in fase di restituzione, lo scambio di informazioni fra dati provenienti da diverse fonti metodologiche di misurazione. A questo proposito rientra nella fase preliminare, come vedremo di seguito, anche la scelta dei *software* di gestione dei dati per la postproduzione in relazione alla strumentazione da utilizzare.



*Un esempio di puntellamento particolarmente intensivo eseguito nel centro storico di L'Aquila a seguito del sisma del 2009. Le strutture preposte alla messa in sicurezza degli edifici danneggiati rappresentano spesso un ostacolo al rilievo laser scanner e, se preventivamente allestite con lungimiranza per la successiva cantierizzazione dell'aggregato, possono rappresentare un disturbo anche alle operazioni di intervento per il consolidamento sismico e riparazione. Nel caso del dopo terremoto di L'Aquila le attività di ricostruzione del centro storico tardano a partire anche a causa dell'invasione delle opere provvisorie per la messa in sicurezza che, allestite in modo eccessivamente massivo e senza considerare una loro utilità alla futura cantierizzazione, costituiscono un ulteriore problema per la realizzazione degli interventi operativi di restauro. A distanza di quasi quattro anni le strutture murarie di questi edifici, in molti casi esposte alle intemperie a causa dei crolli delle coperture, si sono ormai adagiate sui puntellamenti. Questi infatti costituiscono ora parte integrante dell'equilibrio statico che permette alle architetture danneggiate di non crollare, rappresentando, per la loro difficile rimozione, un elemento che incrementa tempi e costi della ricostruzione. La polemica, oltre che spinta dal reale ostacolo che tali opere hanno rappresentato durante le attività di rilievo svolte in sito, è suggerita anche dal fatto che, se nel momento dell'emergenza - quando i fondi destinati alla ricostruzione erano subito disponibili e pagati a consuntivo - si è operato alla messa in sicurezza del centro storico con particolare celerità e un massiccio impiego di materiali, altrettanto non è stato fatto in questi anni per il monitoraggio e la manutenzione di tali opere. Come è noto, queste necessitano una continua revisione nel tempo anche in funzione del ruolo, ormai fondamentale, che rivestono nella condizione statica degli edifici pesantemente danneggiati dal sisma.*

*Scelta degli strumenti e dei software:*

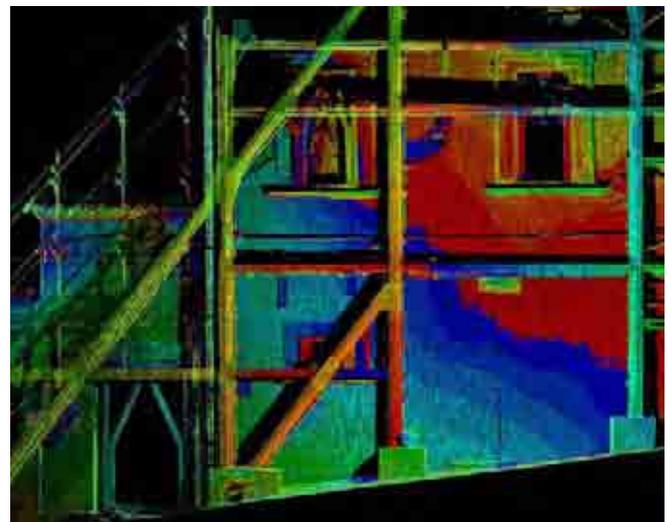
Successivamente alla valutazione delle informazioni reperite al primo sopralluogo e documentate fotograficamente è importante definire quale tipologia di strumentazione laser scanner è più opportuno usare o se vadano integrate più tipologie di scanner in relazione alle condizioni nelle quali andiamo ad operare. Dalle caratteristiche morfologiche dell'oggetto da rilevare e dalle esigenze del rilievo stesso, discende l'opportunità di utilizzare tecnologie specifiche per le diverse necessità.

In un contesto post-sisma le caratteristiche richieste ad uno strumento Laser Scanner risultano essere anche quelle della leggerezza e maneggevolezza negli spostamenti fra una stazione e l'altra, visto l'alto livello di precarietà statica degli edifici e la presenza di numerosi ostacoli, ma anche quelle di velocità nell'acquisizione dei dati, visto lo stato di emergenza nel quale andiamo ad operare. Allo stesso tempo la qualità del dato e la riduzione al minimo del "rumore" strumentale sono componenti fondamentali per la buona riuscita di un rilievo digitale che deve dare informazioni non soltanto sugli aspetti geometrico/morfologici dell'architettura, ma, anche e soprattutto sul danno subito al fine dell'individuazione della meccanica dei dissesti. Si richiede quindi allo strumento di poter acquisire un dato che permetta la lettura del dettaglio millimetrico tale da poter evidenziare deformazioni plastiche e spostamenti dal piano ideale difficilmente misurabili con altre tecnologie di rilevamento.



*Nella foto sopra: un momento del rilievo laser scanner nel centro storico di L'Aquila.*

*Nelle immagini in basso: alcuni esempi dei risultati attesi da un rilievo laser scanner: la possibilità di scendere fino al dettaglio architettonico dell'oggetto rilevato e quella di poter effettuare elaborazioni dei dati tridimensionali che permettano ad esempio di individuare deformazioni plastiche dei fronti.*



Le numerose possibilità di scelta su di una vasta gamma di strumentazioni laser scanner presenti in commercio e le relative possibilità di *output* dalla registrazione dei dati acquisiti secondo i diversi *software* e le diverse tipologie di target da utilizzare, non sono però sufficienti a garantire un controllo ed una distribuzione dell'errore generato, che può, per varie cause, amplificarsi nelle diverse fasi di acquisizione e registrazione delle molteplici nuvole di punti realizzate nelle campagne di rilevamento. Soprattutto in contesti post-sisma e nel caso di aggregati urbani in muratura molto estesi e complessi come quelli di un centro storico, integrare le singole prese attraverso rilievi topografici di supporto a quelli laser scanner risulta fondamentale. Il rilievo topografico realizzato secondo una poligonale<sup>8</sup> chiusa dai cui vertici vengono rilevati i target di riferimento, si rivela la metodologia di supporto

più affidabile, con il minor errore strumentale assoluto già in fase di acquisizione e con un maggior controllo dei dati per la registrazione delle varie scansioni laser che vengono eseguite internamente ed esternamente all'aggregato. Il rilievo può anche supportare l'integrazione di misure acquisite tramite rilievo diretto che completano la documentazione di zone dove non è possibile arrivare con gli strumenti digitali: questo tipo di integrazione è possibile mediante l'individuazione di punti noti localizzati sulla morfologia del sito. Questi devono essere localizzati tali da poter anche essere rilevati dalla stazione totale<sup>9</sup> per costituirsi come vertici affidabili nel sistema di trilaterazioni e quadrilaterazioni<sup>10</sup> impostato sulle misurazioni dirette, che, acquisite con distanziometro laser o rotella metrica e riportate su eidotipi, costituiranno parte integrante della banca dati del rilievo.

Sotto: gli strumenti utilizzati durante le attività di rilievo integrato condotte per queste ricerche.



ZF Imager 5010



Leica HDS 7000



Faro Focus 3D



Leica ScanStation C10



Leica Stazione Totale



Leica GPS Topografico



Fotocamera Digitale



Braccetto meccanico

*Esigenze:*

Il risultato del processo di analisi e documentazione deve convergere nella produzione di un rilievo geometrico/morfologico affidabile per un corretto dimensionamento degli spazi e degli elementi strutturali ed architettonici, individuandone il loro contributo statico nella meccanica generale dei dissesti. È necessario inoltre definire superfici e volumetrie dell'aggregato urbano per il calcolo dei contributi previsti da destinare alle attività di ricostruzione, permettendone la loro programmazione con la definizione di un quadro tecnico economico di intervento. L'indagine deve permettere la individuazione delle tipologie costruttive che compongono le diverse strutture che nel tempo si sono stratificate e trasformate per definire gli interventi di consolidamento e adeguamento sismico secondo i fondamentali criteri di metodo del restauro generalmente inteso, dal "minimo intervento" alla "compatibilità", alla "reversibilità"; il tutto nel tentativo consapevole di ricondurre il cosiddetto consolidamento degli edifici storici entro l'ambito disciplinare del restauro e della conservazione, quindi alle sue ragioni teoriche di fondo e secondo criteri di adeguamento antisismico.

*Problematiche:*

Le principali difficoltà del rilievo geometrico, oltre a quelle già citate e relative alle condizioni del contesto pot-sisma, sono legate alla disponibilità dell'accessibilità di alcuni spazi, quali sottotetti, volumi tra false volte o controsoffitti e coperture, oppure all'eccessiva altezza degli elementi da misurare, come nel caso di campanili, torri, volte in

una navata, ecc.; tuttavia, sono disponibili strumenti che consentono una restituzione affidabile anche nel caso di elementi complessi, e tecniche di indagine diretta (endoscopia) o indiretta (termografia, georadar, ecc.) per gli spazi non accessibili, i cui esiti necessitano ovviamente di una comprovata esperienza per l'interpretazione dei risultati e la restituzione dei dati.

Il rilievo di stucchi, decorazioni ed elementi non strutturali, utile ai fini dell'individuazione del bene e della sua rilevanza, non deve ostacolare la precisa conoscenza della geometria degli elementi architettonico-strutturali.

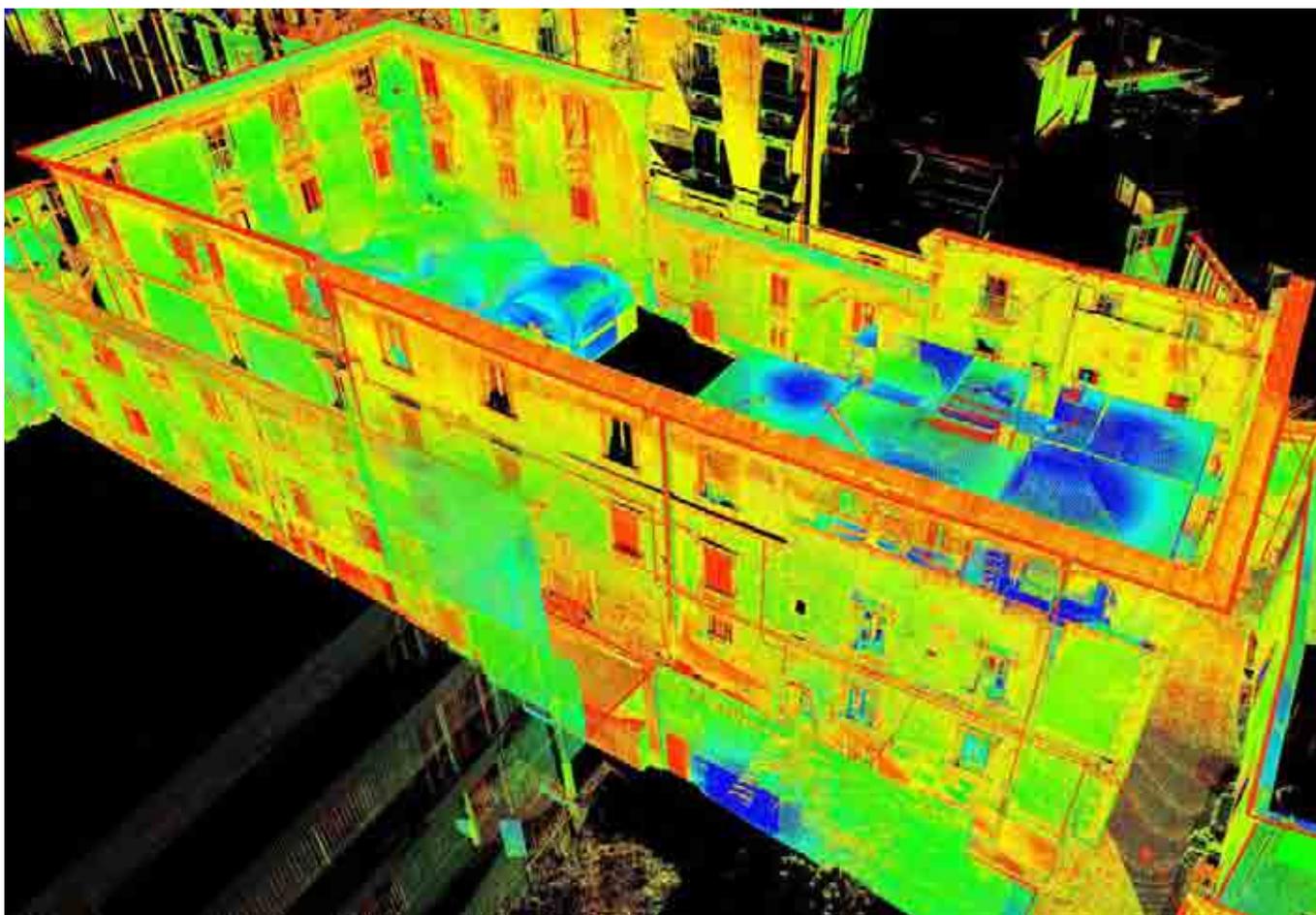
Trattandosi di architetture storiche che si sono stratificate nel tempo e quindi di aggregati composti da una infinita casistica di assemblamenti ed evoluzioni formali, distributive e strutturali, nonché da un variegato impiego dei materiali e di diverse tecnologie costruttive, non è possibile seguire un protocollo di intervento standardizzato, pertanto, pur attenendosi ad una linea metodologica definita per differenti fasi e livelli di indagine, si presenta il problema di doversi approcciare ad ogni singolo caso con modalità diverse, adeguando il progetto di rilievo integrato compatibilmente con le numerose variabili di tutte le condizioni relative all'organismo architettonico, al suo stato ed al contesto entro il quale si inserisce. Mettere in luce e documentare problematiche specifiche emerse dall'analisi effettuata durante le attività preliminari di conoscenza e relative alle difficoltà sopra citate ed alle esigenze del rilievo stesso, rappresenta un primo risultato fondamentale alla definizione del progetto di rilievo integrato in tutte le sue fasi operative.



## 2.2 METODOLOGIE DI RILIEVO INTEGRATO PER GLI AGGREGATI IN MURATURA: ACQUISIZIONE, ELABORAZIONE E RESTITUZIONE DATI

Una parte rilevante del presente lavoro è stata dedicata alla sperimentazione ed alla definizione di metodologie operative appropriate ai casi studio presi in esame. Come è noto: “*Il prodotto delle operazioni di rilevamento costituisce un insieme ordinato di dati, frutto di una attività di «discretizzazione» dei molteplici aspetti della*

*realtà, un lavoro di conoscenza, interpretazione, selezione, organizzazione, il cui prodotto finale consiste nella attività di trasmissione di modelli mentali, descrittivi, grafici o quanto altro sia ritenuto utile al fine della trasmissione della conoscenza acquisita*”.<sup>12</sup>

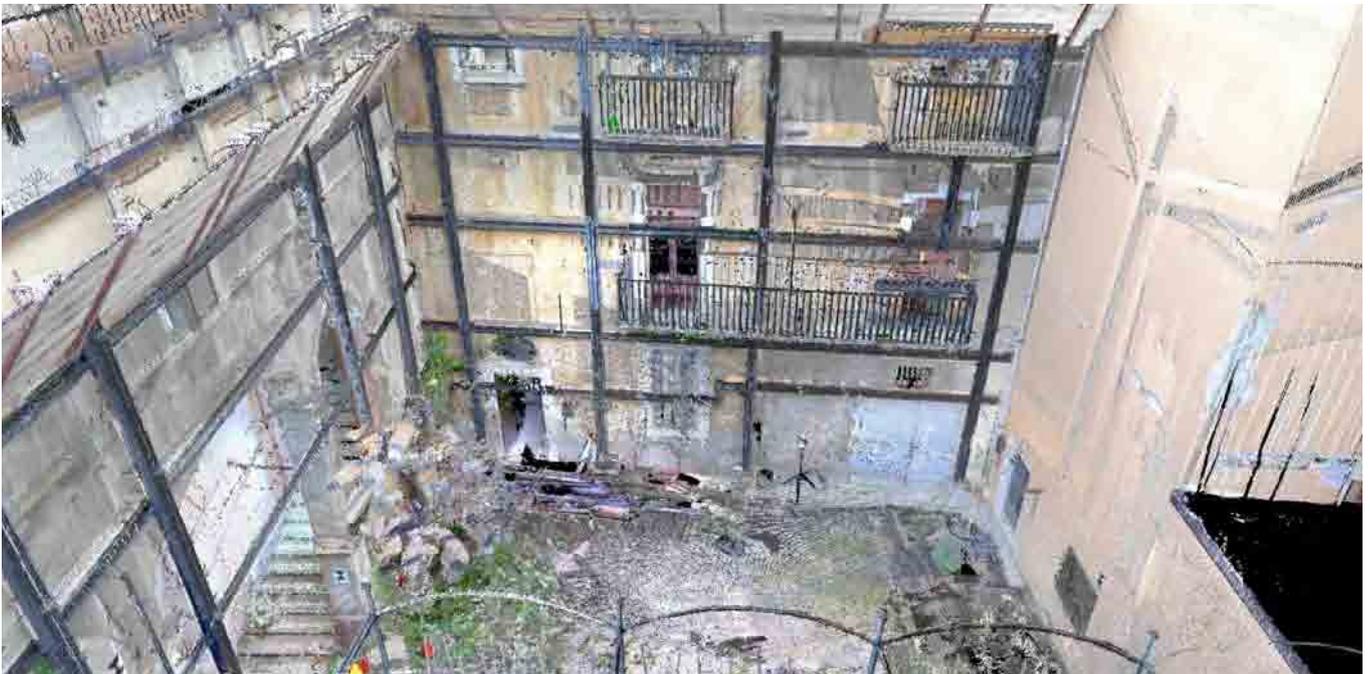
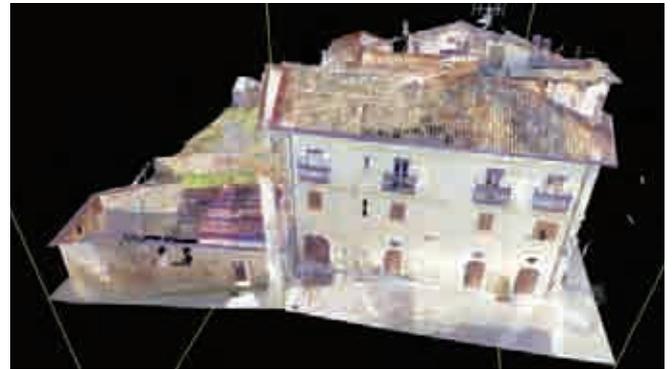


Una vista della nuvola di punti 3D prodotta dalle scansioni durante le operazioni di rilievo laser scanner e relativa ad un aggregato nella “zona rossa” del centro storico di L’Aquila.

### 2.2.1 Rilievo 3D eseguito con laser scanner e strumentazione topografica, quale base fondante del rilievo integrato

Il processo di acquisizione dati definito nella fase di progettazione del rilievo, deve arrivare alla creazione di una base metrica affidabile, che ci dia informazioni dimensionali tridimensionali alle quali riferire tutte le successive misurazioni ed analisi e che solo una tecnologia strumentale avanzata di rilevamento integrato può fornirci.

Le nuove tecnologie di rilievo digitale hanno visto negli ultimi anni una notevole e rapida evoluzione, rendendosi sempre più di semplice utilizzo anche da operatori privi di una vasta formazione specifica, questi sistemi permettono di restituire modelli digitali di spazi, oggetti e architetture. Anche il continuo perfezionamento dei software per la modellazione di elementi tridimensionali e per la loro resa fotorealistica hanno reso possibile la creazione di immagini di oggetti “virtuali” difficilmente distinguibili, a colpo d’occhio, dalle riprese fotografiche della realtà.



Viste delle nuvole di punti 3D laser scanner, all’interno del loro ambiente di gestione (Cyclone Leica Geosystems), di alcuni aggregati rilevati nella “zona rossa” del centro storico di L’Aquila. In queste immagini è possibile vedere la resa fotorealistica delle nuvole di punti grazie all’inserimento delle fotografie orbitali scattate contestualmente al rilievo laser scanner.

I più tecnologicamente evoluti sistemi di rilevamento (come gli scanner laser 3D a triangolazione o a tempo di volo e variazione di fase) permettono di ottenere modelli assolutamente affidabili e dettagliati con una forte resa grafica già dalla prima acquisizione, ma richiedono anche un ripensamento e una buona pianificazione delle operazioni al fine di permettere di sfruttare a pieno la strumentazione utilizzata senza incorrere in condizioni di fatto controproducenti rispetto alle finalità del progetto di rilievo che si vuole attuare<sup>13</sup>.

Le tecnologie di rilevamento digitale permettono di cogliere un enorme numero di misure in un tempo molto breve, in maniera immediata rispetto al rilievo discretizzato, producendo una sorta di modello intermedio tra il reale e il rappresentato, costituito dalla nuvola di punti<sup>14</sup> nella quale l'architettura misurata viene scomposta. Il rilievo massivo di un insieme di punti rappresentanti l'oggetto è comunque

soggetto a criteri di organizzazione delle operazioni non secondari rispetto alla corretta riuscita delle operazioni di rilievo. Gli aspetti principali che si devono tenere in considerazione sono:

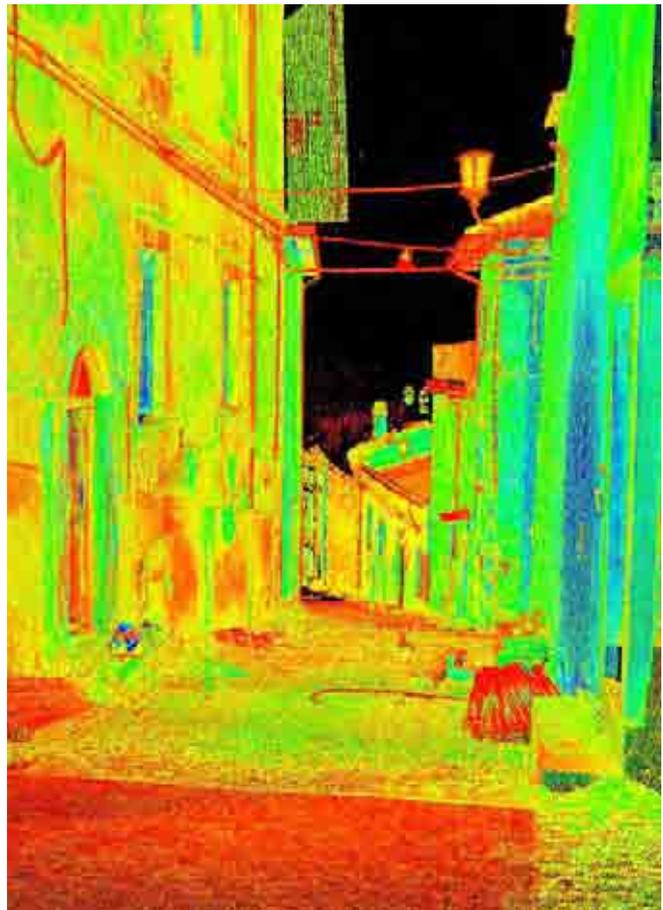
- la corretta copertura dell'intero oggetto rilevato;
- la documentazione dell'intero oggetto rilevato con il giusto livello di dettaglio;
- le procedure di acquisizione delle immagini relative all'oggetto rilevato.

Per il raggiungimento di queste categorie di intervento è necessaria una pianificazione basata sulle caratteristiche operative e sulle specifiche tecniche della strumentazione in uso, ma sarà anche l'operatore che, con la sua esperienza, dovrà vedere oltre l'operazione di rilievo e impostare le giuste basi per il successivo trattamento dei dati.



*Nella foto sopra: un momento del rilievo laser scanner.*

*Nell'immagine a destra: il dato "grezzo" ottenuto dalla scansione digitale sulla quale è possibile visualizzare i diversi materiali per la loro riflettanza acquisita dal raggio laser.*





*Viste delle nuvole di punti 3D laser scanner, all'interno del loro ambiente di gestione (Cyclone Leica Geosystems), di un aggregato rilevato nella frazione di Scopcito (AQ). Anche in queste immagini è possibile vedere la resa fotorealistica delle nuvole di punti grazie all'inserimento delle fotografie orbitali scattate contestualmente al rilievo laser scanner.*





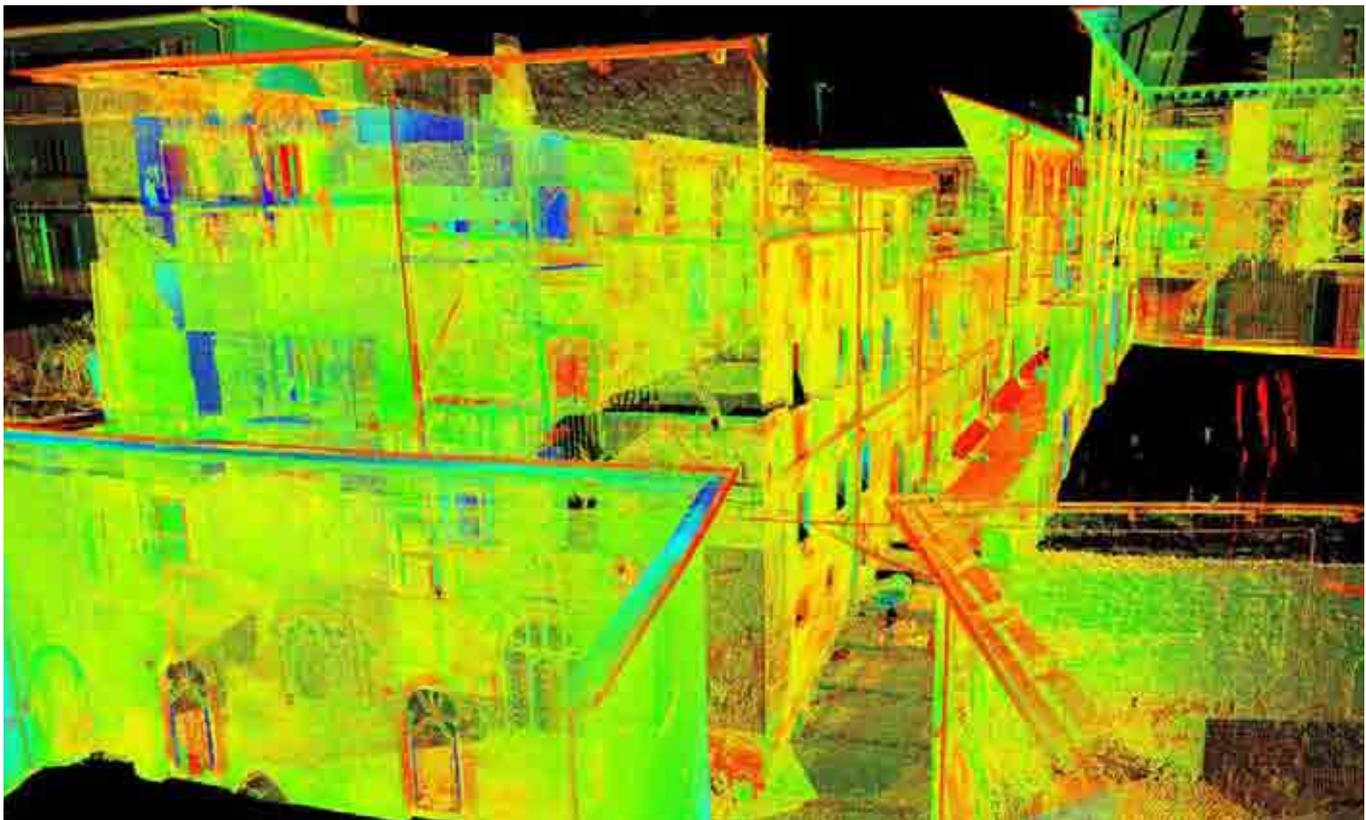
La possibilità tecnica offerta dalla strumentazione deve sempre essere integrata da ulteriori soluzioni di misurazione e documentazione in modo da ampliarne le caratteristiche e rendere più efficiente e mirata l'operazione di digitalizzazione.

Per il rilievo 3D laser scanner di organismi architettonici dei quali si devono rilevare superfici estese come quelle dei prospetti esterni (vedi figura sotto) e contemporaneamente ambienti ristretti come i vani interni agli edifici (vedi figure nella pagina successiva), sono di solito utilizzati strumenti con tecnologia "time of flight" (tempo di volo)<sup>15</sup> ed in particolare scanner laser tipo, *Leica ScanStation C10* o similari, e laser scanner con tecnologia "variazione di fase"<sup>16</sup> tipo *Leica HDS 7000* o similari.

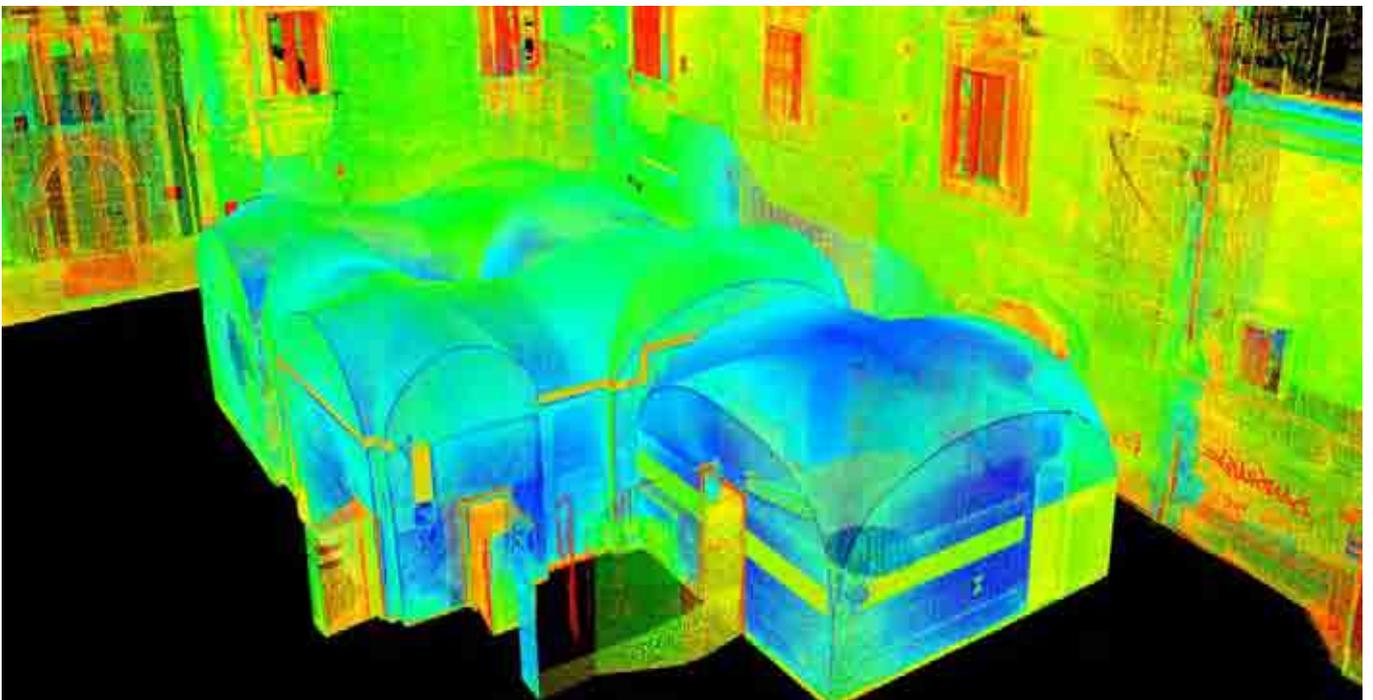
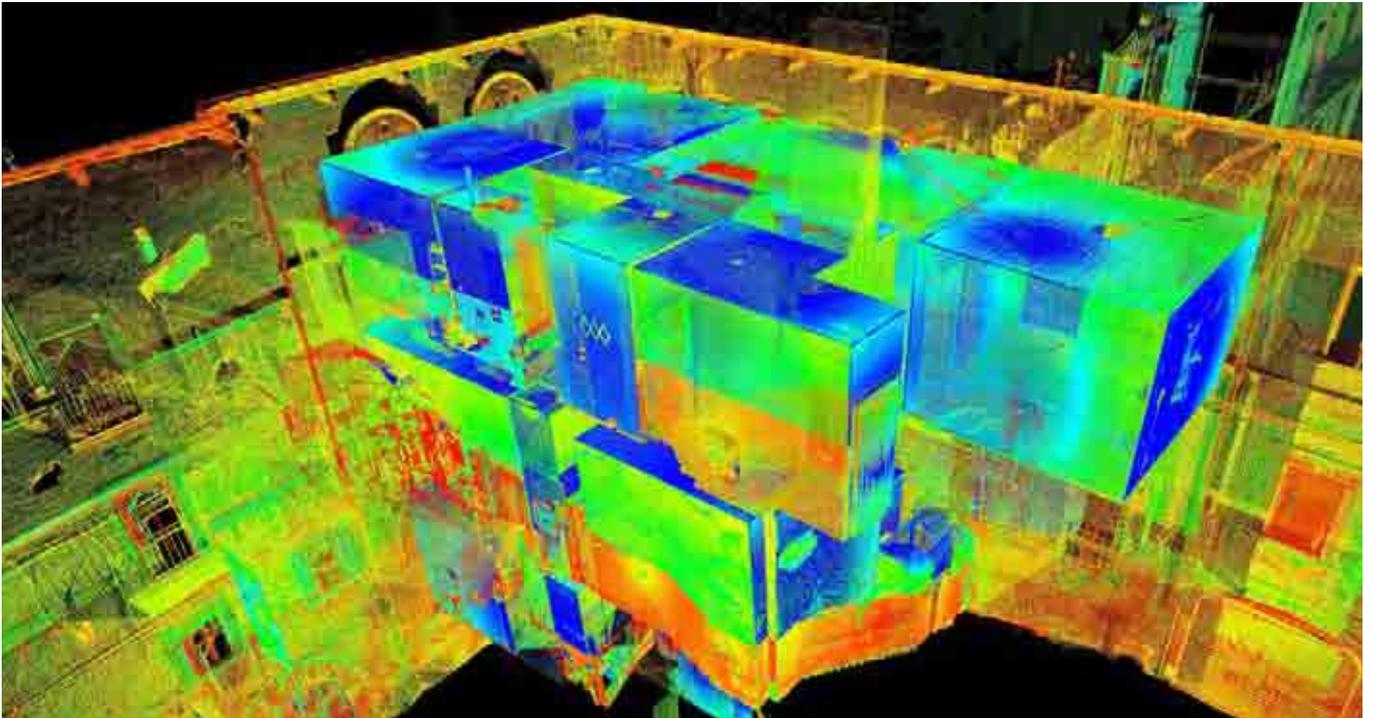
Il rilievo effettuato con strumenti laser scanner si articola attraverso delle riprese, dette anche scansioni nelle quali gli strumenti utilizzati, che ad esempio usino la tecnologia

*time of flight*, sono in grado di misurare, con un'accuratezza a 50 metri di distanza di +/- 4 mm. su una scena di ripresa di 360°x 270°. Da ogni scansione, si ricava una nuvola di punti che a seconda degli elementi da rilevare può arrivare fino ad una maglia di ripresa di circa cm 0,5 x 0,5, più o meno densa proporzionalmente alla distanza dei punti dallo strumento entro il proprio *range* strumentale. Di ogni punto misurato che costituisce la nuvola si ottengono tre coordinate secondo gli assi cartesiani X,Y,Z riferiti alla posizione dello strumento ed un quarto valore: la riflettanza del materiale, dato acquisito dalla lettura del raggio laser utile per una prima elaborazione delle caratterizzazioni cromatiche e materiche delle superfici.

Oltre al dato geometrico è possibile infatti ottenere anche una informazione radiometrica di intensità relativa alle proprietà chimico/fisiche del materiale illuminato dal fascio laser.



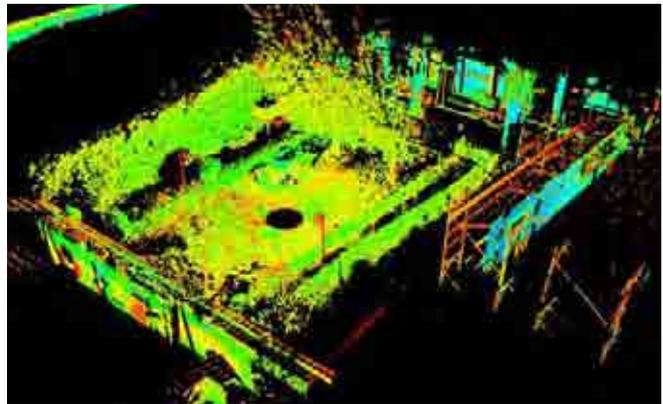
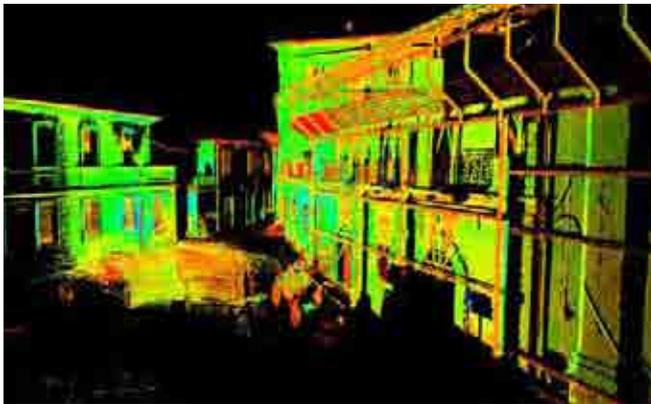
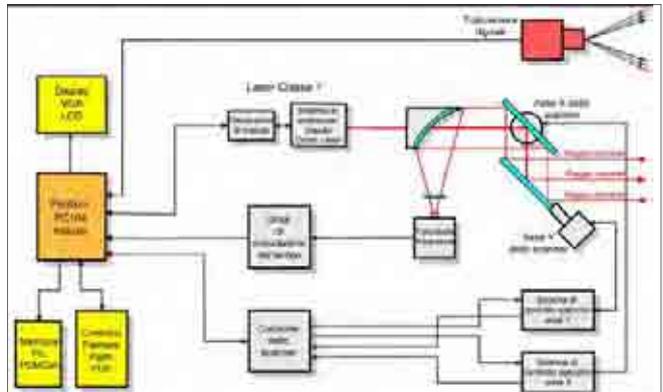
*Fra le esigenze richieste ad uno strumento laser scanner ci sono anche quelle di dover rilevare sia superfici estese come quelle dei fronti esterni di un aggregato, sia ambienti più piccoli come i singoli vani di un appartamento. Nell'immagine sopra la nuvola di punti relativa all'esterno di un aggregato rilevato.*



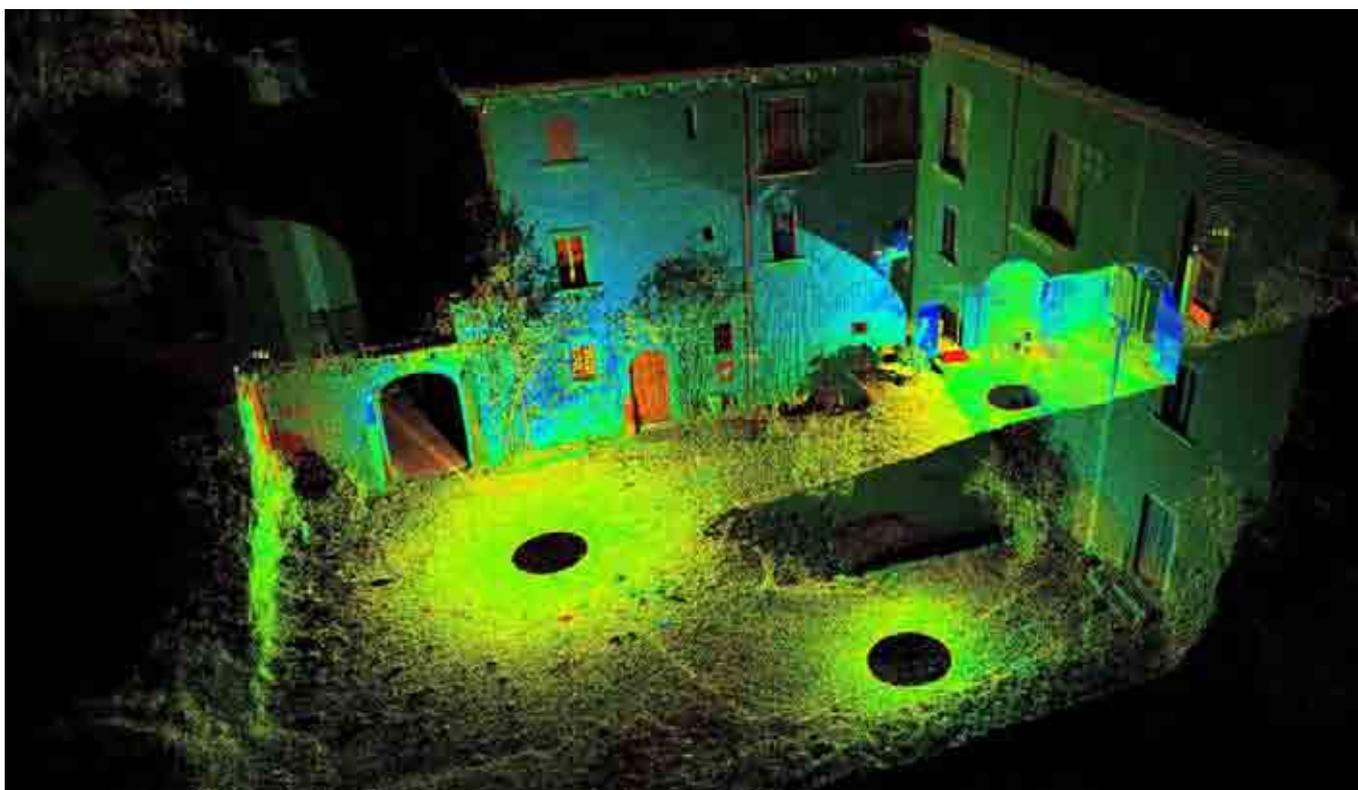
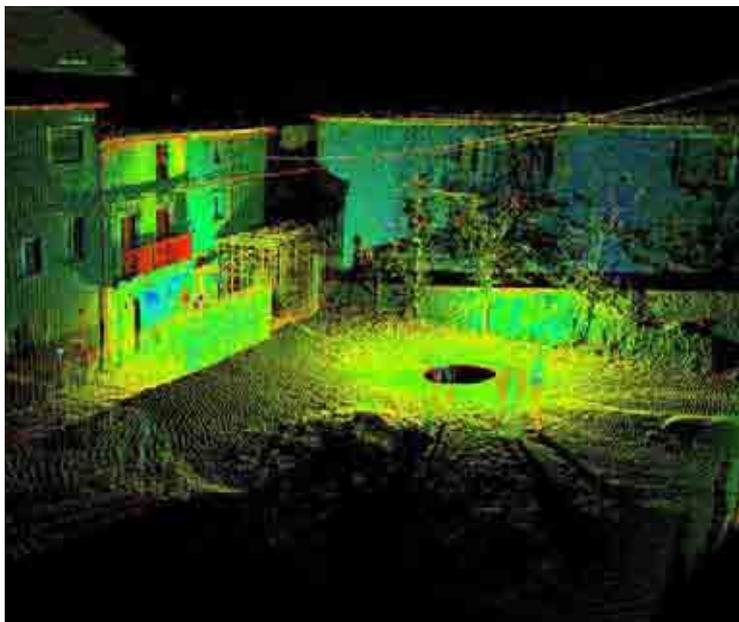
*In queste immagini si possono visualizzare gli ambienti interni di un aggregato rilevati dal laser scanner e la loro registrazione nella nuvola di punti globale.*



*Nella figura a destra uno schema del processo di acquisizione dati della tecnologia laser scanner propria degli strumenti utilizzati per queste ricerche.*



*Nelle immagini in alto: il risultato delle singole scansioni effettuate da stazioni laser scanner. Nelle immagini qui sopra è possibile visualizzare la nuvola di punti prodotta dal rilievo laser scanner, colorata secondo il dato di riflettanza dei materiali e nella versione secondo i colori reali resa possibile dall'inserimento nella nuvola di punti delle foto orbitali prodotte contestualmente al rilievo digitale. Il processo che permette questa visualizzazione avviene secondo l'associazione dei punti relativi alle superfici scansionate dal laser con i pixel delle immagini orbitali acquisite dalle relative stazioni di ripresa.*

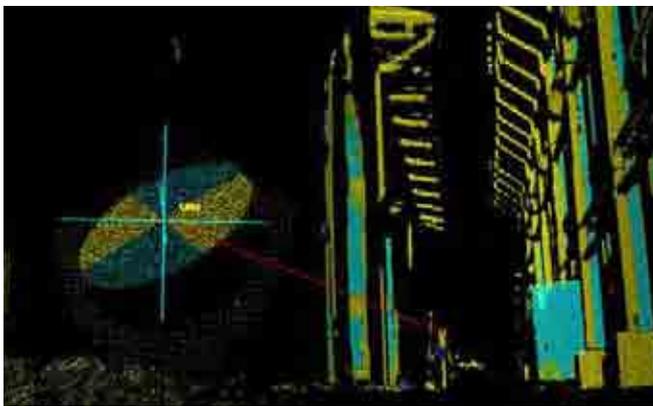
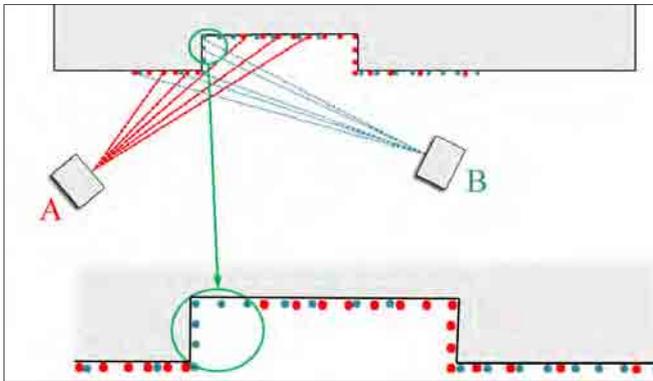


*In queste immagini viene illustrato il passaggio da nuvole di punti relative a singole scansioni laser scanner, a nuvole di punti composte da più scansioni registrate insieme e allineate secondo la corrispondenza di punti di riferimento comuni (target).*



*Il risultato del rilievo laser scanner deve essere quello di una nuvola di punti che, smaterializzando l'architettura reale rilevata, visualizzi un "modello" tridimensionale fruibile nel suo ambiente di gestione virtuale, direttamente misurabile (vedi immagine in alto), che possa permettere una lettura dei dettagli architettonici (vedi figura sopra) e che, all'occorrenza, possa essere visualizzato con una resa fotorealistica (vedi immagine nella pagina successiva).*





In alto: uno schema che indica come due stazioni di rilevamento laser scanner (A e B) possano produrre nuvole di punti allineabili fra loro grazie al rilevamento di punti comuni da entrambe le stazioni. Nelle immagini sopra: l'operazione di battitura dei target dalla stazione totale durante il rilievo topografico.

Per la ricomposizione di queste prese è necessaria la definizione di una rete di punti noti di collocazione certa a cui poter fare affidamento per riunire le singole scansioni effettuate in un unico insieme correttamente allineato<sup>17</sup>. Questa rete di punti noti può essere sviluppata in molteplici modi ma sono di fatto riconducibili alle seguenti situazioni principali:

- rete di target individuati da mire speciali e comuni in un numero di tre o più tra ogni coppia di scansioni;
- rete di target individuati da elementi geometrici presenti nell'area di scansione, propri degli elementi scansionati e comuni in un numero di tre o più per ogni coppia di scansioni;
- rete di target individuati da mire speciali secondo una rete appositamente rilevata attraverso stazione totale topografica o altro sistema di rilevamento di precisione; per poter essere allineata, ogni singola scansione dovrà avere almeno tre target provenienti dalla rete dei target presenti al proprio interno. In altre parole l'operatore dovrà sempre curarsi di avere tre o più target della rete di riferimento presenti nell'area di scansione stessa;
- rete di target individuati da mire speciali e, contemporaneamente, rete di target "locali" comuni tra le scansioni. In questo secondo caso, si vuole ridurre, per una qualche ragione, il numero dei target appartenenti alla rete di riferimento del sistema di scansioni. In questo senso la procedura di allineamento potrà avvenire prima per i target comuni tra le scansioni e successivamente con i target della rete di riferimento principale oppure essere attuata in forma graduale o combinata a seconda della struttura generale attribuita al rilievo.

La scelta di una appropriata rete di target tra quelle sopra elencate dipende sia dalle caratteristiche della campagna di rilievo che si sta effettuando, sia dalle caratteristiche del *software* che si andrà successivamente a utilizzare per la messa a registro. Nella fase di riconoscimento dei target si ha una profonda interconnessione tra *hardware* e *software* in quanto le procedure e le peculiarità proprie della strumentazione andranno a incontrare le funzioni del programma di gestione del processo di riconoscimento e uso dei target.

Il rilievo laser scanner e l'accuratezza nella disposizione

delle mire può però non essere sufficiente a garantire la piena correttezza del modello ottenuto, specialmente nel caso in cui l'architettura rilevata sia molto grande e le scansioni molto numerose.

Nel caso di rilievi per il monitoraggio in contesti post-sisma, diventa indispensabile integrare alla metodologia di ripresa digitale dei laser scanner, quella del rilievo topografico, utile anche all'integrazione di misurazioni acquisite con strumenti tradizionali di rilievo diretto.

Sulla base della rete di inquadramento topografica planoaltimetrica vengono registrate tutte le scansioni del fabbricato da rilevare in maniera tale da costituire la base metrica affidabile del rilievo. Qualora sia necessario tale rete può essere georeferenziata tramite punti fiduciali e riferita al sistema cartografico in uso, oppure agganciata al sistema di coordinate geografiche tramite GPS (queste operazioni all'interno del centro storico possono venire omesse per la presenza di una cartografia a scala affidabile come quella catastale).

Il rilievo topografico risulta fondamentale per acquisire una maggiore affidabilità e quindi ridurre al minimo il margine di incertezza nella fase di registrazione delle scansioni



*Un momento delle attività di rilievo topografico.*

laser. Come noto, il rilievo topografico impostato sulla creazione di una poligonale chiusa è l'unica metodologia di rilevamento, soprattutto per organismi architettonici complessi ed estesi, che permette una ripartizione dell'errore acquisito su tutti i punti di stazione che compongono la poligonale stessa, evitando così di incrementare l'errore che si andrebbe a sommare progressivamente se si affidasse la registrazione di numerose scansioni laser soltanto ai 3 o 4 punti-target comuni fra due scansioni che cambiano da una coppia di stazioni all'altra con il procedere delle scansioni stesse. In questo modo invece, si inseriscono tutti i punti di riferimento o target in una rete topografica salda e indeformabile, base metrica alla quale riferire tutte le successive misurazioni.

La battitura dei punti con la stazione totale deve essere eseguita contestualmente al rilievo laser scanner in modo da rilevare topograficamente solo i punti di dettaglio relativi ai target utili per la registrazione delle singole scansioni laser in una unica nuvola di punti vincolata e unita dalla poligonale topografica, rilevando anche quei punti morfologici dell'architettura da riferire al rilievo diretto di alcune eventuali zone.



*La stazione totale scansionata dal laser scanner in una nuvola di punti dei rilievi digitali. A sottolineare l'importanza del rilievo topografico come supporto a quello laser scanner eseguiti parallelamente.*

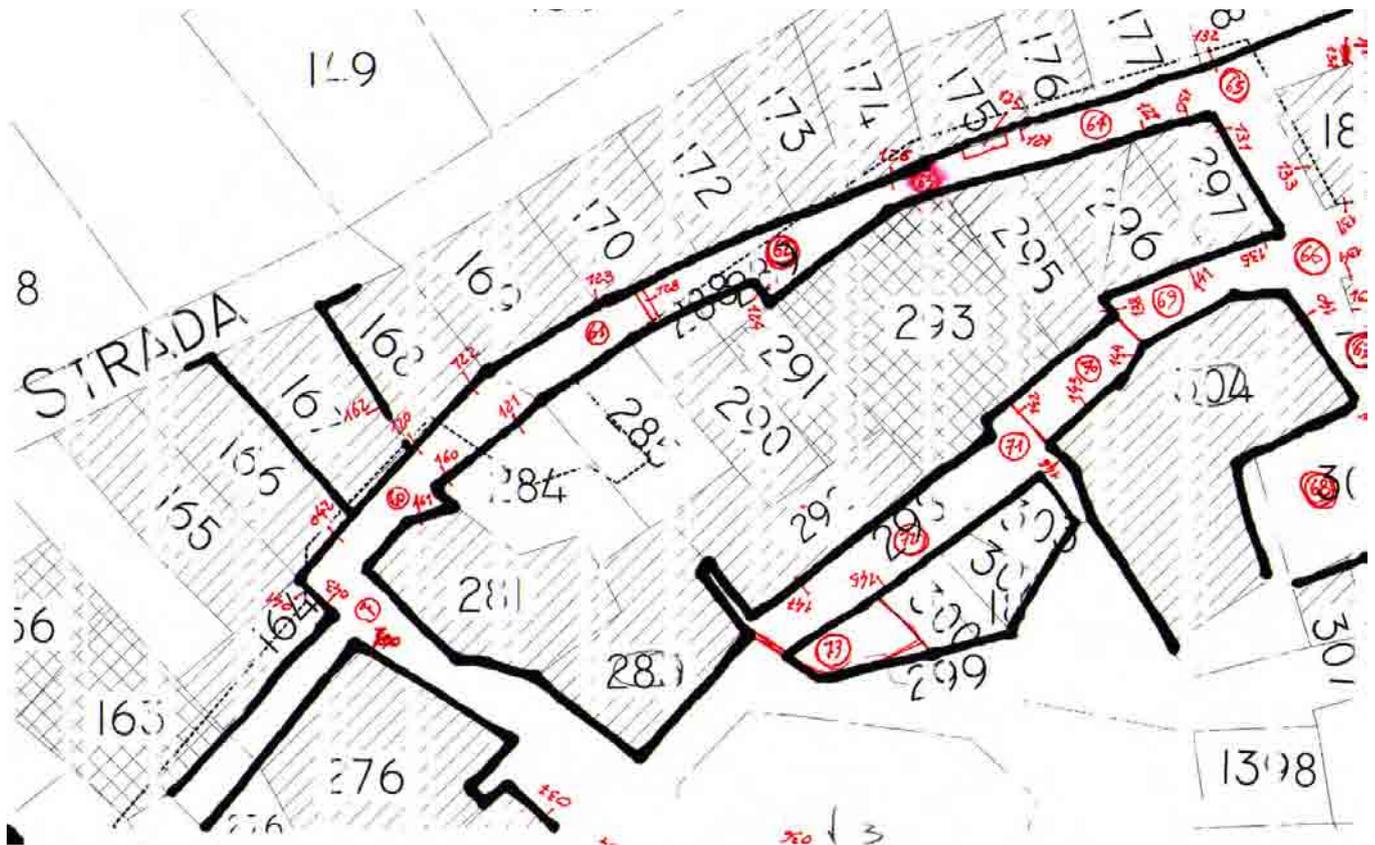


*Il risultato del rilievo topografico è quello di una nuvola di punti molto rada costituita solo dai punti di dettaglio battuti (target) e quelli che individuano le stazioni di rilevamento nei vertici della poligonale chiusa. Nelle immagini viene proposto il rilievo topografico di un aggregato della "zona rossa" del centro storico di L'Aquila. In alto: la sovrapposizione della poligonale topografica alla foto aerea mostra come il rilievo topografico sia impostato intorno all'aggregato ricongiungendosi alla prima stazione. In basso: la visualizzazione tridimensionale in ambiente CAD.*

La progettazione delle attività di rilievo strumentale viene definita individuando la posizione ed il numero delle stazioni di rilevamento laser scanner da effettuare intorno al fabbricato ed al suo interno, cercando di avere una visuale da ogni punto di stazione che permetta di effettuare una copertura totale di tutte le superfici e gli elementi da rilevare.

Il posizionamento delle varie stazioni laser viene indicato sulle planimetrie di riferimento quali eidotipi di rilievo a vista o estratti e planimetrie catastali, seguendo una numerazione progressiva secondo la successione delle scansioni stesse, lo stesso punto a terra, posizione del tre piedi su cui montare lo strumento, deve inoltre essere segnato in sito con un gessetto e con una bomboletta *spray*, in modo che l'operatore possa fisicamente posizionarsi sul punto esatto di stazione ed avere quindi, ruotando su se stesso, la stessa visuale a 360° dello strumento laser.

Da ogni punto di stazione, oltre ad assicurarsi che lo strumento veda tutti gli oggetti che vogliamo rilevare, si devono ora individuare gli elementi comuni che vengono visualizzati dalla stazione in cui siamo, dalla precedente e dalla successiva, elementi sui quali possiamo posizionare i target che dovranno essere scansionati dallo strumento il più possibile frontalmente evitando scorci eccessivi sia dalla posizione della prima scansione che dalle successive. Questa particolare accortezza nel posizionamento dei target rispetto alla visuale di più scansioni successive fra loro, risulta importante nel caso in cui non ci sia la possibilità di effettuare il rilievo topografico come supporto alla registrazione delle scansioni, ma si debba affidare alla progressiva registrazione per coppie di scansioni. La scansione frontale del target assicura infatti una minore possibilità di errore nel riconoscimento dal *software* del punto centrale sulle nuvole delle relative scansioni.



In un estratto di planimetria catastale che individua l'impronta a terra dell'aggregato oggetto del rilievo è possibile indicare i punti di stazione topografica e i target da rilevare.

I target per il rilievo laser scanner possono essere di varie tipologie, i più comunemente usati si differenziano per forma e materiali:

- target catarifrangenti piani;
- sfere di dimensione nota e non facilmente deformabili, utili per permettere una facile individuazione anche se poste in forte scorcio rispetto alla sorgente del laser;
- mire simili a quelle utilizzate in fotogrammetria con quadrante suddiviso in riquadri bianchi e neri.

I target di forma sferica verranno riconosciuti dal *software* di gestione delle scansioni come elementi di una determinata dimensione (quella propria identificata come target dal programma) e di questi verrà riconosciuto il centro come punto target utile all'allineamento di una scansione con un'altra che abbia questo stesso target in comune.

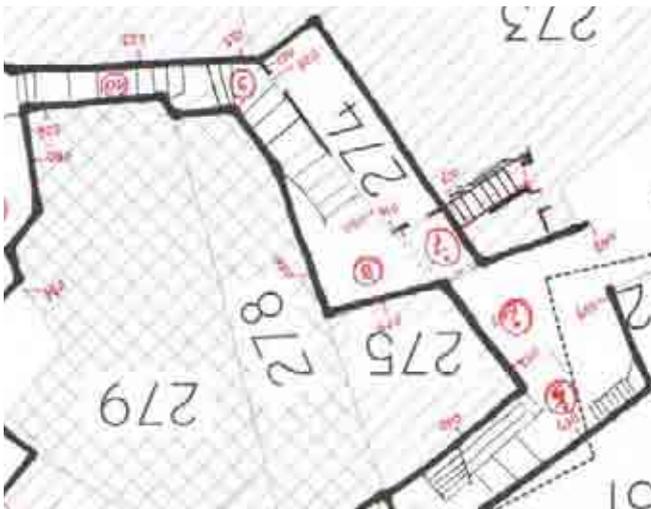
Nel caso in cui si stia utilizzando il rilievo topografico come supporto a quello laser scanner, i target posizionati in sito devono essere numerati progressivamente in modo da avere una esatta corrispondenza con i punti battuti dalla stazione totale che vengono a sua volta rinominati, l'operazione di posizionamento dei target deve assicurarsi

che questi siano fissati in modo stabile alle superfici sulle quali vengono collocati, evitando elementi mobili come ante di porte o di finestre o comunque tutti gli oggetti che possono subire spostamenti anche minimi dovuti al vento o ad altre cause. E' utile, per un maggior controllo della relazione fra la fase di acquisizione dati e quella di registrazione, annotare la posizione dei target sulle planimetrie di riferimento e riferire in una tabella le stazioni laser numerate progressivamente con i relativi target visualizzati (in alcuni casi anche specificando se vengono raffittiti con una ulteriore scansione concentrata solo sul target) da ognuna di esse per verificare che fra una stazione e l'altra ci sia una effettiva corrispondenza di un minimo di 3/4 target comuni e inseriti nella rete topografica. Gli stessi target, una volta effettuate le scansioni laser per le quali sono stati posizionati, devono essere battuti dallo strumento topografico che prevede anch'esso la progettazione delle proprie stazioni di rilevamento sfruttando posizionamenti strategici. La poligonale topografica viene impostata intorno all'oggetto da rilevare, non tanto riferendosi alla sua morfologia ma all'individuazione della miglior visuale per la battitura dei target precedentemente posizionati e rilevati dal laser scanner.



Il risultato del rilievo topografico sarà quindi una poligonale chiusa formata da segmenti che hanno come vertici i punti di stazione sui quali viene posizionato il tre piedi con lo strumento e dei quali si annota la quota altimetrica, intorno a questi capisaldi si ha la presenza di nuvole di punti molto rade create da una serie di punti di dettaglio rilevati da ogni stazione, corrispondenti ai target utili per la registrazione delle scansioni laser relative a quella porzione di ambiente e nominati secondo il numero dei target stessi.

La nuvola di punti generata mediante il rilievo topografico costituisce quindi la base di appoggio per la ricomposizione delle singole nuvole di punti generate dai laser scanner nelle varie stazioni di ripresa, queste ultime vengono infine unificate per generare un unico grande “modello” complessivo virtuale, fase preliminare di ogni successivo passaggio di elaborazione.



Date: 09/12-2011 Project: ACCIANO

Stazione	X	Y	303	304	307	308	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323
158	H																	
159	M	V																
150	M																	
151	H																	
147	M																	
153	M	V																
144	H	V																
182	H																	
185	H																	
197	H	V																
193	H	V																
199	H	V																



Nella figura della pagina precedente: alcune tipologie di target per rilievi strumentali. Esistono anche modelli di target ad alta riflettanza individuabili dal laser ad oltre 60 m dalla fonte del raggio.

Nelle figure a sinistra: in alto, la planimetria con localizzazione delle stazioni di rilevamento e relativi target; in basso la tabella dove vengono numerate progressivamente le stazioni laser scanner e indicati i target presenti nell'ambiente da rilevare, spuntando quelli che vengono rilevati dalla rispettiva scansione. Questa operazione assicura la costante verifica della presenza di un minimo di 3 target comuni fra due scansioni.

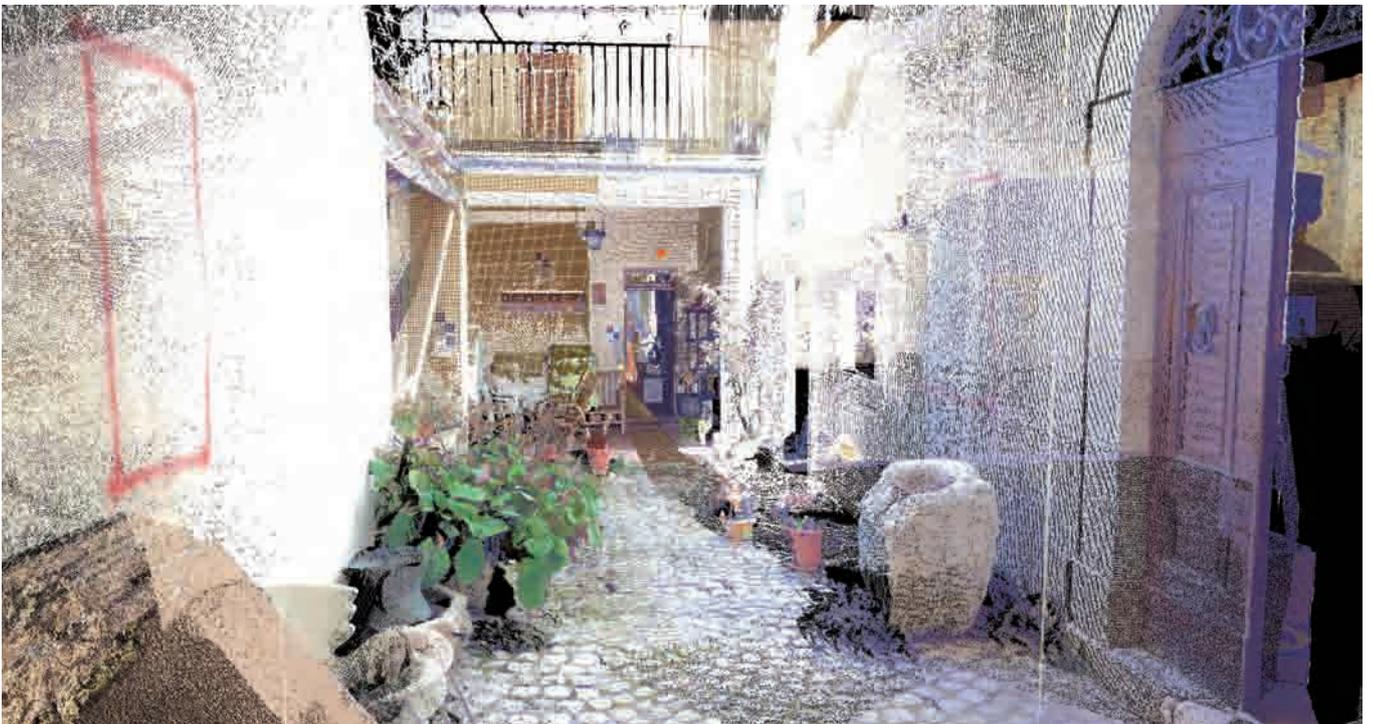
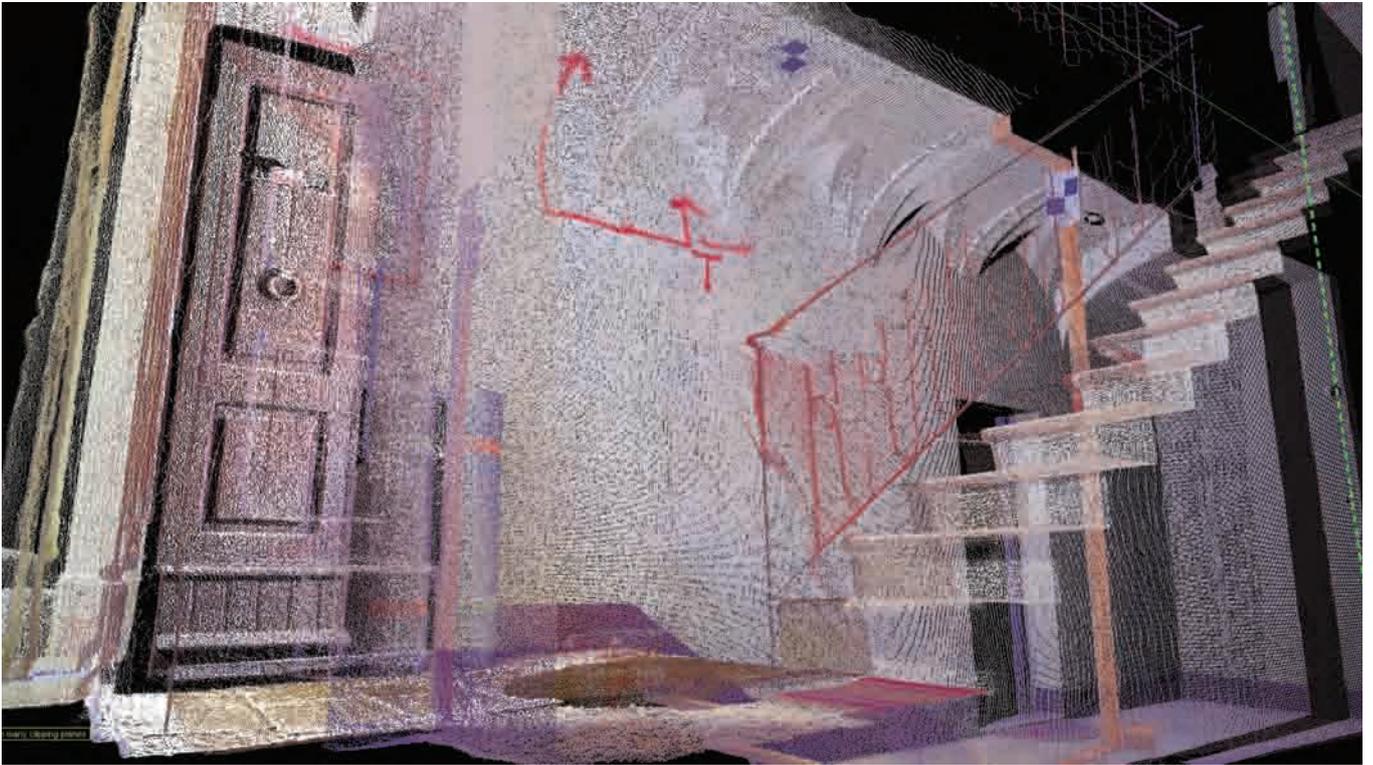
Nelle immagini in alto: il posizionamento di un target fissato su una superficie stabile ed il raffittimento di un target nella nuvola di punti con un'ulteriore scansione concentrata sul target.

Il contesto post-sisma nel quale andiamo ad operare condiziona pesantemente la definizione delle metodologie di rilievo da utilizzare per la documentazione e la rappresentazione di tutto ciò che è necessario rilevare ai fini dell'analisi dell'aggregato urbano. Si presenta spesso l'esigenza di integrare il rilievo strumentale con il rilievo diretto, soprattutto per quanto riguarda gli ambienti interni, questi sono rilevati con strumenti tradizionali del rilievo diretto creando una serie di disegni quotati e eidotipi che vengono restituiti e rimontati con tecnologie di disegno digitali come quelle CAD. Gli elaborati prodotti dal rilievo diretto degli ambienti interni sono riferiti alla "scatola" esterna dell'edificio, generata dal rilievo strumentale, sempre grazie ad alcuni punti noti di dettaglio battuti dalla stazione topografica.

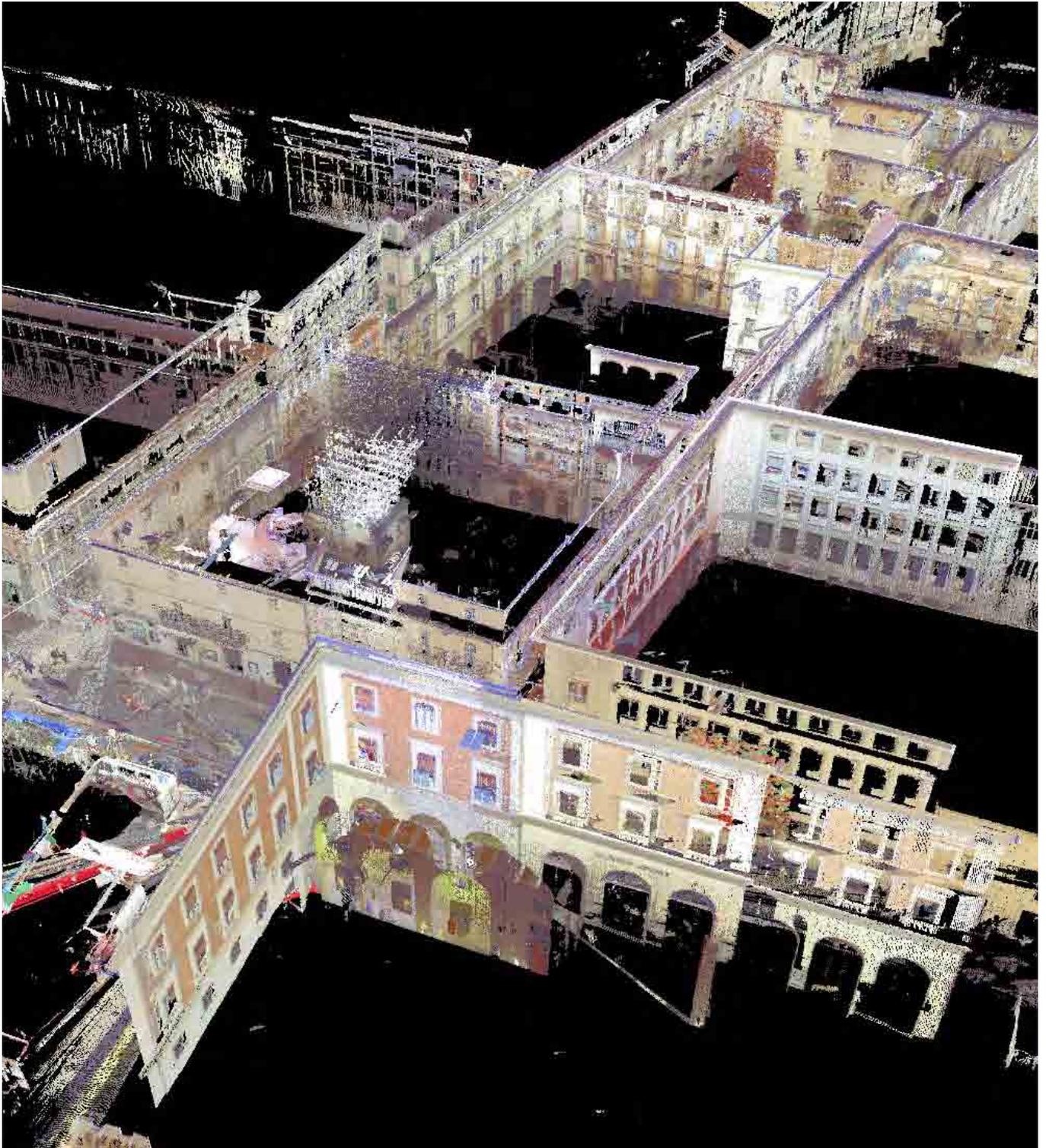


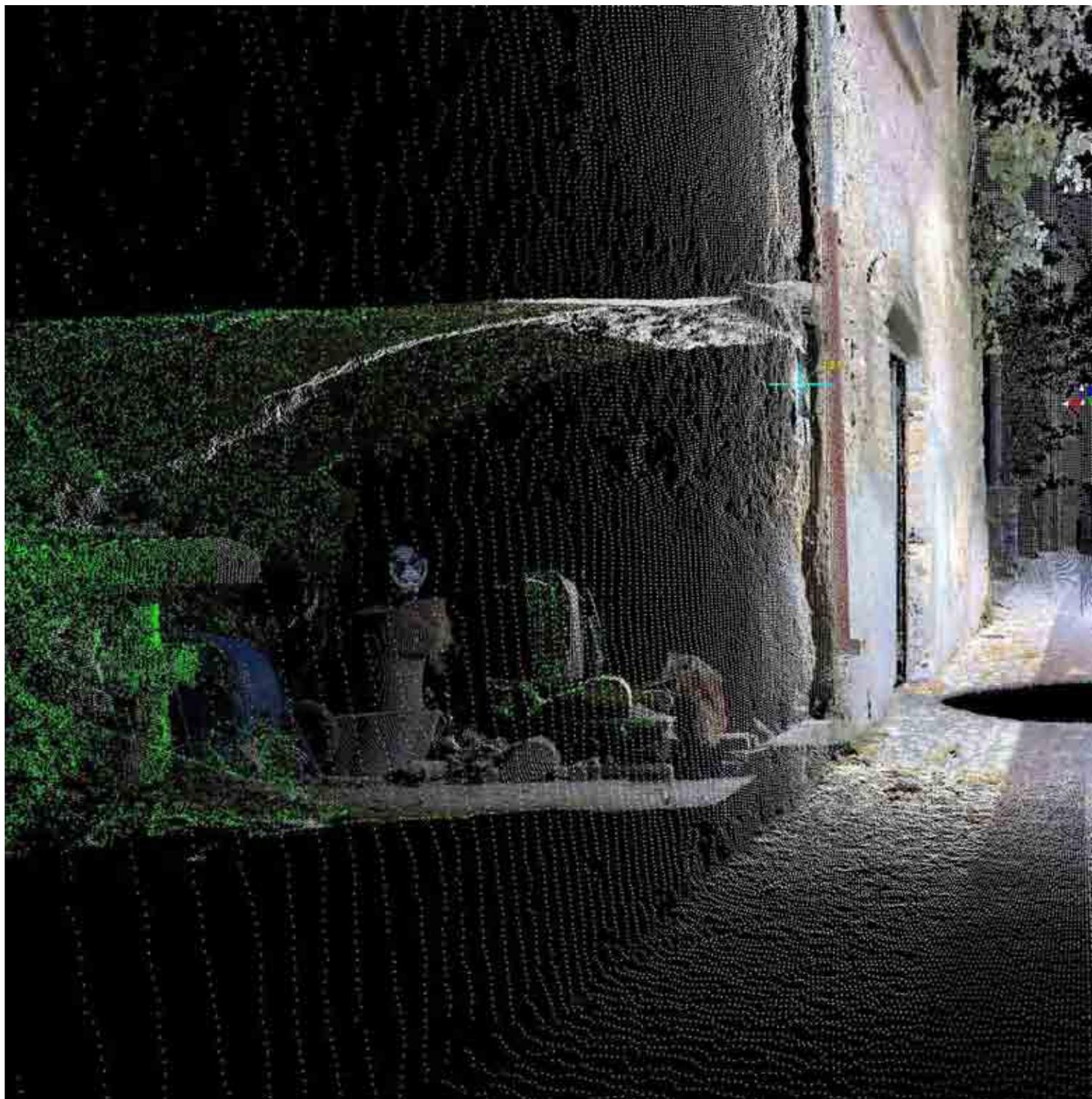
*Le scansioni laser negli ambienti interni vengono effettuate dove non sono presenti strutture per la messa in sicurezza che altrimenti disturberebbero l'acquisizione dei dati. I vani che non vengono rilevati digitalmente sono integrati successivamente mediante rilievo diretto.*













### 2.2.2 Rilievo diretto, una delle opportunità per restituire le parti occluse

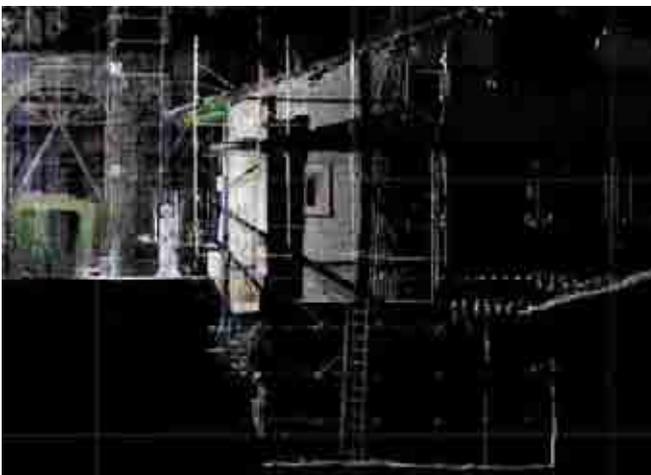
Il rilievo diretto può configurarsi, in determinate situazioni e con opportuni accorgimenti, una valida integrazione a quello strumentale, eseguito con attrezzature che prevedono la possibilità da parte dell'operatore di raggiungere con strumentazioni idonee l'elemento da rilevare, viene di solito impiegato per integrare la misura degli elementi non raggiungibili dai laser scanner<sup>18</sup>. In un ambiente dove la presenza di strutture di messa in sicurezza è particolarmente invadente, questa occlude porzioni significative delle superfici proprie all'architettura del manufatto.

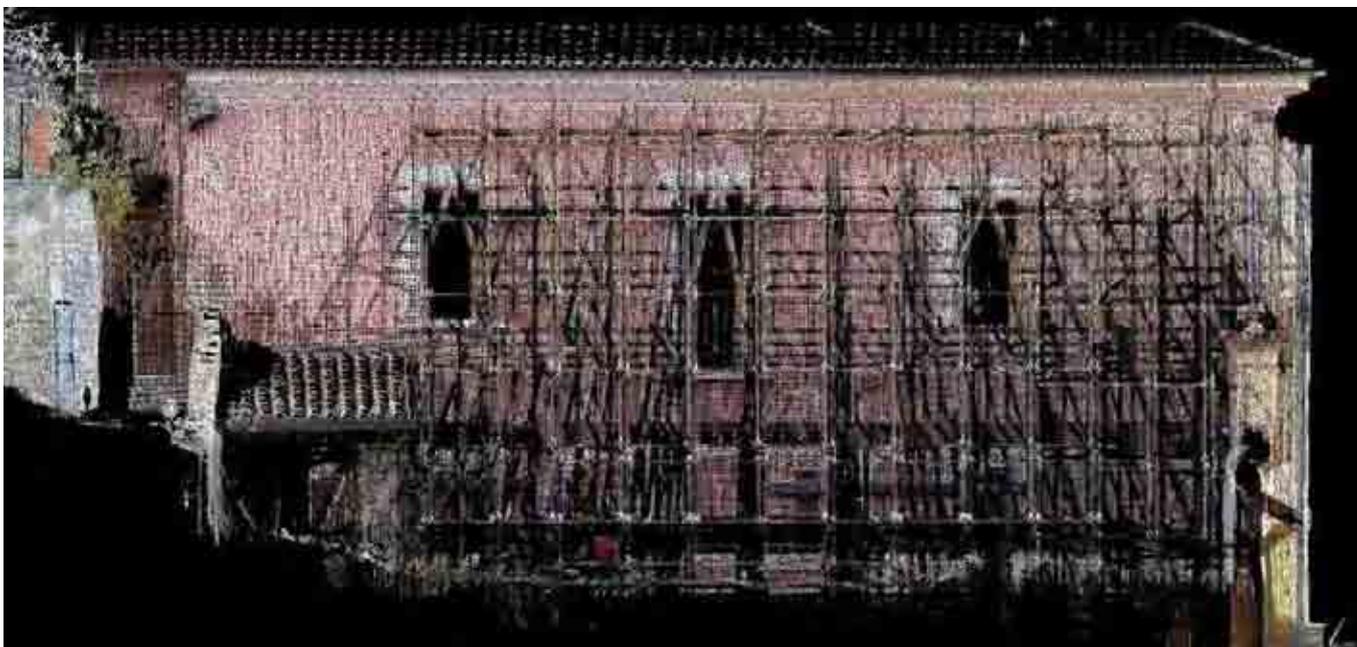
Ognuno di questi elementi, durante una scansione con laser scanner, produrrebbe un cono d'ombra<sup>19</sup> dove l'assenza di dato, sommata a quella prodotta dagli altri elementi presenti, risulterebbe troppo compromettente per l'individuazione delle geometrie reali dell'edificio. Molto spesso le strutture preposte alla messa in sicurezza di questi edifici, sia esternamente che internamente, si interpongono al rilievo laser scanner come ostacoli per una completa lettura di numerosi ambienti interni e di elementi architettonici propri alla struttura stessa, i numerosi puntellamenti e le centine in legno di sostegno alle volte lesionate e appoggiate su tavolati, occludono gran parte dei soffitti, creando coni d'ombra proiettati dal laser sulle superfici da rilevare e lasciando vaste zone della nuvola di punti tridimensionale prive di dato.

Nel caso del centro storico di L'Aquila la presenza eccessiva di queste strutture provvisorie e nello specifico la messa in sicurezza particolarmente intensiva degli interni di moltissimi edifici è stata eseguita senza idonee accortezze e soprattutto senza una previsione di riutilizzo per le attività di ricostruzione o per quelle di monitoraggio e di rilievo, pertanto il rilievo diretto è stato impiegato come metodologia di acquisizione dati per la maggior parte degli interni degli aggregati rilevati e oggetti di questo studio. La possibilità del rilevatore di discretizzare l'ambiente

*Nelle foto in questa e nella pagina successiva è possibile vedere come, le opere provvisorie di puntellamento, per la messa in sicurezza degli interni e degli esterni di aggregati urbani nella "zona rossa" del centro storico di L'Aquila, rendono complesse le operazioni di rilievo laser scanner. Le occlusioni al dato morfologico nelle nuvole di punti relative all'architettura rilevata, determinano l'esigenza di integrare con altre metodologie di rilievo la lettura di tali porzioni.*







*In queste immagini (snapshot) della nuvola di punti relativa al fronte di un aggregato rilevato nel centro storico di L'Aquila è possibile vedere come ogni singolo elemento delle strutture di messa in sicurezza crei un cono d'ombra interponendosi fra l'oggetto architettonico da rilevare ed il raggio laser. Il passaggio del laser su questi elementi durante la scansione li proietta sulle superfici da rilevare producendo lacune nella maglia dei punti che disturbano l'individuazione, in fase di restituzione grafica, della morfologia reale di alcune porzioni del complesso architettonico.*

sintetizzandone i punti e le linee fondamentali a descriverlo in un eidotipo, fa ancora parte delle attività intelligenti che non possono essere rimandate agli strumenti. Individuando strategicamente un sistema di trilaterazioni e quadrilaterazioni che fissino sulla carta e quindi nello spazio la morfologia dell'ambiente da rilevare, si possono acquisire le misure, secondo un piano di riferimento, con gli strumenti tradizionali del rilievo diretto, quali: fettuccia metrica, varie tipologie di metri, a nastro a stecca e distanziometri laser.

Anche gli elementi di messa in sicurezza come quelli per puntellamenti, che per il rilievo strumentale rappresentano degli ostacoli, possono risultare utili punti di riferimento per misurazioni dirette basate su l'individuazione di vertici da trilaterare.

Il rilievo diretto dei singoli ambienti viene vincolato al



Il rilievo diretto si presenta come una delle opportunità per la misurazione delle parti o degli ambienti occlusi. Laddove sarebbe troppo laborioso acquisire i dati con laser scanner, a causa della presenza di numerosi elementi estranei all'architettura da rilevare, il disegno a mano, nella produzione di eidotipi di rilievo diretto, offre la possibilità di discretizzare l'ambiente riconducendolo alle linee essenziali per descriverlo. Gli strumenti del rilievo diretto garantiscono l'acquisizione delle misure nella creazione di un sistema di quadrilaterazioni riferite ad un piano orizzontale ideale vengono integrate al rilievo digitale topograficamente.

rilievo generale tramite la rete topografica di appoggio. Individuando infatti alcuni punti dell'architettura reale alla quota del piano ideale di riferimento e rilevandoli con la stazione totale come punti di dettaglio, questi rappresentano i capisaldi ai quali riferire il sistema di triangolazioni e quadrilaterazioni delle misure dirette, come gli spigoli delle aperture e alcuni angoli dei vani interni visibili dall'esterno dallo strumento topografico.

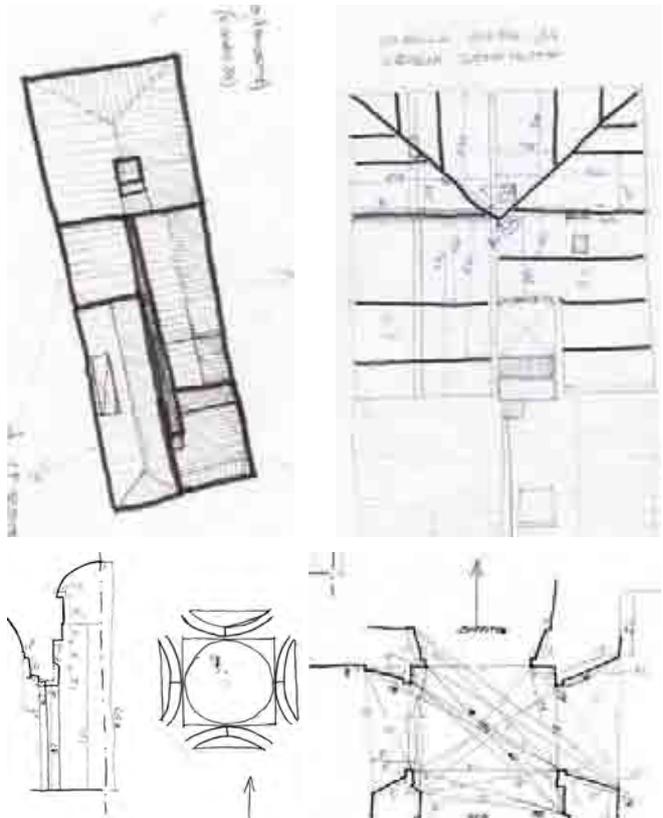
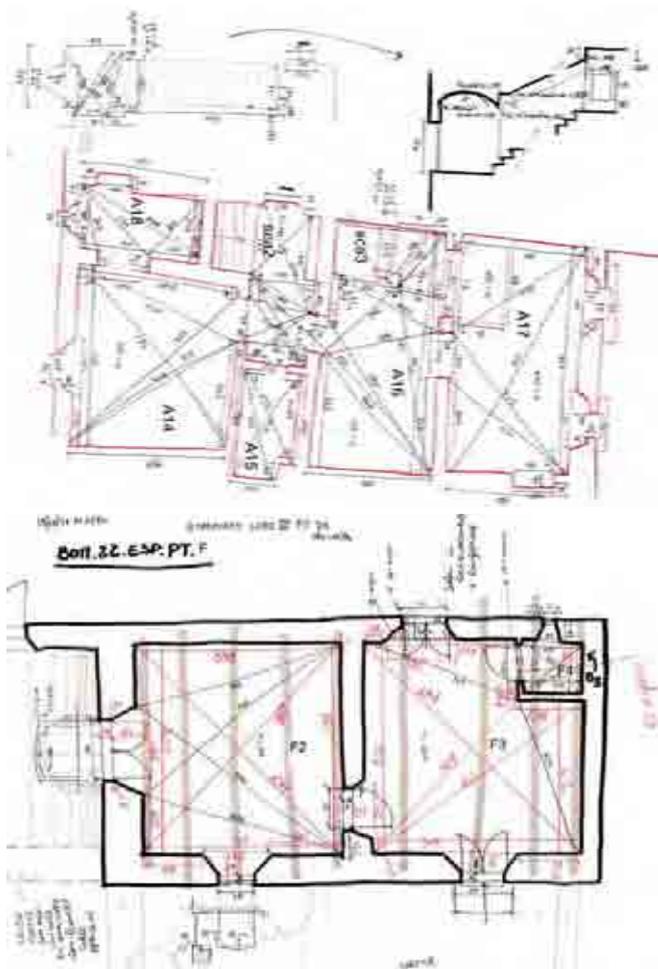
Il materiale grafico prodotto in sito durante il rilievo



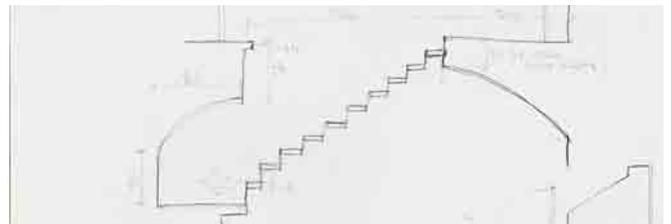
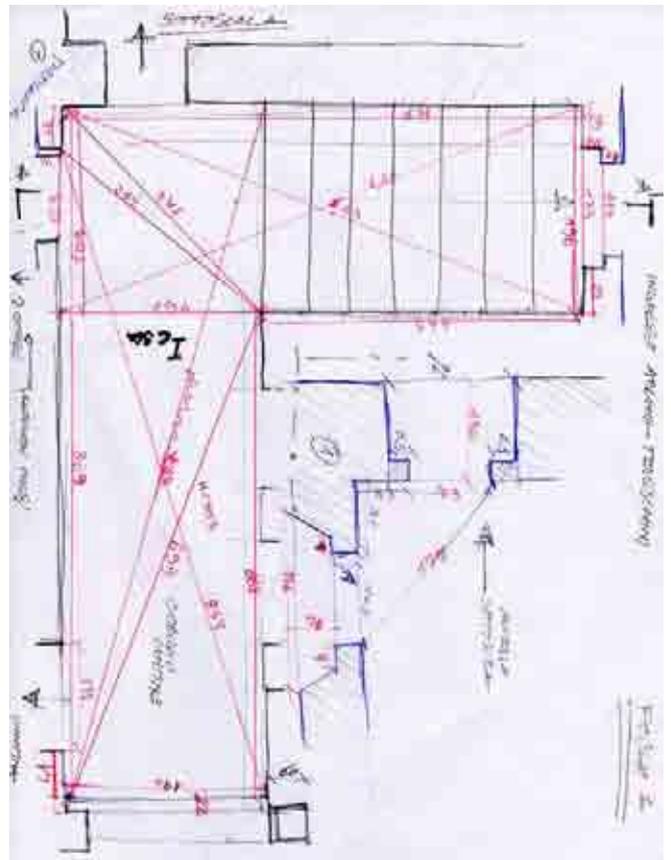
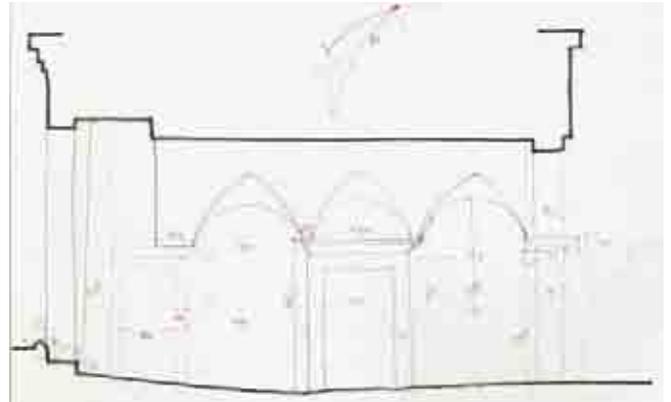
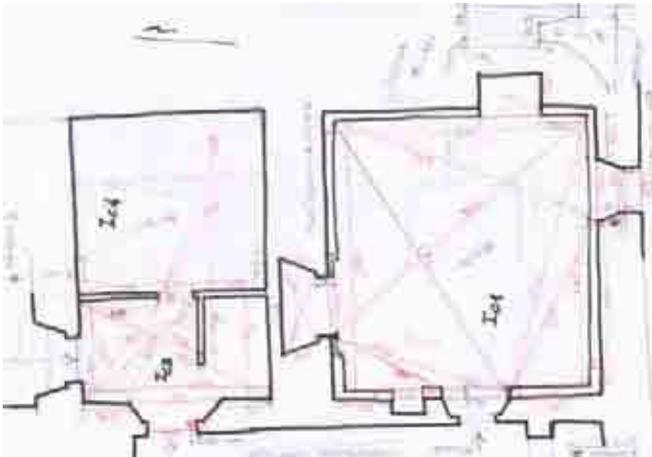
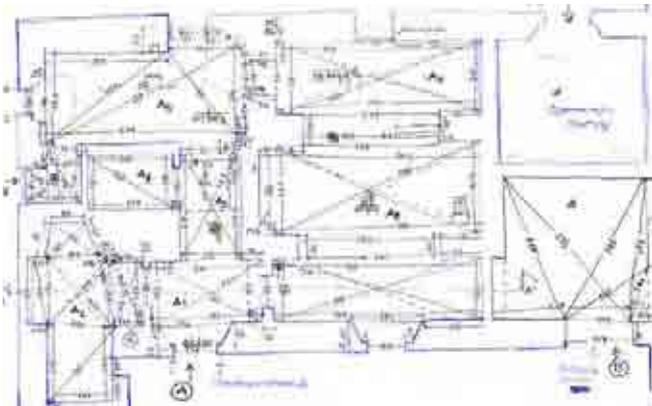
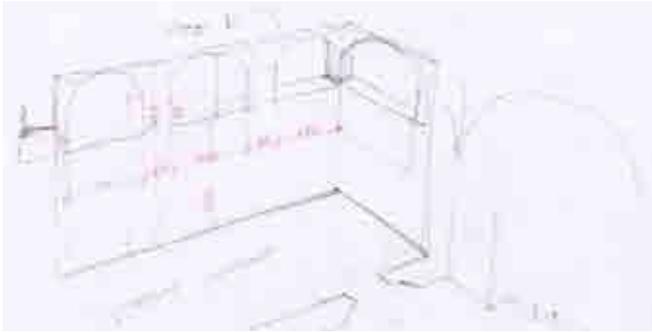
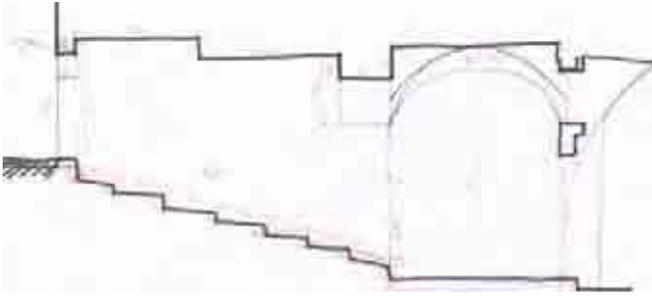
Alcuni degli strumenti del rilievo diretto, dall'alto: squadra da muratore, metro a stecca, distanziometro laser, rotella metrica, metro a nastro, livella torica, filo a piombo.

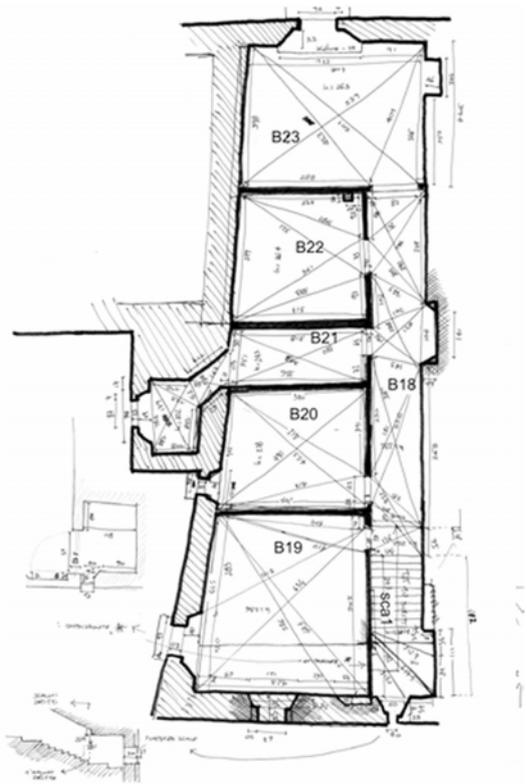
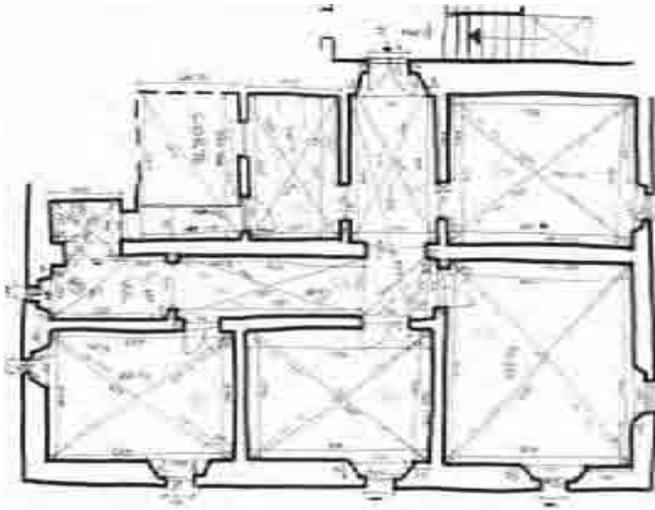
diretto, viene digitalizzato e nominato secondo un sistema alfanumerico che individua tutti gli ambienti che costituiscono l'aggregato, riferendo ad ogni ambiente gli eidotipi relativi e la campagna fotografica relativa. Questa documentazione, nelle componenti primarie delle misurazioni dirette, risulta quindi parte integrante del data base prodotto secondo un rigoroso criterio di archiviazione dei dati e indispensabile per le elaborazioni di restituzione grafica. I disegni contengono le "misure rilevate originali" dei singoli elementi che successivamente vengono ottimizzate tramite compensazione in fase di restituzione CAD degli elaborati planimetrici, ma che possono essere consultate nella versione originale grazie alla struttura della banca dati.

Per "rilievo diretto" si intende anche l'analisi diretta



*In questa e nella pagina successiva: alcuni esempi di eidotipi di rilievo diretto prodotti durante le campagne di rilevamento condotte sugli aggregati in muratura nella "zona rossa" del centro storico di L'Aquila. Gli ambienti rilevati con questa metodologia sono stati quelli nei quali era più conveniente, in termini di tempo, costi e maggior leggerezza del data base creato dal laser scanner; acquisire i dati metrici in modo diretto. In questi disegni è possibile vedere il sistema di trilaterazioni e quadrilaterazioni impostato dalle misurazioni dirette sui punti notevoli dell'architettura da rilevare.*



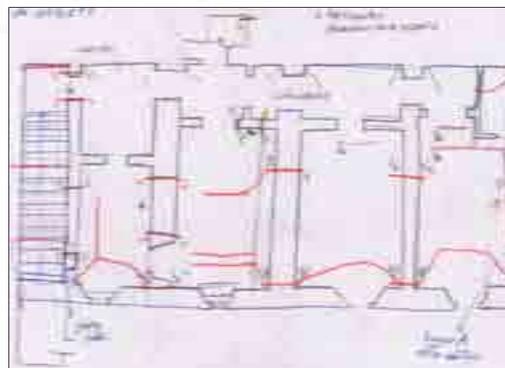
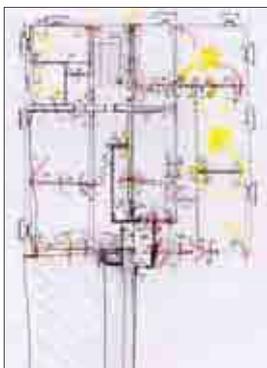
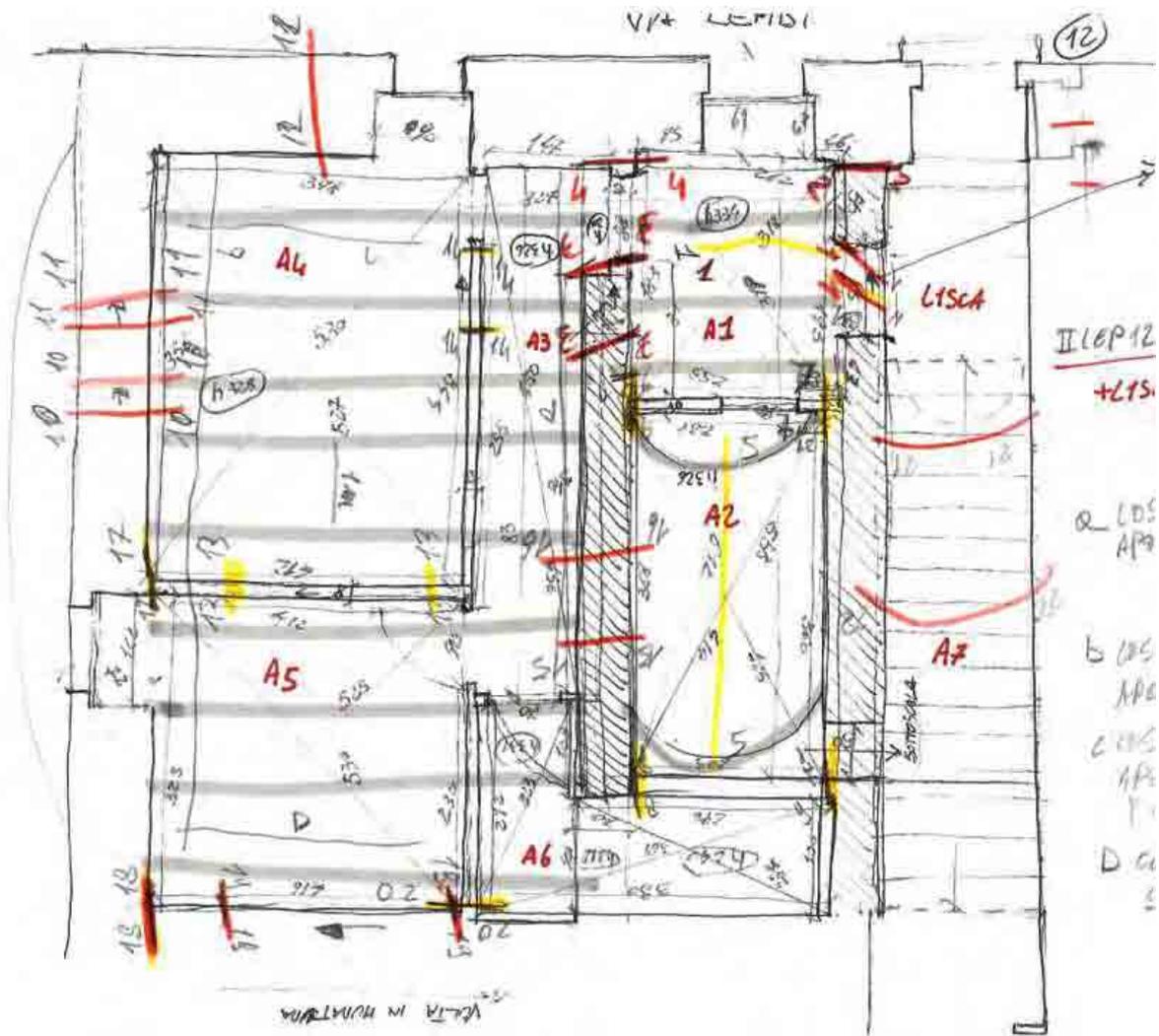


Alcuni esempi di eidotipi di rilievo diretto prodotti durante le campagne di rilevamento condotte sugli aggregati in muratura nella "zona rossa" del centro storico di L'Aquila

effettuata in sito, non solo degli aspetti quantitativi dimensionali degli ambienti e degli elementi oggetto del rilievo a integrazione di quello strumentale, rappresentati dagli eidotipi quotati, ma anche di tutte le indicazioni da riferire all'analisi strutturale e diagnostica dell'aggregato. Secondo legende predefinite ed una simbologia standardizzata, vanno infatti annotate su altri eidotipi di riferimento, privi delle quote lineari delle trilaterazioni, le informazioni e annotazioni relative ai materiali e alle tipologie costruttive che compongono le murature e gli orizzontamenti, ma anche tutte quelle relative ai dissesti, annotando e numerando le lesioni per individuarne la continuità e l'andamento con indicazione anche dei crolli e deformazioni plastiche.

Questo tipo di analisi diretta viene effettuata su tutto l'aggregato sia internamente che esternamente e deve produrre una serie di disegni tematici, che individuino appunto tipologie strutturali e dissesti, che, anch'essi, una volta digitalizzati e archiviati, andranno a costituire parte della banca dati di rilievo. Queste informazioni schematizzate sui disegni prodotti in sito, incrociate a quelle dimensionali date dal rilievo architettonico integrato dalle varie metodologie, daranno luogo alla produzione del rilievo strutturale e del rilievo diagnostico, elaborati fondamentali ad individuare la meccanica generale dei dissesti innescata dall'evento sismico e di fondamentale supporto al progetto di adeguamento sismico e restauro.





In queste immagini: sulla base degli eidotipi di rilievo diretto vengono individuati i dissesti. Con matite colorate vengono segnalate le lesioni numerandole, viene inoltre indicato se siano su murature portanti o tramezzi, vengono evidenziate le lesioni presenti sugli orizzontamenti e sui prospetti, i crolli e le deformazioni plastiche.

### 2.2.3 Documentazione fotografica

Precedentemente è stata descritta una prima campagna fotografica di inquadramento che servisse alla definizione del progetto di rilievo e alle analisi preliminari.

Il successivo livello di indagine, supportato dal materiale fotografico, deve invece documentare specifici aspetti degli ambienti e degli elementi dell'aggregato e scendere sempre più nel dettaglio dividendo e specializzando le informazioni. La documentazione fotografica è parte integrante della banca dati di rilievo e quindi viene riferita nella struttura del data base secondo un sistema di cartelle e sottocartelle nominate con codici alfanumerici relativi agli ambienti dell'aggregato per descrivere diversi gradi di approfondimento. La prima divisione nella documentazione fotografica va fatta fra esterni ed interni dell'aggregato urbano.

Per quanto riguarda la documentazione fotografica degli esterni di un aggregato sul quale è stato effettuato un rilievo digitale, va considerato che un primo dato fotografico utile è quello relativo alle fotografie orbitali o equirettangolari<sup>20</sup>, effettuate dalle stazioni di ripresa laser scanner. Le immagini orbitali prodotte vengono visualizzate sullo schermo come in una realtà tridimensionale, utilizzando un software di visualizzazione che spalma il collage dei vari scatti, effettuati a 360° dallo stesso punto di ripresa laser scanner, all'interno di un ambiente sferico e permettendone una fruizione virtuale<sup>21</sup>.

Nel caso in cui non si usino laser scanner dotati di telecamera o camera fotografica integrata, le immagini usate per creare questo tipo di visualizzazione vengono riprese dalla stessa posizione del laser scanner sfruttando un braccetto meccanico da sostituire alla testa dello strumento laser, viene posizionato sopra il tre piedi una volta terminata la scansione, e gli viene fissata sopra la macchina fotografica, allineando l'obiettivo alla stessa altezza del laser (alcuni modelli di laser scanner hanno una macchina fotografica digitale integrata ma non sempre raggiunge la risoluzione in mega pixel delle reflex utilizzate per queste operazioni). La serie di scatti effettuati ruotando ogni 60° o 30°, a seconda dell'obiettivo utilizzato, con impostazione ottica *fishaye* viene poi elaborata dai vari *software* per la creazione delle fotografie equirettangolari.

Questa ed altre elaborazioni oltre ad essere utilizzate per la suddetta visualizzazione orbitale, permettono di caricare le immagini fotografiche sulla nuvola di punti del rilievo laser scanner secondo un criterio di associazione fra pixel e punti della maglia della nuvola. In questo modo è possibile avere una colorazione del dato laser scanner corrispondente al reale e non più secondo il valore di riflettanza dei materiali.

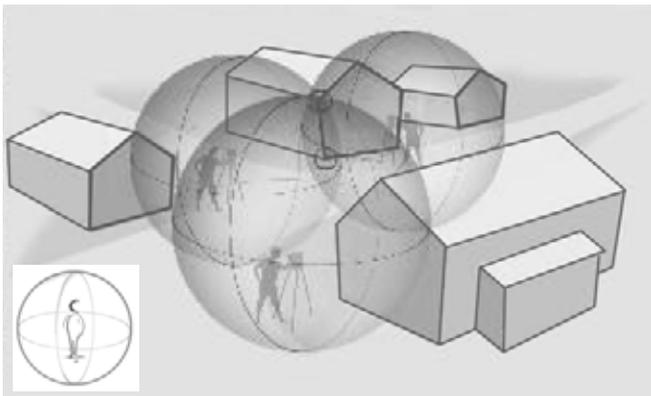
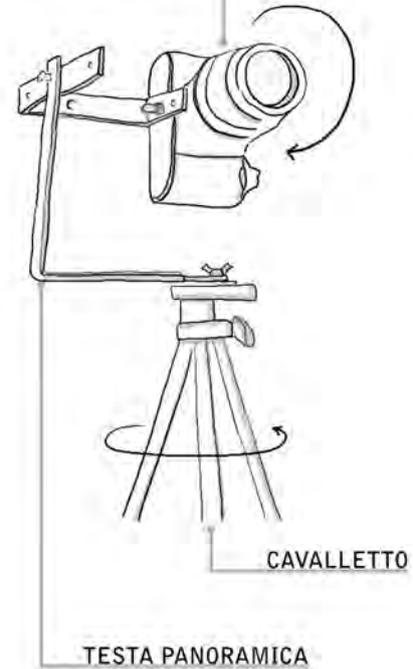
Con un dato fotografico così preciso e ad alta risoluzione come quello delle foto orbitali, e la possibilità di visualizzare la nuvola di punti con i colori reali, la campagna fotografica di documentazione degli esterni deve essere quindi integrativa e specifica.



Nelle foto sopra: l'aggregato "Capopiazza" che si affaccia su Piazza Duomo nel centro storico di L'Aquila dopo il sisma del 2009.

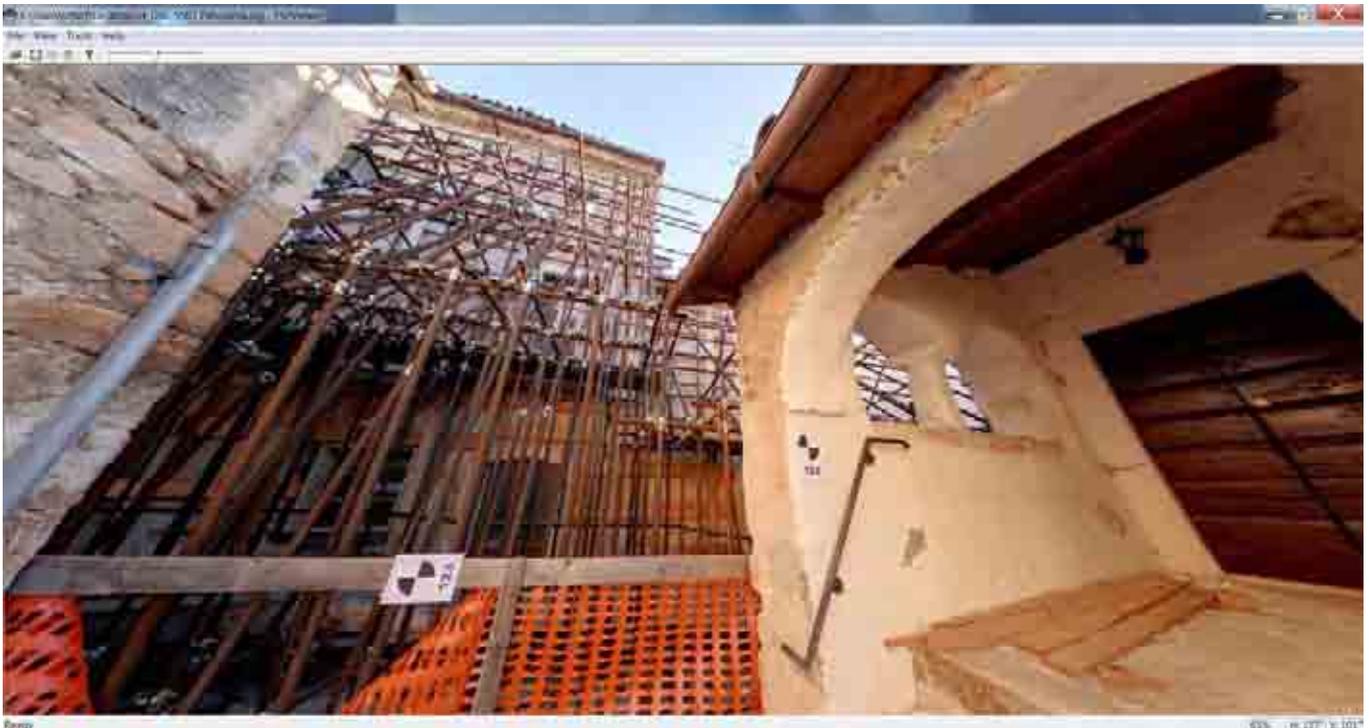


MACCHINA FOTOGRAFICA  
Canon EOS 500D



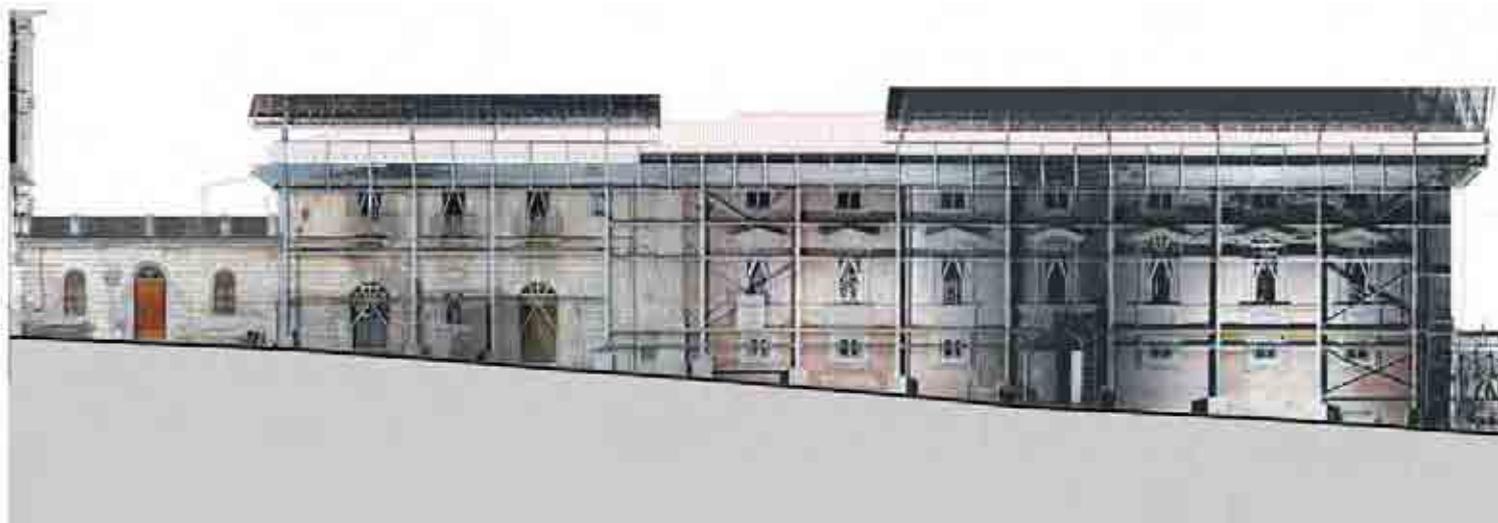
In queste immagini viene illustrato il posizionamento della macchina fotografica sul tre piedi utilizzato come supporto al laser scanner durante una scansione. L'allineamento dell'obiettivo fotografico con il punto di emissione del raggio laser permette di scattare fotografie che vengono successivamente associate alla nuvola di punti relativa a quella determinata stazione di rilevamento. Viene applicato un braccetto metallico regolabile che ha una base adattabile a quella livellata che blocca lo strumento lasere al tre piedi e sul quale viene fissata la reflex. La macchina fotografica deve effettuare vari scatti ruotando su se stessa per coprire tutto l'ambiente da rilevare a 360°, questi possono essere fatti ogni 60° o 30° a seconda dell'obiettivo montato e due verso l'alto ognuno dei quali a 180° rispetto all'altro. Queste foto servono alla creazione delle fotografie equirettangolari o orbitali che una volta caricate sulle nuvole di punti relative possono colorizzarle con i colori reali acquisiti fotograficamente. La fruizione delle singole foto orbitali è resa possibile dal software di gestione di queste immagini che spalma il collage fotografico dei vari scatti in un ambiente virtuale sferico che ha per centro il punto dal quale sono state scattate le singole foto.





*Nelle immagini della pagina precedente viene illustrato il processo di creazione della fotografia equirettangolare: le singole fotografie, (vedi le otto foto in alto) scattate con ottica fisheye ogni 60° dallo stesso punto di ripresa allineate con lo strumento laser scanner, vengono successivamente assemblate per via informatica in un foto collage (vedi immagine in basso) da aprire con un software dedicato alla gestione e all'utilizzo di queste immagini.*

*In questa pagina: l'immagine in alto è riferita alla visualizzazione della foto orbitale nell'ambiente virtuale di gestione sferico; in basso viene evidenziata la possibilità di investigare, all'interno di tale ambiente, ogni dettaglio fotografato con qualità ad alta risoluzione.*



*Nell'immagine in alto: la orthoimage del prospetto relativo a Piazza San Marciano di un aggregato rilevato nella "zona rossa" del centro storico di L'Aquila (Palazzo Rustici). È possibile estrapolare, dalla nuvola di punti, porzioni dell'aggregato rilevato relative per esempio ai prospetti e visualizzarli ortogonalmente su di un piano sezionante inserito nel data base tridimensionale. Grazie all'inserimento nella nuvola di punti delle foto orbitali, queste immagini possono assumere i colori reali dei materiali, e, anche se non raggiungono la risoluzione fotografica che può essere offerta dalla realizzazione di un fotopiano, permettono comunque una lettura degli aspetti materici che caratterizzano quel determinato elemento. La causa che rende le immagini ottenute dalla nuvola di punti colorata più "sgranate", rispetto alle fotografie originali, è dovuta dalla densità più o meno alta nella maglia tridimensionale dei punti delle superfici scansionate.*



*Nell'immagine sopra e in quella della pagina precedente: alcune viste delle nuvole di punti relative ad aggregati rilevati nel centro storico di L'Aquila, colorizzate dalle fotografie orbitali acquisite dagli stessi punti di rilevamento digitale, in corrispondenza della testa ruotante del laser scanner. La loro visualizzazione è possibile nell'ambiente di gestione tridimensionale del software dedicato Cyclone Leica Geosystems.*

Visto che i rapporti fra pieni e vuoti e la distribuzione volumetrica generale è stata fotografata durante le analisi preliminari, è opportuno focalizzare ora l'attenzione nel fotografare elementi che saranno di supporto alla successiva fase di restituzione grafica.

Nella documentazione fotografica dei prospetti esterni di un aggregato urbano, è utile partire da fotografie a distanza o anche realizzate in forte scorcio prospettico, nel caso di fronti affacciati su vicoli stretti, che rappresentino l'andamento generale del prospetto, da archiviare quindi nella banca dati con codici che facciano riferimento a strade o piazze su cui si affacciano i fronti.

Il successivo livello di approfondimento prevede un servizio fotografico su porzioni di prospetto che produca

immagini il più possibilmente frontali, cercando di coprire tutta la superficie del fronte, se si presenta la possibilità, anche sfruttando visuali come quelle offerte affacciandosi ai piani alti degli edifici circostanti o da eventuali ponteggi, cercando di produrre delle fotografie utili alla fotomosaicatura per la creazione di ortofotopiani<sup>22</sup>. Successivamente si realizzano fotografie che inquadrano i dettagli architettonici, riprendendo i singoli elementi come porte e finestre, le decorazioni, le variazioni materiche ed in particolar modo quelle rilevanze architettoniche che potrebbero attribuire maggior pregio all'aggregato. La consultazione di quest'ultime è spesso utile nell'interpretazione grafica delle scansioni laser in fase di restituzione.



*Nelle foto sopra: in alto, un inquadramento generale dei fronti dell'aggregato, in basso foto relative a porzioni di un prospetto realizzate frontalmente per l'eventuale realizzazione di fotopiani.*



*In questa foto viene evidenziata l'esigenza, ai fini della successiva restituzione grafica, di documentare dettagli architettonici, costruttivi, o riferiti a dissesti, che sono occlusi al rilievo strumentale ad esempio da elementi per la messa in sicurezza.*



*Nell'immagine in alto è possibile vedere come da una foto aerea sia individuabile l'andamento delle falde di copertura di un aggregato urbano. Sono inoltre rintracciabili elementi che lo costituiscono e non visibili dal piano stradale.*



*Nella foto a sinistra e in quella sopra: alcune viste dei tetti di un aggregato rilevato nella "zona rossa" del centro storico di L'Aquila. Quando non è possibile rilevare strumentalmente o in modo diretto i sistemi di copertura, è comunque importante documentarli fotograficamente.*

L'ultimo grado di documentazione fotografica dei fronti è riferito alla documentazione dei dissesti, quindi alla catalogazione fotografica di lesioni, deformazioni e crolli visibili dall'esterno, e comunque di tutti quei danni e degradi visibili da considerare influenti nella meccanica del dissesto generale.

Se sono stati realizzati saggi alle fondazioni e alle murature andranno anch'essi fotografati e archiviati nella banca dati relativa alle analisi sulle tipologie strutturali e costruttive. Anche per gli ambienti interni viene seguito lo stesso criterio di documentazione, partendo da inquadramenti generali dei

vari vani, con scatti panoramici effettuati ad esempio dai quattro angoli della stanza, per poi concentrarsi sui dettagli seguendo una divisione fra fotografie che mettano in luce elementi architettonici e decorativi, elementi strutturali e materici, dissesti e saggi. La campagna fotografica in generale deve essere massiva e cercare di non trascurare nessun dettaglio per garantire un importante supporto alle fasi di postproduzione e restituzione grafica e quindi organizzata da essere facilmente consultabile in qualsiasi momento riferendosi ad ogni parte.



*La documentazione fotografica deve anche essere riferita all'individuazione dei dissesti presenti. Nella foto in alto a sinistra: il distaccamento di un angolo di "Palazzo Campione" nel centro storico di L'Aquila. Nelle altre foto rispettivamente: il crollo di una volta a botte in mattoni in foglio, una lesione passante su muratura, il crollo di una muratura interna.*



*Nelle foto sopra: il crollo di una volta a padiglione in mattoni in foglio, a destra, il crollo di un solaio.*

*Nelle foto in basso: la documentazione dei dissesti secondo l'individuazione di lesioni in corrispondenza di volte a padiglione eseguite con tecnica a "incanniccato", su volte a crociera, lesioni diffuse sulle murature e un crollo della muratura in corrispondenza di una canna fumaria.*





*La documentazione fotografica, riferita al rilievo strutturale, deve prevedere l'individuazione delle caratteristiche di murature e fondazioni, vengono fotografati i saggi puntuali che sono stati effettuati su queste strutture e archiviati fra il materiale fotografico, secondo la numerazione assegnata ai singoli saggi durante la loro esecuzione, nella struttura del data base del rilievo integrato.*



*Nelle immagini sopra: è proposta la possibilità di calibrare le fotografie, scattate più frontalmente possibile ai fronti di un aggregato, sulle orthoimage realizzate dalla nuvola di punti. Questa operazione permette di creare, attraverso fotomosaicatura, ortofotopiani di precisione anche senza l'ausilio della fotogrammetria.*



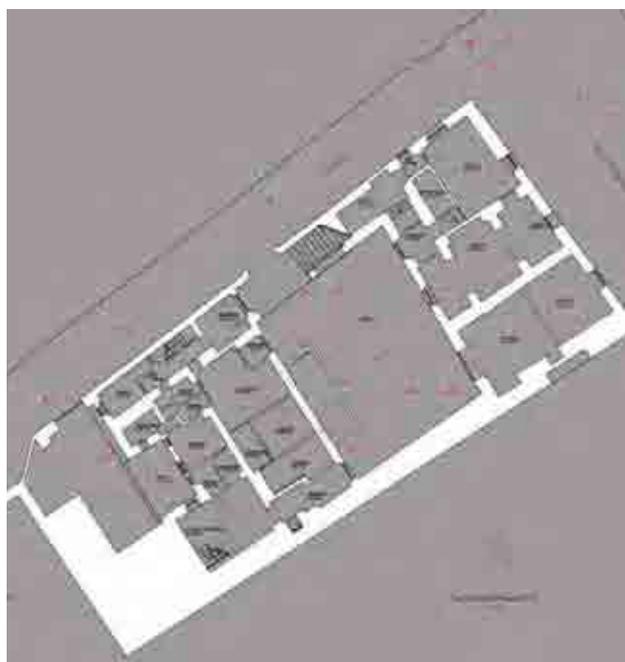
*Nelle immagini sotto: la documentazione fotografica degli interni deve prevedere inquadramenti generali dei vani e scendere nei dettagli degli elementi architettonici e strutturali per la loro definizione in fase di restituzione grafica.*



Spesso le operazioni di rilievo in sito possono durare alcuni giorni ed è quindi importante raccogliere più dati possibile relativi allo stato di fatto di un aggregato nel tempo a disposizione. Come per le attività di rilievo strumentale anche una corretta documentazione fotografica deve avvalersi di una programmazione delle riprese fotografiche secondo i vari livelli di analisi, ma soprattutto va effettuata prevedendone la successiva organizzazione nel sistema di cartelle e sottocartelle da riferire ai vari ambienti e fronti dell'Aggregato nella struttura della banca dati.



A tal fine è importante allegare alla documentazione fotografica planimetrie di riferimento sulle quali riportare la posizione dei punti di vista riferiti ai vari scatti fotografici nominati secondo una corrispondenza con l'immagine relativa ed il loro orientamento indicandone il verso del cono ottico di ripresa. Ai fini di una documentazione per la redazione di una Relazione Tecnica di Rilievo, è importante fotografare i momenti salienti delle attività operative durante lo svolgimento dei rilievi strumentali e diretti.



FrC\_3



FrC\_1



FrC\_2



FrC\_4



FrE\_2



FrE\_3



Et\_5



FrS\_5



FrC\_7



FrC\_8



FrE\_1



FrE\_2



FrE\_3



FrE\_4



FrS\_2



FrS\_3

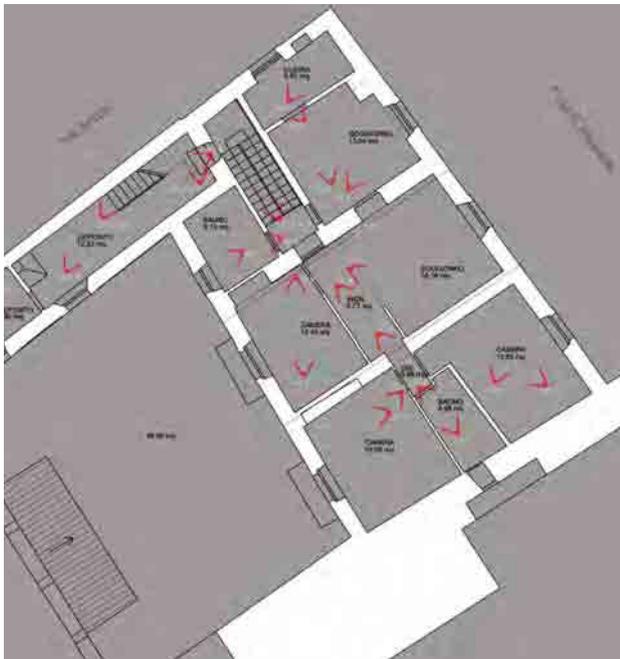


FrS\_4



FrS\_5

La documentazione fotografica, riferita agli esterni dell'aggregato rilevato, viene archiviata secondo il riferimento delle singole foto con i punti di vista dei relativi scatti indicati con coni ottici sulla planimetria di riferimento.



H9\_v



IH1\_x



H1\_y



H2\_x



H2\_y



H3\_x



H4\_y



H5\_x



H5\_y



H2\_x



H2\_y



H3\_x



H10\_y



H11\_x



H11\_y



SCA H1\_x



SCA H1\_y



SCA H2\_x



E8\_y



E9\_x



E9\_y



E10\_x



E11\_x



E11\_y

*La documentazione fotografica, riferita agli ambienti interni dell'aggregato rilevato, viene archiviata secondo il riferimento delle singole foto con i punti di vista dei relativi scatti indicati con coni ottici sulla planimetria di riferimento.*

**2.2.4 Postproduzione: registrazione dei rilievi e costituzione di una banca dati digitalizzata**

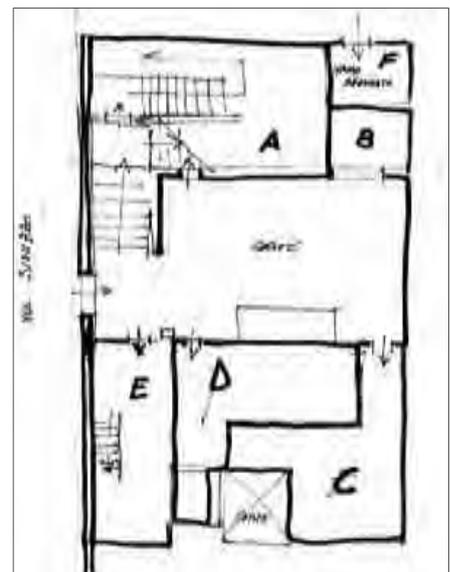
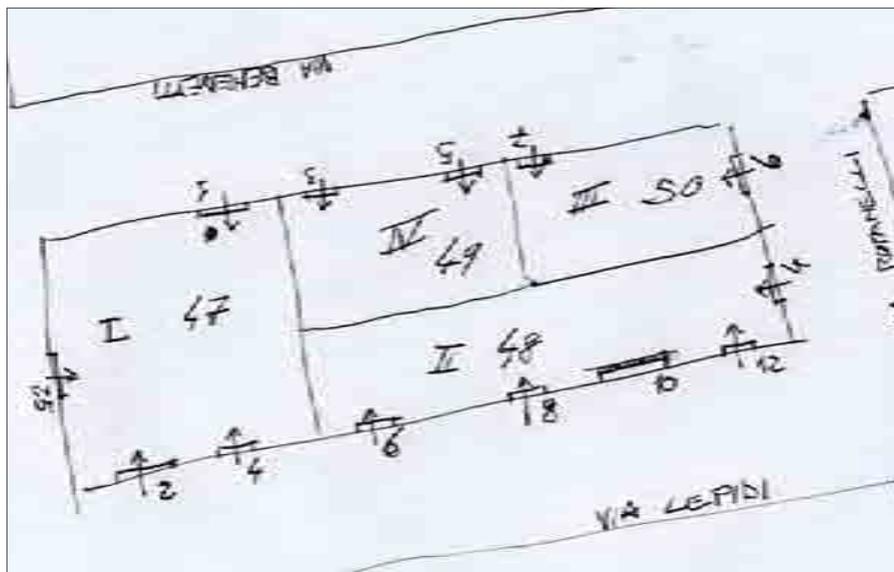
Attraverso tutte le fasi di acquisizione del rilievo integrato precedentemente descritte vengono prodotte elaborazioni intermedie, singole scansioni, eidotipi per il rilievo diretto e strumentale che documentano le procedure operative e contengono i dati originali di rilievo.

Tutti i documenti riprodotti in formato digitale vanno a costituire la “banca dati del rilievo” che, una volta completata ed organizzata tramite un apposito indice degli argomenti, dovrà permettere la consultazione di tutte le informazioni contenute con la finalità di verifica dei dati sorgente, o del riutilizzo parziale o totale per la redazione di altre versioni di elaborazioni e l’implementazione di ulteriori restituzioni finali 2D e dei modelli tridimensionali. Questo consente di potenziare la gestione dei dati di rilievo del fabbricato, con particolare riferimento allo studio dello stato di conservazione o di degrado ed al successivo eventuale monitoraggio.

Come precedentemente accennato la struttura della banca dati è costituita da cartelle e sottocartelle divise per tematismi di analisi, questi dati possono poi essere

organizzati in un data base interattivo.

Il processo di archiviazione dei dati relativi ad un aggregato urbano può e deve essere strutturato già dalle prime fasi di analisi preliminare. L’individuazione e la divisione in Unità Strutturali dei fabbricati che compongono l’aggregato in relazione anche ai relativi fronti, fino al conteggio di tutti i vani interni ai vari livelli, già pone dei riferimenti nel codice alfanumerico che si viene formando nell’individuazione di tutti gli elementi costituenti l’aggregato e a cui dover riferire informazioni di vario tipo. Il primo livello di identificazione all’interno del codice è quello dell’aggregato stesso in relazione agli altri aggregati che compongono un determinato ambito del centro storico e che vengono individuati secondo criteri di interventi programmatici dai Piani di Ricostruzione, al quale si aggiunge, alternando numerazioni progressive e lettere, l’individuazione dell’Unità Strutturale, del livello, dell’appartamento fino all’unità minima di catalogazione e cioè il vano. Un codice che collochi il singolo vano e qualsiasi altro elemento dell’aggregato non soltanto topograficamente, ma anche amministrativamente, riferendolo a particelle catastali e unità edilizie.



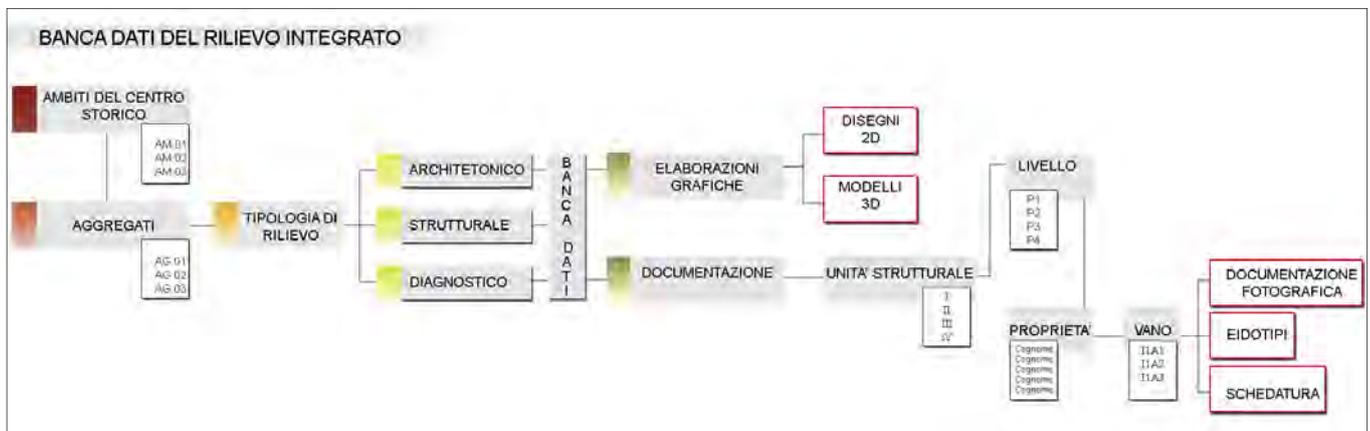
La strutturazione del data base del rilievo integrato per l’archiviazione dei dati acquisiti durante le varie fasi del rilievo, deve essere costituita da un archivio digitale riferito ai vari elaborati che lo compongono secondo codici alfanumerici. La definizione di questi codici deve partire dalla fase preliminare nella quale si individuano le Unità Strutturali che compongono un aggregato e svilupparsi durante la progressiva codifica di tutti gli ambienti presenti all’interno di queste fino all’unità minima costituita dal singolo vano.

Una volta suddiviso l'aggregato in "contenitori" sempre più piccoli coincidenti con i vari livelli di identificazioni sopra citati, vengono riferiti a questi elementi spaziali e strutturali tutta una serie di informazioni derivanti dallo studio e dall'analisi in corso secondo una stratificazione documentaria. Il primo aspetto necessario è quello di avere un controllo dimensionale e morfologico dell'architettura che sia la base tridimensionale affidabile a cui riferire tutto il data base digitale. Una sostanziosa parte della banca dati è quindi dedicata ai dati provenienti dai rilievi strumentali descritti nella fase di acquisizione dati. Come già accennato nel *sottoparagrafo 2.2.1*, dedicato al rilievo laser scanner, il processo di post produzione e di messa a registro di tutte le nuvole di punti dei rilievi laser scanner su base topografica in una unica e completa nuvola di punti di tutto l'aggregato, prevede diverse modalità di realizzazione dipendenti dagli strumenti stessi, dai *software* e dai target utilizzati. I dati originali come le singole scansioni e le monografie dei punti topografici di riferimento e dei dati topografici in formato *.txt* e *.dwg* devono comunque essere sempre recuperabili e consultabili, soprattutto ai fini di un monitoraggio futuro basato sul confronto di dati digitali. Per questo, parallelamente alle procedure di registrazione delle singole scansioni, si deve prevedere la corretta archiviazione di tutti i dati sorgente, permettendo di ripercorrere le fasi di postproduzione dei dati e assicurandone così un maggiore controllo anche ai fini

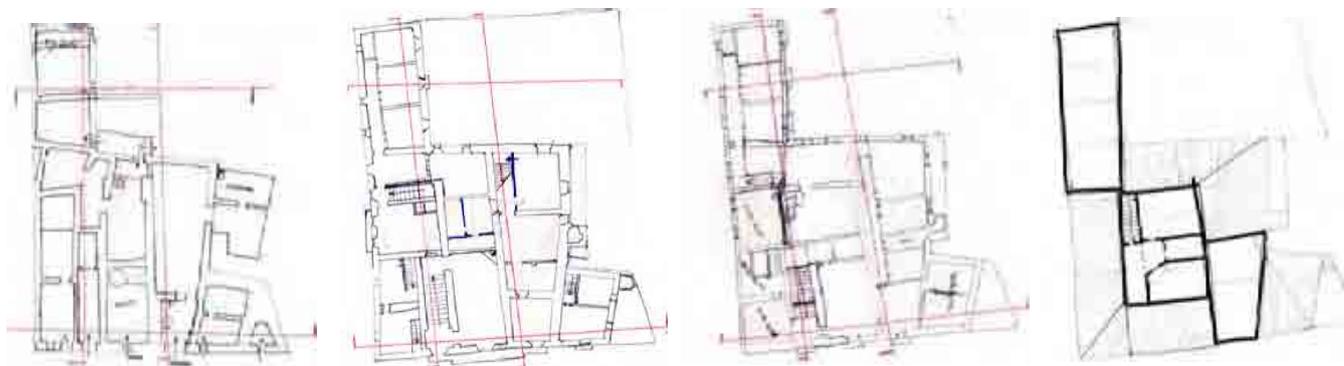
di verifiche e collaudi futuri al rilievo o per eventuali integrazioni.

Tutti gli eidotipi e i disegni di rilievo diretto prodotti in sito costituiscono parte integrante della banca dati dedicata al dimensionamento ed al rilievo dell'architettura. Le misurazioni effettuate con strumenti di rilievo diretto e indicate sugli eidotipi, verranno integrate durante le elaborazioni grafiche 2D e 3D nel processo di vettorializzazione delle sezioni utili alla comprensione ed alla lettura di tutto l'aggregato.

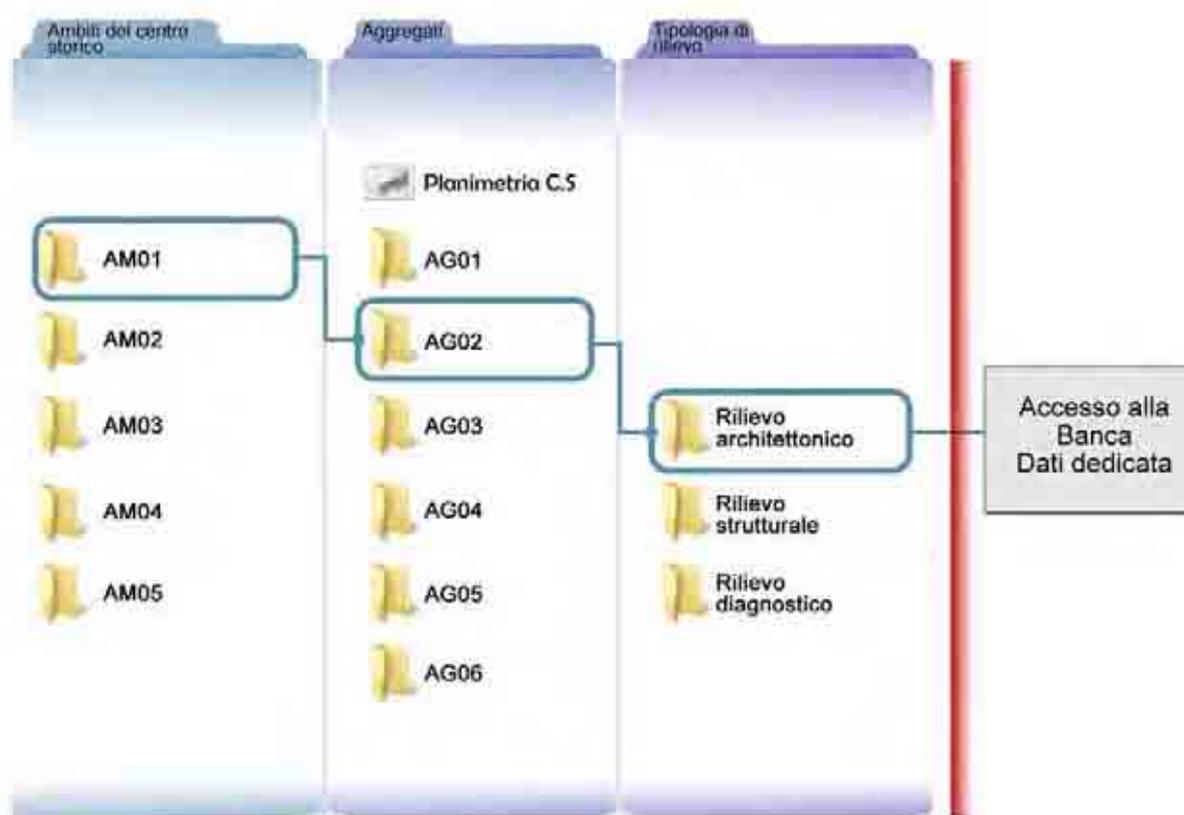
Per la definizione di un affidabile modello tridimensionale che sia in grado di restituire informazioni grafiche necessarie a poter riferire valutazioni strutturali e diagnostiche, è indispensabile la facile consultazione di tutti i dati relativi acquisiti, è quindi, seguendo la struttura della banca dati secondo i codici identificativi, che dovrà essere archiviata anche la documentazione fotografica, le analisi relative al quadro fessurativo rilevato sugli eidotipi di rilievo diagnostico, le informazioni riguardanti le tipologie strutturali e tutte le informazioni recuperate secondo i vari livelli di indagine del rilievo. Il data base deve costituire quindi un potente strumento di gestione dei dati acquisiti ed elaborati continuamente interrogabile ed aggiornabile che può venire gestito da vari *software* oggi disponibili.



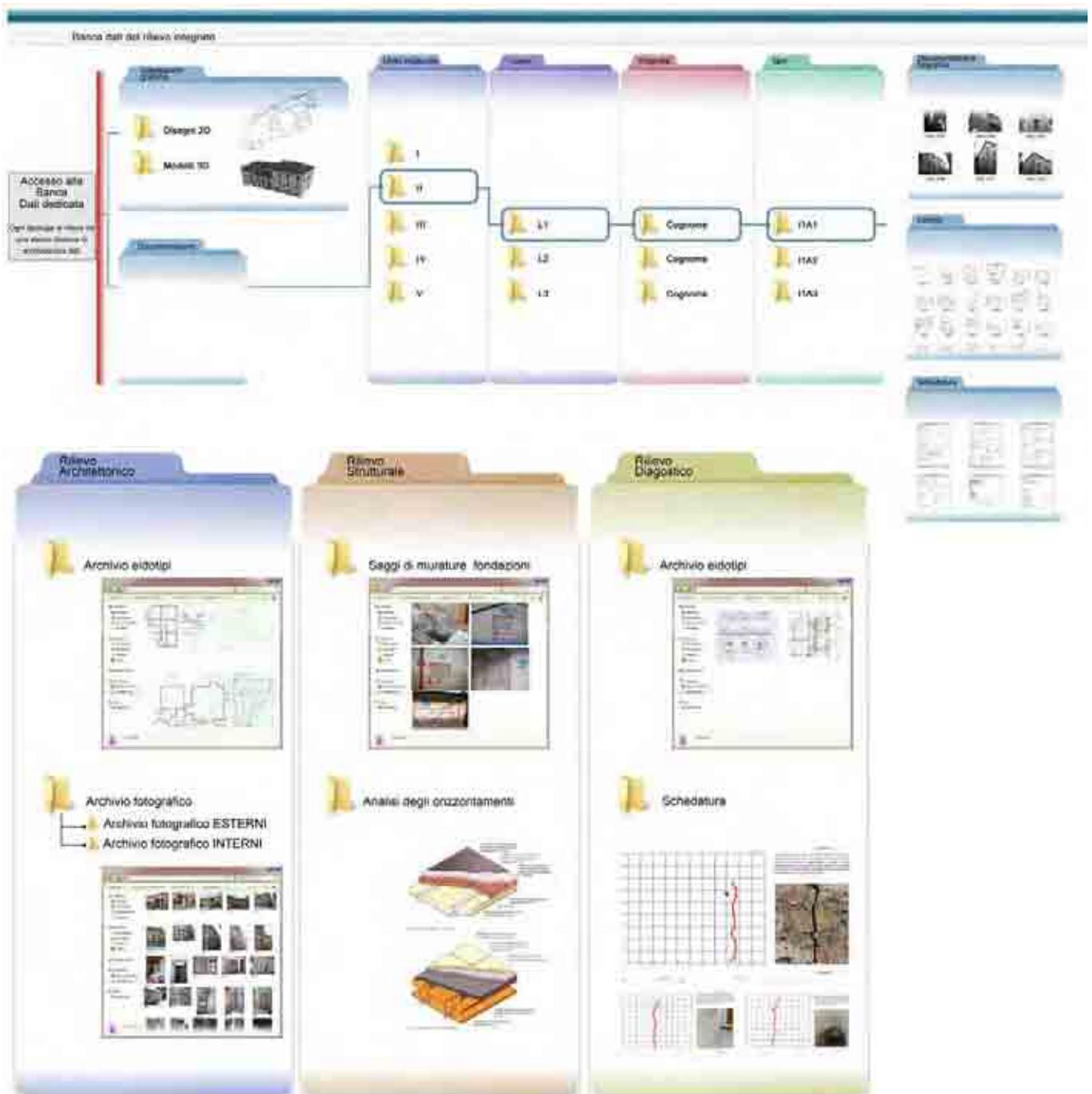
Uno schema che sintetizza la struttura del data base digitale per l'archiviazione e la consultazione dei dati acquisiti durante le varie fasi del rilievo integrato.



*Il data base del rilievo integrato viene riferito a tutti gli ambienti che compongono l'aggregato secondo codici alfa numerici che li identificano. Di fondamentale importanza risulta una prima analisi dell'aggregato diviso per i livelli che lo costituiscono individuandone tutti gli ambienti da rilevare. Eidotipi a vista generali che descrivono la distribuzione dei vani sui vari livelli, possono aiutare nell'organizzazione delle operazioni di rilievo e nella definizione dell'ordine di archiviazione dei dati.*



*In queste immagini viene visualizzata la struttura della banca dati del rilievo integrato. Il sistema di sottocartelle che archivia i dati acquisiti viene organizzato secondo livelli diversificati che conducono alle informazioni attraverso codici di archiviazione alfa numerici. Tali codici sono composti dall'individuazione dell'ambito del centro storico entro il quale si colloca l'aggregato, l'identificazione dell'aggregato stesso e la sua divisione in Unità Strutturali, livelli e vani.*



*I dati acquisiti vengono archiviati nelle cartelle riferite alle tre tipologie di rilievo: architettonico, strutturale e diagnostico. Ogni elaborato grafico è corredato da foto che documentano aspetti specifici, eidotipi di rilievo diretto, schedatura degli elementi strutturali e dei dissesti, risultati delle analisi digitali e relative elaborazioni. Il materiale documentario viene così riferito alle componenti dell'aggregato fino all'unità minima di identificazione e cioè il singolo vano.*

### 2.2.5 Restituzione grafica 2D

Una delle operazioni che, nel campo della restituzione dei rilievi metrici, si rendono ancora oggi indispensabili per quanto riguarda sia atti amministrativi che contenuti progettuali, è senza dubbio la restituzione grafica di elaborati 2D che devono essere estratti dalla banca dati 3D. La corretta gestione delle fasi operative di un rilievo digitale rappresenta un aspetto fondamentale per la creazione di elaborati grafici bidimensionali affidabili e utili alla lettura completa di un oggetto architettonico.

Per fasi operative si intendono tutte quelle attività che in un primo tempo sono connesse all'acquisizione strumentale e quindi alla creazione della banca dati tridimensionale e, successivamente alla elaborazione grafica o vettorializzazione degli elementi architettonici e delle sezioni che vogliamo restituire in forma bidimensionale dell'oggetto d'indagine.

Il risultato che si ottiene da un rilievo laser scanner permettere di avere un controllo dimensionale e morfologico dell'oggetto in uno spazio virtuale tridimensionale; spesso però la grande quantità di dati ottenuti è difficilmente gestibile per una sintesi grafica bidimensionale che individui solo quello che serve rappresentare in funzione alle esigenze ed alle finalità del rilievo stesso.

Dopo aver registrato una nuvola di punti, integrando tutte le scansioni eseguite per ottenere la copertura desiderata dell'intero elemento rilevato, quello che si presenta nell'ambiente virtuale trasmette l'impressione di poter ottenere un totale controllo dell'oggetto architettonico; tuttavia è necessario conoscere le strategie operative e le metodologie necessarie per mantenere questo controllo fino al completamento della fase di restituzione grafica. La tecnologia *Leica Geosystems* in sinergia con *Autodesk* fornisce alcuni strumenti utili a questo tipo di operazioni: è possibile infatti gestire la nuvola di punti, ottenuta dalla registrazione delle singole scansioni eseguite, direttamente in ambiente CAD.

Questa procedura permette, nelle fasi di restituzione e di discretizzazione dei dati, di effettuare letture con minor grado di approssimazione e di ottenere quindi restituzioni maggiormente affidabili o che comunque siano in grado di mantenere un grado di affidabilità compatibile con quello delle sorgenti. Per una maggiore affidabilità del rilievo

è necessario mantenere una congruenza fra l'errore che si produce durante la fase di acquisizione, (sia l'errore strumentale che di messa e a registro delle scansioni che rientra in una tolleranza definita dalle caratteristiche dello strumento e dalle impostazioni delle scansioni stesse in relazione alla rete topografica di appoggio) e l'errore di interpretazione del dato che si produce nella relativa fase di restituzione, interpretando correttamente la morfologia dell'oggetto rilevato ora visualizzato come una nuvola di punti.

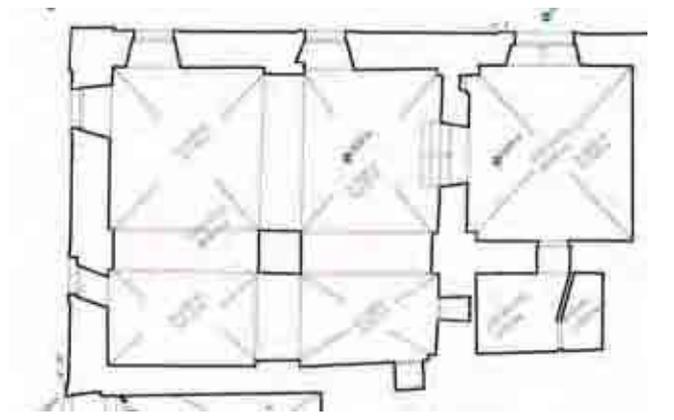
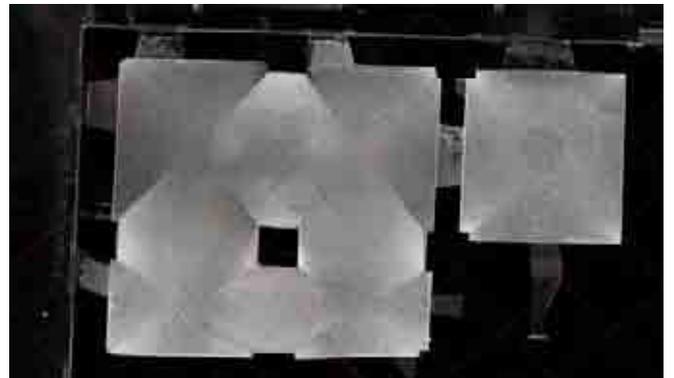
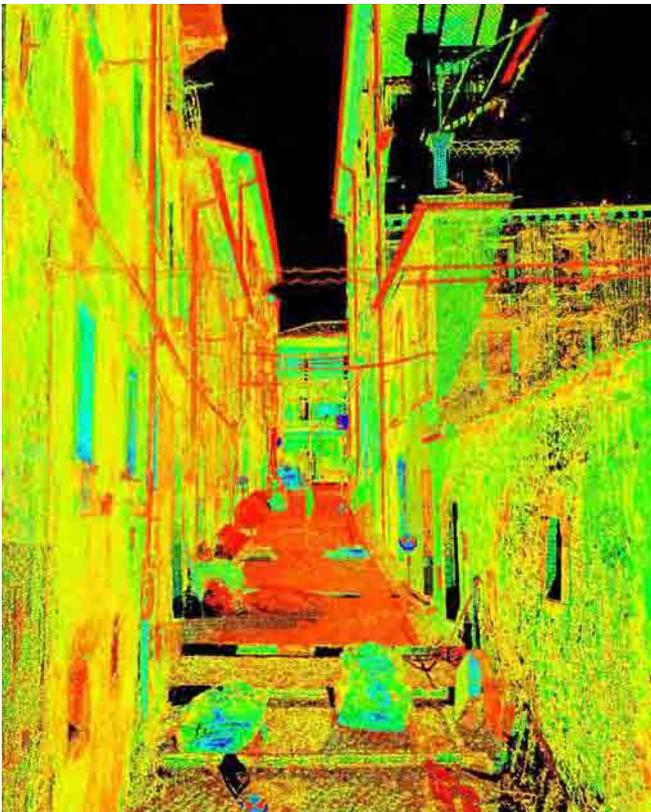
Esiste una tecnologia che consente di importare la nuvola di punti in *AutoCAD* in "scala reale" collegando, come un riferimento esterno il data base del programma di gestione delle nuvole di punti *Cyclone*, all'ambiente CAD, visualizzando direttamente il *model space* della nuvola di punti. L'applicativo che ci permette di interfacciare il data base della nuvola di punti con il programma *AutoCAD* è un *plug-in* di produzione *Leica* denominato *Cloudworx* la cui operatività dipende ovviamente dall'installazione sullo stesso computer sia del programma *Cyclone Leica Geosystem*, tramite il quale si gestisce la nuvola di punti, sia del programma di disegno utilizzato per la vettorializzazione delle viste 2D corrispondenti alle piante, prospetti e sezioni desiderate dell'oggetto rilevato.

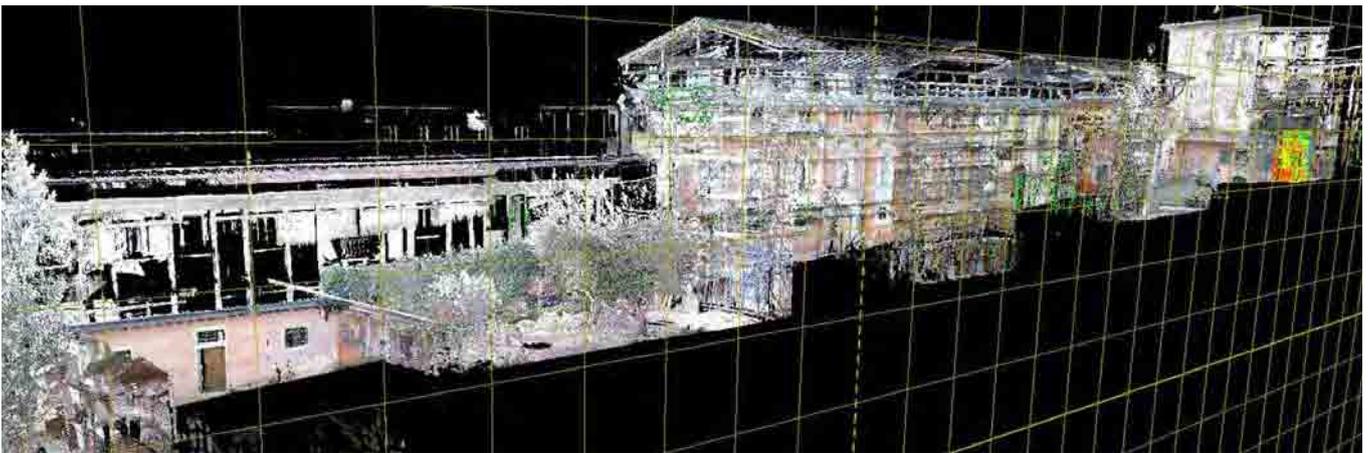
Per questo tipo di procedura è necessario impostare precedentemente, all'interno del *model space* in ambiente *Cyclone* della nuvola di punti in questione, il piano di taglio che definisce la sezione della nuvola da restituire, assegnare un sistema di coordinate di riferimento relativo a quel piano e posizionarsi nella vista parallela al piano in modo da ottenere la proiezione ortogonale da quella specifica vista degli elementi dell'oggetto rilevato che vogliamo restituire in 2D.

*Nelle immagini della pagina seguente: in alto è visualizzata la nuvola di punti di un aggregato rilevato con laser scanner; sulla quale vengono inseriti piani di taglio orizzontali, all'interno del software di gestione, per la definizione dei livelli da restituire graficamente nel disegno CAD delle piante.*

*In basso a sinistra: la vista dall'interno di un vicolo del centro storico di L'Aquila rilevato con laser scanner (via Benedetti).*

*In basso a destra: il processo di "lucidatura CAD" dalla sezione orizzontale di una nuvola di punti per la definizione di una pianta.*





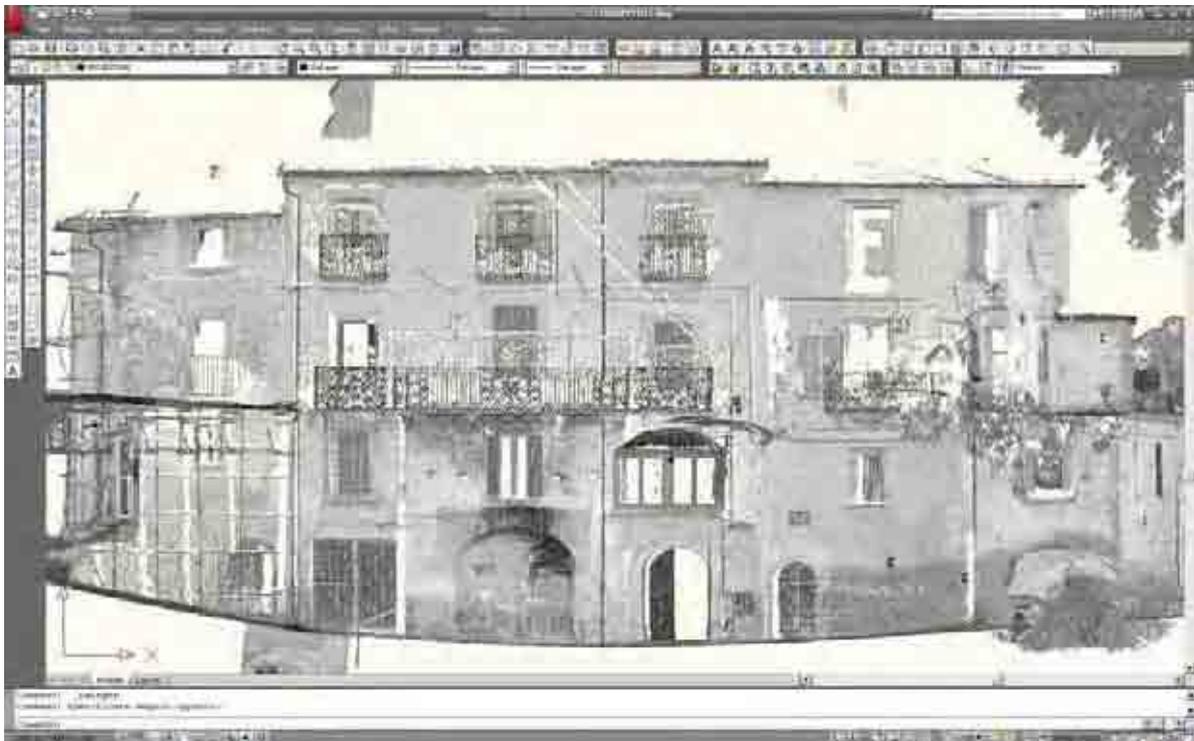
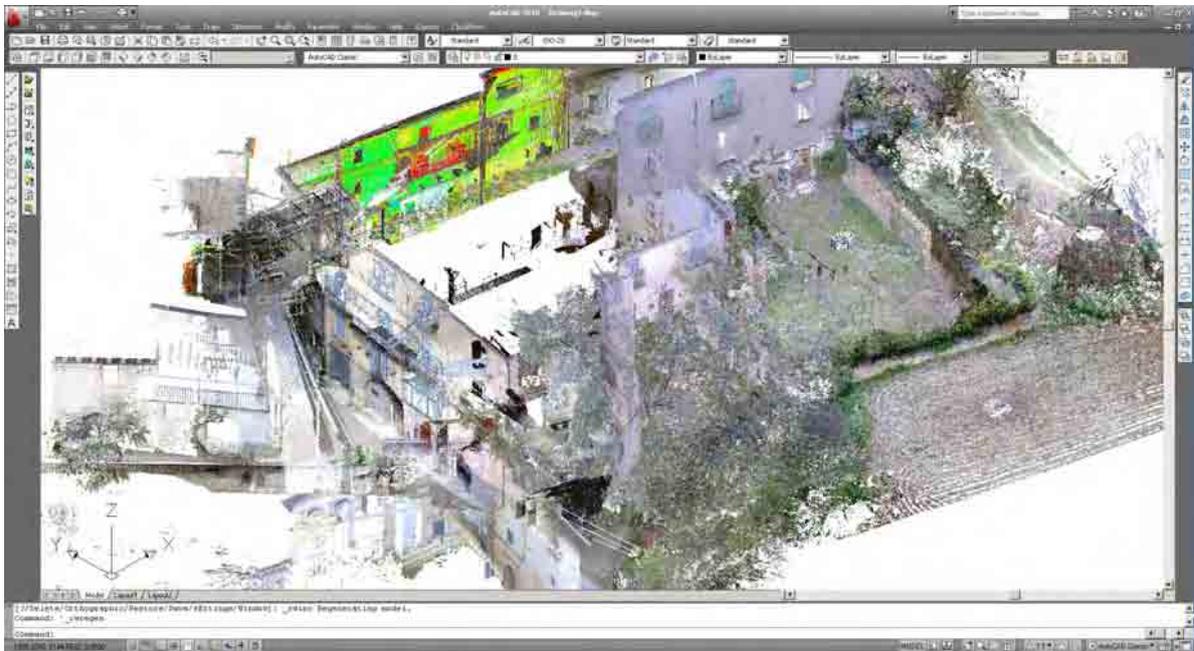
*Nell'immagine in alto: una vista della nuvola di punti 3D prodotta dal rilievo laser scanner di un aggregato urbano compreso fra Piazza San Marciانو e Piazza di Corno nel centro storico di L'Aquila. Nell'immagine sopra: l'inserimento, all'interno del software di gestione della nuvola di punti, di un piano di taglio verticale per la definizione dei prospetti e delle sezioni in alzato dell'aggregato rilevato.*

Come è noto la nuvola di punti è direttamente misurabile e corrispondente alle dimensioni reali dell'oggetto, una volta impostata l'unità di misura con la quale si intende disegnare, l'oggetto rilevato è da considerarsi in scala 1:1 all'interno dell'ambiente virtuale, la vista che ci interessa viene visualizzata impostando al momento del collegamento con il data base l'unità di misura che preferiamo direttamente in *AutoCAD*.

Con questo metodo è possibile avere a disposizione, in ambiente CAD, tutta la superficie della sezione che vogliamo disegnare, visualizzando la stessa definizione di

dettaglio, data dalla densità della nuvola, semplicemente rigenerando i punti della nuvola ogni volta che ci spostiamo avvicinandosi ad una determinata porzione della sezione con il comando "zoom" per ricalcare ad esempio, con maggiore affidabilità, un dettaglio dell'oggetto rilevato.

Seguendo la procedura in *Cloudworx* il problema del passaggio di scala viene affrontato solo nella successiva fase di stampa mentre, durante tutta la fase di restituzione vettoriale, l'oggetto viene elaborato concettualmente in scala 1:1 mantenendo un'assoluta affidabilità metrica sul disegno nel formato *.dwg*.

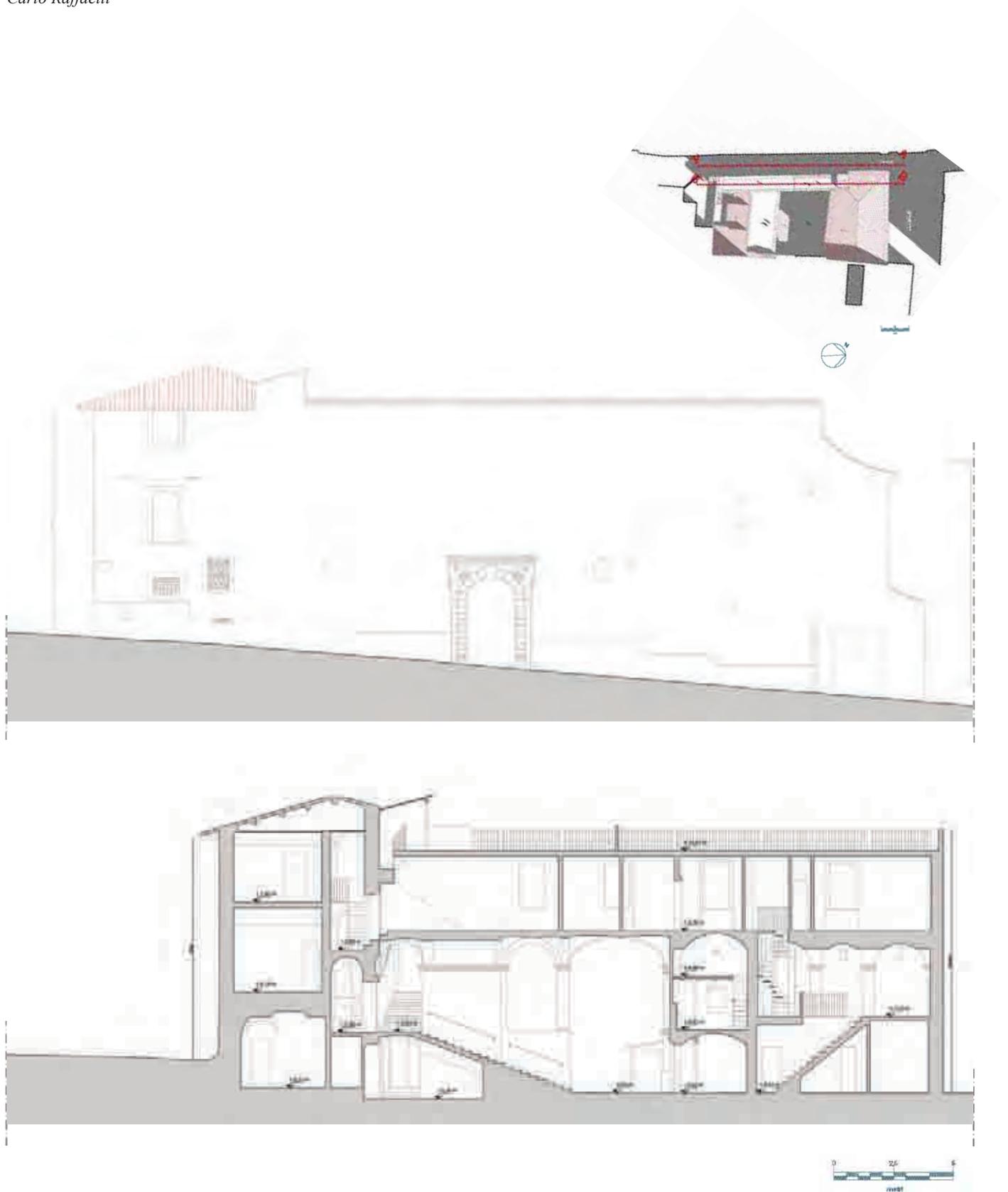


È possibile gestire la nuvola di punti 3D prodotta dal rilievo laser scanner direttamente in ambiente CAD. Grazie all'installazione del plug-in Cloudworx per il software AutoCAD, di produzione Leica Geosystems, viene linkato il data base del software di gestione delle nuvole di punti Cyclone con quello per la vettorializzazione grafica CAD.



*Il prospetto di un aggregato che si affaccia su via Sinizzo nella “zona rossa” del centro storico di L’Aquila. Questo elaborato è stato prodotto grazie al taglio, della nuvola di punti colorizzata dalle foto orbitali, con un piano verticale sezionante lungo via Sinizzo e parallelo al fronte restituito attraverso la creazione di una orthoimage.*

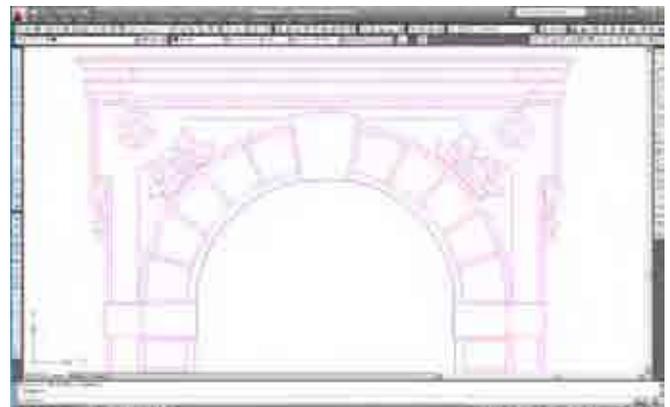
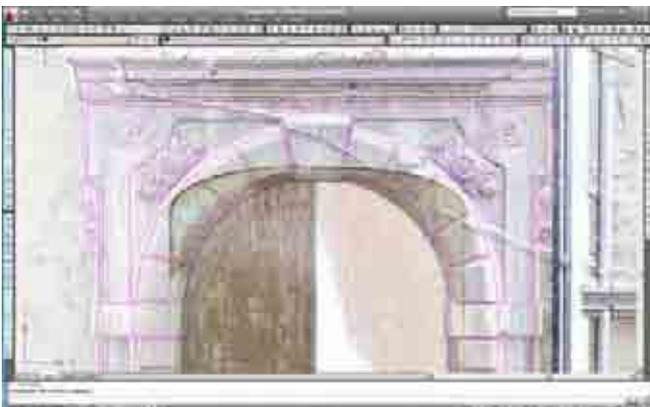
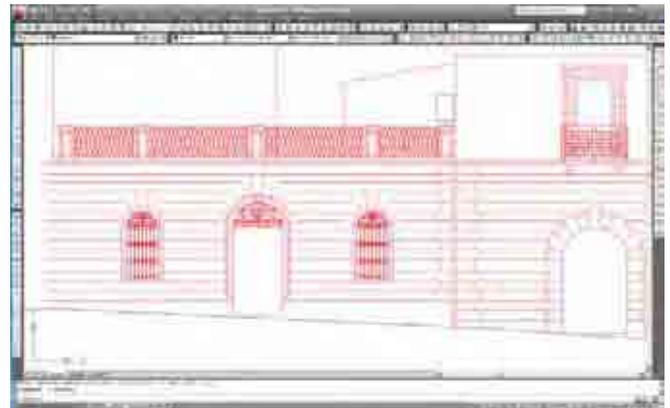
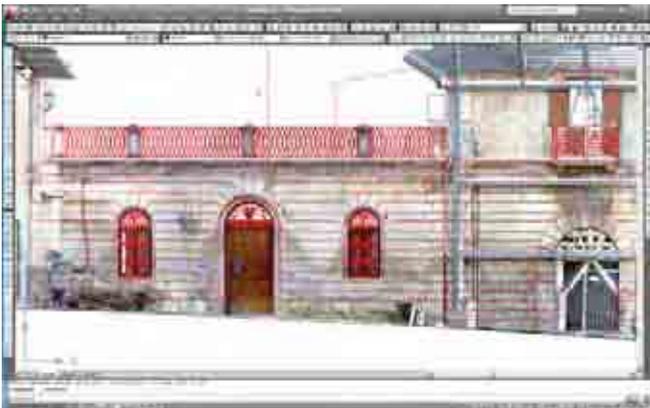




La gestione del livello di dettaglio richiesto, ovviamente relazionata al grado di densità della maglia dei punti acquisiti strumentalmente, è demandata totalmente al disegnatore che, libero di muoversi all'interno dell'ambiente dinamico della nuvola di punti, è costretto a mantenere una coerenza grafica funzionale alle possibilità di stampa richieste dalla scala rappresentativa del disegno o alle specifiche esigenze grafiche richieste dal rilievo, con la possibilità di gestire successivamente differenti scale di rappresentazione senza modificare l'oggetto sorgente, nel nostro caso individuato dalla nuvola di punti stessa vettorializzata nelle sezioni specifiche.

Esistono inoltre altri vantaggi nell'utilizzare la suddetta procedura: durante le fasi di ripasso in *AutoCAD* è possibile gestire la nuvola direttamente in ambiente CAD con una serie di strumenti (*tools*) che sono tradizionalmente propri del *software Cyclone*, come i comandi che consentono

di attivare la visualizzazione *half space* o *slice* della sezione, utili per visualizzare porzioni specifiche della nuvola di punti corrispondenti alle zone maggiormente definite per il disegno della linea di sezione o per la visualizzazione di ambienti ridotti che consentono una facilitazione dell'orientamento all'interno dello spazio tridimensionale. Anche il piano di taglio (*cutplane*), che definisce la sezione interessata, è direttamente gestibile con *Cloudworx*: si ha la possibilità di duplicarlo e traslarlo secondo gli assi X,Y,Z del sistema di riferimento attivato, ed è possibile definire il verso della vista invertendo la retta normale del piano. E' possibile inoltre inserire e modificare la *limit box*, lo specifico comando di selezione utilizzato per isolare porzioni di nuvola che interessano, escludendo in questo modo parti che in quel momento non serve visualizzare, per alleggerire la memoria fisica del computer e aumentarne le prestazioni.

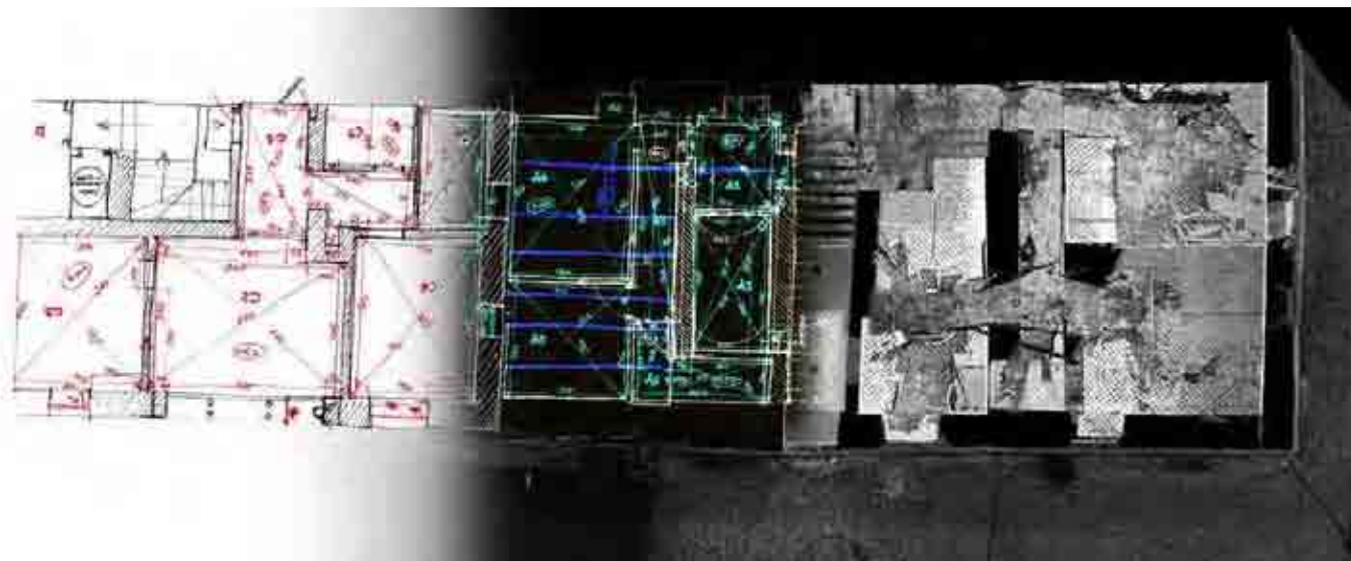


Nella pagina precedente: prospetto (su via Sinizzo) e sezione dello stesso aggregato rilevato nel centro storico di L'Aquila.

Nelle immagini sopra: il processo di vettorializzazione della nuvola di punti nella lucidatura CAD di un prospetto, fino alla definizione del dettaglio decorativo.

È opportuno sottolineare che anche questa metodologia di restituzione grafica è qualificata non dagli strumenti o dai processi automatici, ma dalle scelte dell'operatore che, in primo piano dalle prime fasi di acquisizione fino alle ultime di stampa, deve mantenere il controllo e la gestione di tutti i processi e di tutte le conversioni che la definizione del disegno comporta garantendo un errore medio costante. Le attività che si sviluppano tra un *software* e l'altro confermano tuttavia ancora una volta l'importanza della competenza professionale, che un architetto-rilevatore può apportare, nell'intento di produrre elaborati che risultino effettivamente affidabili per il processo di documentazione e sintesi dei dati di rilievo del contesto reale<sup>23</sup>.

E' successivamente a questa fase che vengono restituiti e integrati i dati contenuti negli eidotipi di rilievo diretto delle porzioni di fabbricato che sono rimaste escluse nella nuvola di punti. Attraverso la visualizzazione in ambiente CAD dei punti topografici, che individuano i punti noti dell'architettura rilevati con la stazione totale e a sua volta punti propri del rilievo diretto, è possibile ridisegnare vettorialmente il sistema di trilaterazioni e quadrilaterazioni che vada a definire gli spazi rilevati con questa metodologia, ricostruendo, all'interno di una sezione bidimensionale estratta dalla nuvola, quelle porzioni di ambienti interni o di fronti a completamento della lettura di architetture e geometrie del fabbricato anche dove non è stato possibile arrivare con la strumentazione laser.

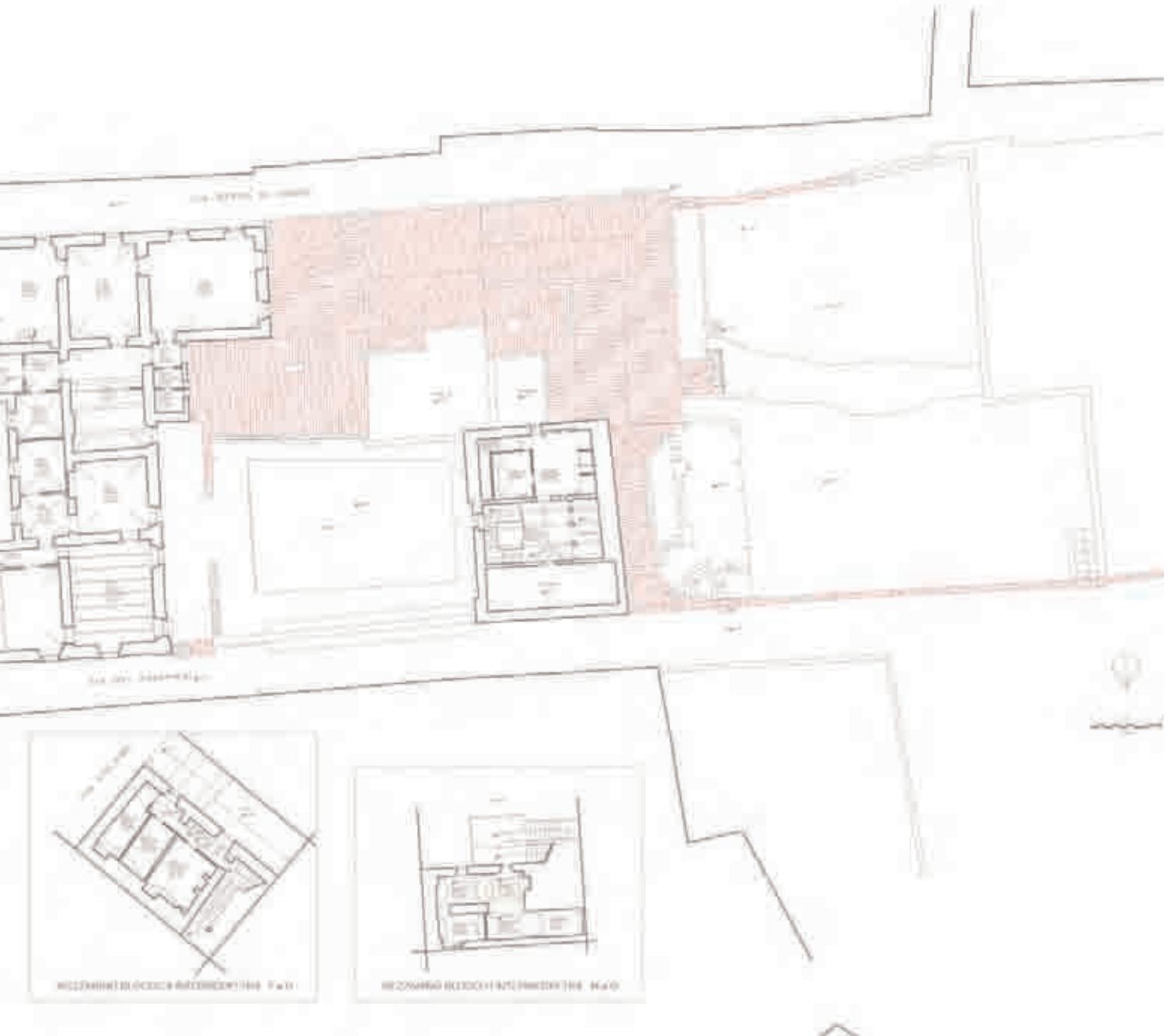


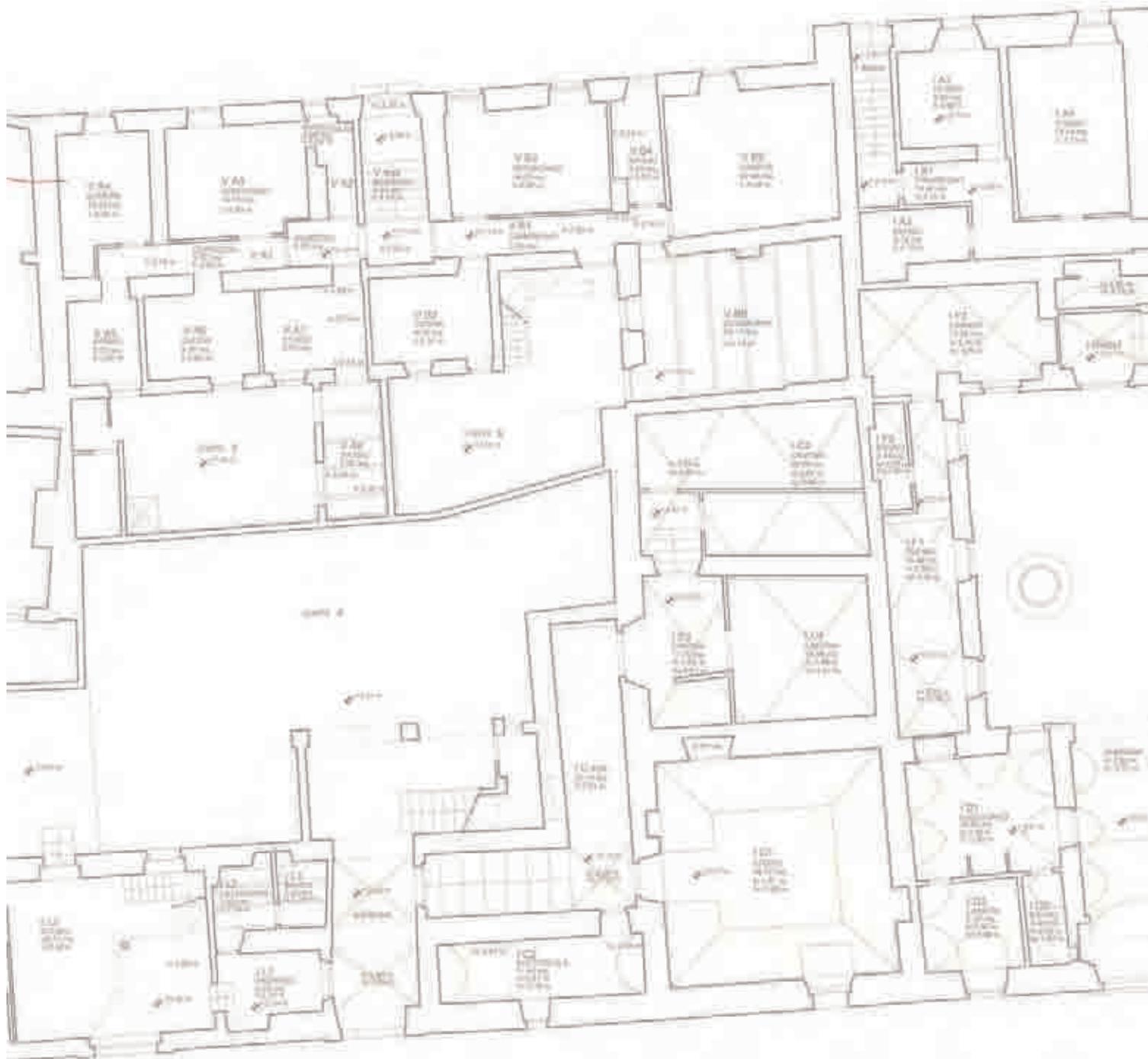
Layer	Nome	Color	Type	Linetype	Lineweight	Color
01	01 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Red	Line	Solid	3.00	Red
02	02 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Blue	Line	Solid	3.00	Blue
03	03 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Green	Line	Solid	3.00	Green
04	04 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Cyan	Line	Solid	3.00	Cyan
05	05 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Magenta	Line	Solid	3.00	Magenta
06	06 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Yellow	Line	Solid	3.00	Yellow
07	07 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Black	Line	Solid	3.00	Black
08	08 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	White	Line	Solid	3.00	White
09	09 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Grey	Line	Solid	3.00	Grey
10	10 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Blue	Line	Solid	3.00	Light Blue
11	11 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Green	Line	Solid	3.00	Light Green
12	12 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Cyan	Line	Solid	3.00	Light Cyan
13	13 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Magenta	Line	Solid	3.00	Light Magenta
14	14 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Yellow	Line	Solid	3.00	Light Yellow
15	15 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Grey	Line	Solid	3.00	Light Grey
16	16 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light White	Line	Solid	3.00	Light White
17	17 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Black	Line	Solid	3.00	Light Black
18	18 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Red	Line	Solid	3.00	Light Red
19	19 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Blue	Line	Solid	3.00	Light Blue
20	20 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Green	Line	Solid	3.00	Light Green
21	21 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Cyan	Line	Solid	3.00	Light Cyan
22	22 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Magenta	Line	Solid	3.00	Light Magenta
23	23 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Yellow	Line	Solid	3.00	Light Yellow
24	24 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Grey	Line	Solid	3.00	Light Grey
25	25 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light White	Line	Solid	3.00	Light White
26	26 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Black	Line	Solid	3.00	Light Black
27	27 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Red	Line	Solid	3.00	Light Red
28	28 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Blue	Line	Solid	3.00	Light Blue
29	29 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Green	Line	Solid	3.00	Light Green
30	30 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Cyan	Line	Solid	3.00	Light Cyan
31	31 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Magenta	Line	Solid	3.00	Light Magenta
32	32 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Yellow	Line	Solid	3.00	Light Yellow
33	33 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Grey	Line	Solid	3.00	Light Grey
34	34 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light White	Line	Solid	3.00	Light White
35	35 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Black	Line	Solid	3.00	Light Black
36	36 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Red	Line	Solid	3.00	Light Red
37	37 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Blue	Line	Solid	3.00	Light Blue
38	38 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Green	Line	Solid	3.00	Light Green
39	39 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Cyan	Line	Solid	3.00	Light Cyan
40	40 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Magenta	Line	Solid	3.00	Light Magenta
41	41 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Yellow	Line	Solid	3.00	Light Yellow
42	42 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Grey	Line	Solid	3.00	Light Grey
43	43 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light White	Line	Solid	3.00	Light White
44	44 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Black	Line	Solid	3.00	Light Black
45	45 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Red	Line	Solid	3.00	Light Red
46	46 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Blue	Line	Solid	3.00	Light Blue
47	47 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Green	Line	Solid	3.00	Light Green
48	48 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Cyan	Line	Solid	3.00	Light Cyan
49	49 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Magenta	Line	Solid	3.00	Light Magenta
50	50 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Yellow	Line	Solid	3.00	Light Yellow
51	51 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Grey	Line	Solid	3.00	Light Grey
52	52 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light White	Line	Solid	3.00	Light White
53	53 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Black	Line	Solid	3.00	Light Black
54	54 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Red	Line	Solid	3.00	Light Red
55	55 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Blue	Line	Solid	3.00	Light Blue
56	56 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Green	Line	Solid	3.00	Light Green
57	57 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Cyan	Line	Solid	3.00	Light Cyan
58	58 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Magenta	Line	Solid	3.00	Light Magenta
59	59 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Yellow	Line	Solid	3.00	Light Yellow
60	60 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Grey	Line	Solid	3.00	Light Grey
61	61 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light White	Line	Solid	3.00	Light White
62	62 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Black	Line	Solid	3.00	Light Black
63	63 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Red	Line	Solid	3.00	Light Red
64	64 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Blue	Line	Solid	3.00	Light Blue
65	65 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Green	Line	Solid	3.00	Light Green
66	66 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Cyan	Line	Solid	3.00	Light Cyan
67	67 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Magenta	Line	Solid	3.00	Light Magenta
68	68 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Yellow	Line	Solid	3.00	Light Yellow
69	69 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Grey	Line	Solid	3.00	Light Grey
70	70 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light White	Line	Solid	3.00	Light White
71	71 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Black	Line	Solid	3.00	Light Black
72	72 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Red	Line	Solid	3.00	Light Red
73	73 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Blue	Line	Solid	3.00	Light Blue
74	74 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Green	Line	Solid	3.00	Light Green
75	75 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Cyan	Line	Solid	3.00	Light Cyan
76	76 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Magenta	Line	Solid	3.00	Light Magenta
77	77 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Yellow	Line	Solid	3.00	Light Yellow
78	78 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Grey	Line	Solid	3.00	Light Grey
79	79 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light White	Line	Solid	3.00	Light White
80	80 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Black	Line	Solid	3.00	Light Black
81	81 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Red	Line	Solid	3.00	Light Red
82	82 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Blue	Line	Solid	3.00	Light Blue
83	83 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Green	Line	Solid	3.00	Light Green
84	84 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Cyan	Line	Solid	3.00	Light Cyan
85	85 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Magenta	Line	Solid	3.00	Light Magenta
86	86 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Yellow	Line	Solid	3.00	Light Yellow
87	87 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Grey	Line	Solid	3.00	Light Grey
88	88 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light White	Line	Solid	3.00	Light White
89	89 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Black	Line	Solid	3.00	Light Black
90	90 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Red	Line	Solid	3.00	Light Red
91	91 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Blue	Line	Solid	3.00	Light Blue
92	92 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Green	Line	Solid	3.00	Light Green
93	93 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Cyan	Line	Solid	3.00	Light Cyan
94	94 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Magenta	Line	Solid	3.00	Light Magenta
95	95 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Yellow	Line	Solid	3.00	Light Yellow
96	96 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Grey	Line	Solid	3.00	Light Grey
97	97 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light White	Line	Solid	3.00	Light White
98	98 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Black	Line	Solid	3.00	Light Black
99	99 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Red	Line	Solid	3.00	Light Red
100	100 LINEE IDENTIFICAZIONE STRUTTURE	Light Blue	Line	Solid	3.00	Light Blue

Nella pagina precedente: le immagini illustrano l'integrazione, in fase di restituzione grafica 2D delle misure acquisite secondo rilievo diretto per gli ambienti occlusi al rilievo laser scanner.

Nell'immagine sopra: la struttura del file.dwg di AutoCAD diviso su diversi layers raggruppati secondo i tematismi del disegno.











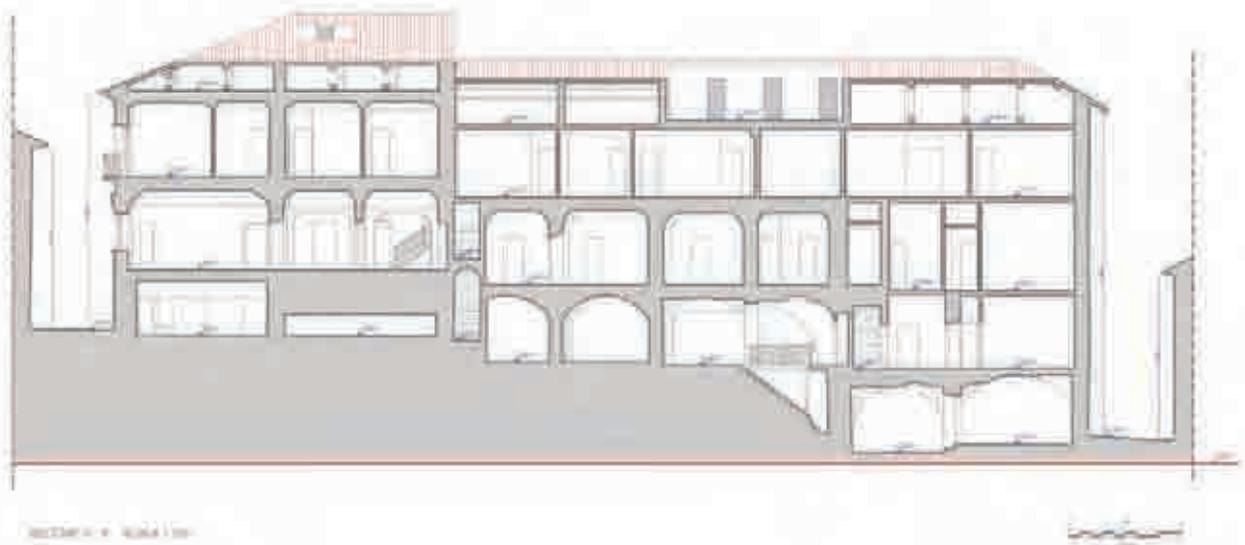


Una volta definite piante, sezioni e prospetti, in scala adeguata a supportare le successive analisi, questi devono risultare elaborati completi in tutte le loro parti e riferiti esattamente al data base tridimensionale secondo i relativi piani di taglio inseriti nella nuvola di punti, oltre a rappresentare il rilievo architettonico dell'aggregato, sono la base di riferimento per la stesura del rilievo strutturale e diagnostico, nonché per la definizione di sezioni vettoriali a cui riferire le estrusioni di superfici per una successiva modellazione tridimensionale.

Nel caso di aggregati in muratura rilevati successivamente ad un evento sismico e quindi spesso già in uno stato di messa in sicurezza, come accennato più volte, non è possibile durante le scansioni laser garantire la copertura totale di tutte le parti e le superfici che lo compongono e, anche se come già spiegato precedentemente è possibile rilevare queste occlusioni al dato digitale con altre metodologie di rilevamento che completino le informazioni grafiche a livello bidimensionale, non è allo stesso modo possibile integrare queste misurazioni puntuali e rilevate secondo un piano ideale di riferimento, come elementi tridimensionali di completamento alla nuvola di punti. Questo problema, concretizzato nelle varie lacune della maglia dei punti

sulle superfici rilevate con laser scanner, pone pesanti limiti al processo di modellazione tridimensionale completa applicabile direttamente alla nuvola di punti, l'operazione di *meshing*<sup>24</sup> è infatti una possibilità offerta da vari *software* presenti in commercio ed anche dallo stesso programma di gestione *Cyclone Leica Geosystems*. Uno dei prodotti tematici può essere considerato anche la creazione di un modello virtuale che risulti utile non solo alla visualizzazione tridimensionale dell'organismo architettonico, evidenziandone la meccanica generale dei dissesti provocati dall'azione sismica, ma anche alla possibile creazione di un sistema GIS tridimensionale che possa essere interrogato su tutti i tematismi relativi alle analisi effettuate sull'aggregato e riferite a tutte le sue parti. Si necessita per questo una modellazione tridimensionale che parta dall'estrusione delle curve e delle polilinee, componenti delle sezioni piane vettoriali. Gli elaborati 2D risultano quindi un riferimento grafico di alta fedeltà come base per la modellazione, essendo estrapolati direttamente dalle elaborazioni della nuvola di punti, e quindi dal dato sorgente affidabile del rilievo. Le procedure per la realizzazione di questi ed altri tipi di *output 3D* verrà trattata nel *paragrafo 2.4*.





### 2.3 ANALISI SPECIFICHE: RILIEVO STRUTTURALE E DIAGNOSTICO

L'analisi del comportamento strutturale e la valutazione di sicurezza delle strutture storiche in muratura presenta notevoli incertezze nella definizione delle proprietà meccaniche dei materiali e le relative condizioni di vincolo tra gli elementi. Queste costruzioni sono state progettate utilizzando un approccio basato sull'intuizione, l'osservazione e l'esperienza; tutto ciò ha progressivamente portato ad affinare criteri esecutivi e di proporzionamento geometrico, configurabili come "regole dell'arte". Sebbene tale approccio non sia scientificamente rigoroso e risulti affidabile solo se utilizzato all'interno dei limiti di validità della regola, riconoscere in una costruzione la conformità alle regole dell'arte può costituire un primo elemento di valutazione della sicurezza. Regole dell'arte possono essere riconosciute anche nelle tecniche costruttive, che mostrano una specificità locale frutto di un progressivo affinamento nell'uso dei materiali disponibili in zona.

Le odierne metodologie di rilevamento consentono sì un'elevata velocità di raccolta dati per la stesura del rilievo, ma la lettura dei dati informatici dovrà essere sempre accompagnata da una attenta fase di rilevamento manuale che permetta di entrare in "confidenza" con l'edificio. La necessità di relazionarsi fisicamente con esso è ancora più evidente se di questo edificio si redige un rilievo strutturale, dei dissesti e del degrado. Tutti e tre questi elaborati sono il frutto delle capacità del rilevatore di leggere e interpretare il manufatto e le patologie di cui esso soffre. Per la redazione di un corretto ed esaustivo rilievo strutturale è opportuno che il tecnico abbia nel suo patrimonio formativo delle nozioni specifiche che riguardino il restauro, la riabilitazione strutturale e un bagaglio conoscitivo che abbraccia discipline diverse ma strettamente correlate. Le tre diverse tipologie di rilievo,

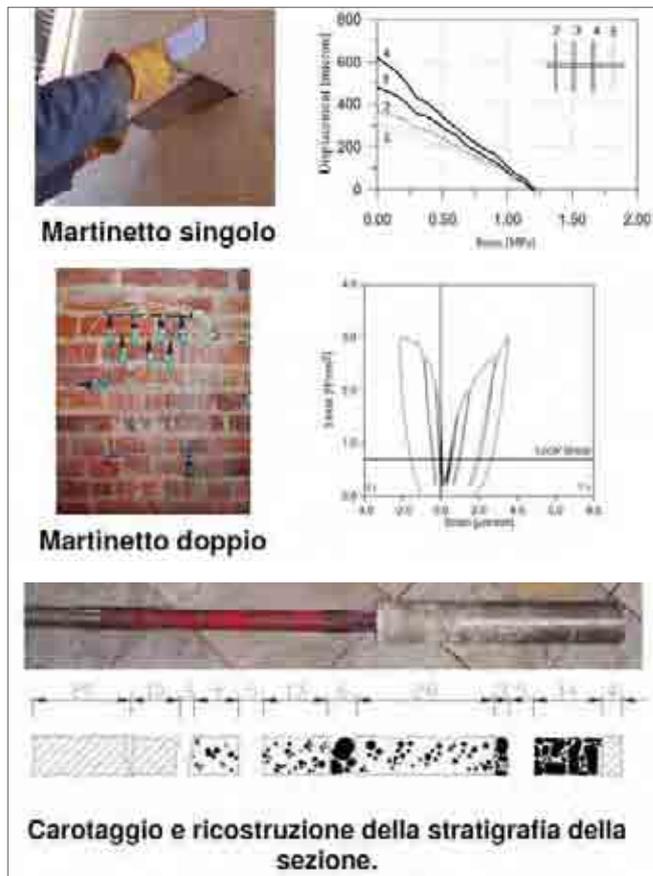
relative a diversi gradi di conoscenza, è preferibile che vengano eseguite dallo stesso gruppo di rilevatori per favorire la comprensione delle relazioni tra morfologia architettonica, struttura, dissesti e degrado.

L'esigenza di relazionare le due discipline del rilievo e del restauro scaturisce dalla necessità di comprendere pienamente la natura strutturale e architettonica di un edificio. Lo sviluppo di una corretta metodologia per la stesura dei rilievi strutturali nasce dalla consapevolezza, che si è maturata da oltre mezzo secolo dell'evoluzione della disciplina del restauro da storico-artistica a storico-scientifica. A Firenze è Piero Sanpaolesi che, sulla base della sua formazione sia ingegneristica che architettonica, da' inizio al processo di ammodernamento della materia trasportando la disciplina del restauro nell'Italia repubblicana e estendendo le sue competenze fino a comprendere il campo del restauro statico<sup>26</sup>.

Il tecnico rilevatore si deve confrontare costantemente con la normativa che si occupa di riabilitazione degli edifici storici, implementando il rilievo con quei dati che il legislatore richiede e che servono ad aumentare i margini di sicurezza in fase di progettazione. Nel D.M. 14-01-2008<sup>27</sup> sono stati stabiliti due nuovi parametri di calcolo il *Fattore di Confidenza* e il *Livello di Conoscenza*: il *Fattore di Confidenza* il cui valore varia da 1,35 a 1, è inversamente proporzionale al *Livello di Conoscenza*, che rappresenta l'analisi della documentazione che si ha sull'immobile con tre settori principali di analisi: conoscenza delle geometrie, dettagli costruttivi e proprietà dei materiali, in sintesi il rilievo strutturale. Tanto più vicino a 1 sarà il valore del *Fattore di Confidenza* tanto meno il nuovo parametro influenzerà il calcolo e quindi di conseguenza minori saranno i costi di intervento<sup>28</sup>.

### 2.3.1 Lettura e rappresentazione delle tipologie strutturali costituenti l'Aggregato

Il rilievo materico costruttivo deve permettere di individuare completamente l'organismo resistente della fabbrica, tenendo anche presente la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi. Spesso, per questo tipo di analisi, è necessaria l'acquisizione di informazioni non direttamente visibili (sotto intonaco, dietro a controsoffitti, ecc.), che possono essere acquisite grazie a tecniche di indagine di tipo indiretto (termografia, georadar, tomografia sonora, ecc.)<sup>29</sup> o ispezioni dirette debolmente distruttive (endoscopie, scrostamento di intonaci, saggi, piccoli scassi, ecc.). Strumentazioni idonee devono essere impiegate anche per analisi relative alle caratteristiche di deformabilità dei materiali e degli elementi strutturali (martinetti piatti)<sup>30</sup>, oltre alla loro stratigrafia (carotaggi).



Al fine di limitare al massimo l'impatto di queste indagini è fondamentale avere un'approfondita consapevolezza delle caratteristiche costruttive dei manufatti presenti nell'area e riferiti ai diversi periodi storici, in modo tale da poter fare ricorso a caratteristiche desumibili dalla regola dell'arte precedentemente citata. Considerata la notevole varietà di materiali e tecniche è utile definire regole dell'arte locali cui fare riferimento per il giudizio di qualità di una muratura.

A questo proposito risultano fondamentali le informazioni desunte dall'analisi storica effettuata precedentemente che individua la stratificazione architettonica dell'aggregato urbano.

Speciale attenzione dovrà essere riservata alla valutazione della qualità muraria, includendo le caratteristiche geometriche e materiche dei singoli componenti, oltre che le modalità di assemblaggio. La natura disomogenea delle murature non permette di poter verificare in ogni loro parte la disposizione e la qualità dei materiali non che delle malte leganti. Nonostante queste incertezze i margini di sicurezza previsti nei parametri normativi permettono di ottenere dati molto vicini allo stato reale delle qualità meccaniche delle murature. È inoltre necessario effettuare saggi finalizzati ad evidenziare le sconessioni tra le varie murature e queste discontinuità andranno evidenziate nella restituzione grafica.



A sinistra: prove con martinetti per la valutazione delle caratteristiche di resistenza e deformabilità delle murature.

Sopra: un saggio di fondazione e su una muratura.

Per una corretta lettura di uno schema strutturale di funzionamento della fabbrica è necessaria una conoscenza dei dettagli costruttivi e delle caratteristiche di collegamento tra i diversi elementi:

- tipologia della muratura (in mattoni, in pietra – squadrata, sbazzata, a spacco, ciottoli – o mista; a paramento unico, a due o più paramenti) e caratteristiche costruttive (tessitura regolare o irregolare; con o senza collegamenti trasversali, ecc.);
- qualità del collegamento tra pareti verticali (ammorsamento nei cantonali e nei martelli, catene, ecc.);
- qualità del collegamento tra orizzontamenti (solai, volte e coperture) e pareti, con rilievo dell'eventuale presenza di cordoli di piano o di altri dispositivi di collegamento (catene, ecc.);
- elementi di discontinuità determinati da cavedi, canne fumarie ecc.
- tipologia degli orizzontamenti (solai, volte, coperture), con particolare riferimento alla loro rigidità nel piano;
- tipologia ed efficienza degli architravi al di sopra delle aperture;
- presenza di elementi strutturalmente efficienti atti ad equilibrare le spinte eventualmente presenti;
- presenza di elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità.

Il rilievo visivo, accompagnato da alcune indagini, può consentire di giungere ad una buona conoscenza e ad un giudizio sulla qualità dei materiali e del loro degrado, ma di fondamentale importanza, specie nei riguardi dell'azione sismica, è la conoscenza dei parametri meccanici di deformabilità e resistenza dei materiali stessi ed in particolare della muratura. La misura diretta di questi parametri, in particolare di quelli di resistenza, può essere eseguita solo attraverso prove debolmente distruttive anche se su porzioni limitate.

La caratterizzazione di tutti gli elementi costituenti (malta; mattoni o elementi lapidei) può essere eseguita in sito o su campioni prelevati e successivamente analizzati in laboratorio.

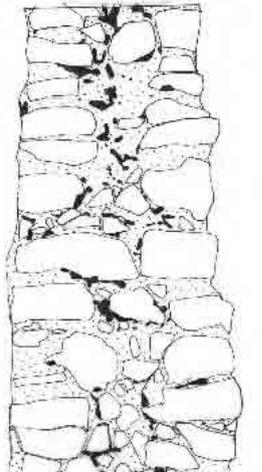
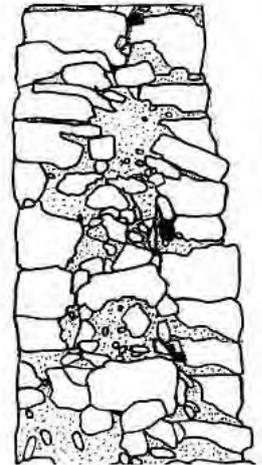
Per quanto riguarda le malte possono essere eseguite, tra le altre:

- prove sclerometriche e penetrometriche;
- analisi chimiche, su campioni prelevati in profondità in modo da non essere soggetti al degrado superficiale, per la caratterizzazione della malta.

Sui mattoni, oltre a determinarne le caratteristiche fisiche, è possibile valutare il modulo elastico e le resistenze a trazione e compressione attraverso prove meccaniche in laboratorio. Per quanto riguarda gli elementi lapidei, può essere eseguita una caratterizzazione litologica.

Oltre all'indagine geotecnica del sottosuolo è necessario definire la geometria e le caratteristiche delle fondazioni esistenti accertandone l'eventuale stato di degrado e dissesto. Sarà necessario quindi raccogliere il maggior numero di notizie disponibili sulle fondazioni e su eventuali interventi apportati in passato con particolare attenzione alla presenza o meno di un substrato archeologico. In possesso di tali informazioni si programmerà e attuerà un piano di indagini conoscitive basate su:

- pozzi o trincee di saggio, scavati lungo il perimetro della costruzione a partire dai piani scantinati o dall'esterno, e spinti fino a raggiungere il piano d'imposta delle fondazioni. Ci si accerterà preliminarmente che tali scavi non incidano negativamente sul comportamento statico dell'opera;
- perforazioni a carotaggio continuo, variamente orientate, attraverso le murature di fondazione e fino a raggiungere il contatto fra le murature stesse e il terreno. Le tecniche e gli utensili di perforazione dovranno minimizzare il disturbo alle murature e ottimizzare la qualità delle carote ai fini delle prove di laboratorio a cui queste saranno sottoposte. I carotaggi nelle opere di fondazione sono strumenti diagnostici invasivi, e quindi il loro numero deve essere limitato a quelli strettamente indispensabili. I fori di carotaggio potranno essere utilizzati per successive ispezioni con sonda televisiva, per prove geofisiche e, se richiesto, per prove di assorbimento;
- metodi geofisici, che rappresentano spesso uno strumento diagnostico efficace e non invasivo. Di particolare efficacia per valutare le proprietà meccaniche delle murature e il loro stato di degrado sono il georadar e le tomografie sonica, termica, elettrica.



*Alcuni esempi di analisi delle strutture in muratura.*

È evidente che i tecnici che eseguono queste tecniche devono avere un alto livello di specializzazione e disporre di attrezzature, sistemi di acquisizione dei dati e *software* di elaborazione adeguati.

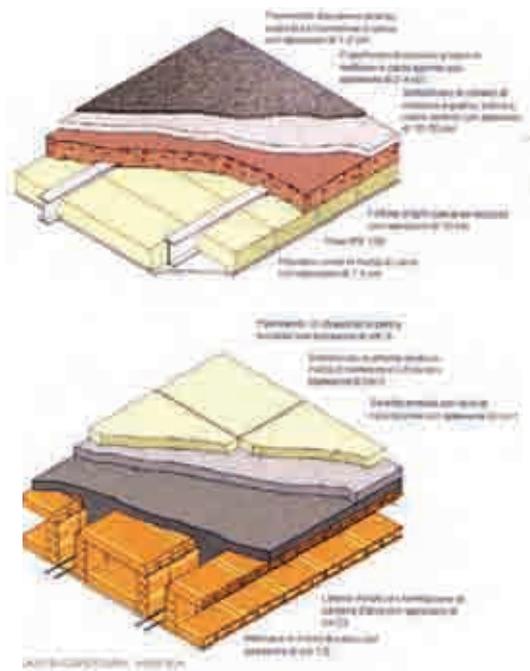
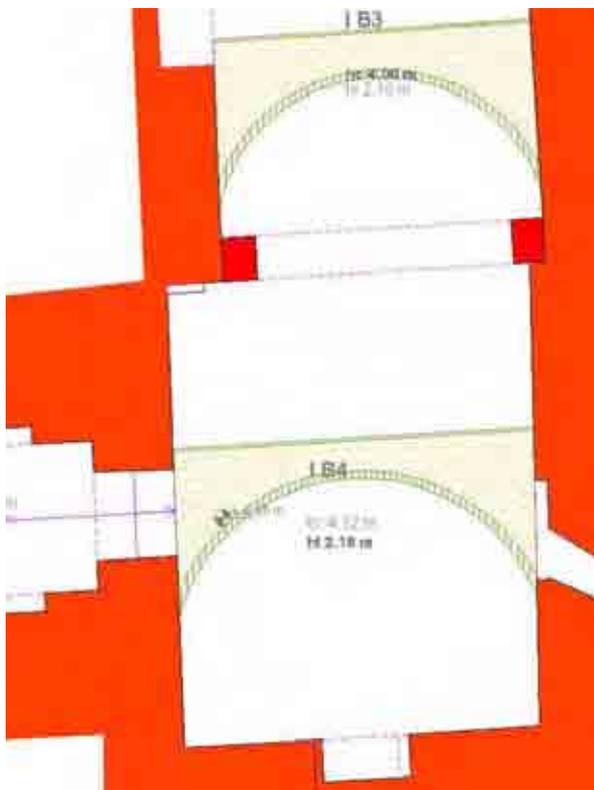
Queste indagini consentiranno di verificare i punti deboli della fondazione individuandone la necessità di un miglioramento antisismico, che dovrà essere rapportato con gli interventi previsti sulle strutture murarie.

La fase di restituzione grafica di tutte le informazioni provenienti dalle analisi dirette e indirette sopra citate deve necessariamente essere riferita agli elaborati grafici del rilievo architettonico precedentemente realizzato. Sulla base infatti delle piante, sezioni e prospetti vengono evidenziate tutte le caratteristiche materico strutturali e relativi dimensionamenti dei vari elementi costituenti l'Aggregato. Negli elaborati grafici di sezioni orizzontali e verticali devono essere indicate le tipologie di murature

prevalenti tenendo presente però che questo dato è solo tipologico, per la variabilità dei palinsesti murari all'interno dell'organismo architettonico. Sempre nelle piante vengono evidenziate le fondazioni e i diversi impalcati, con l'orientamento e la quotatura delle orditure principali e secondarie. Di ogni vano è opportuno farne una sezione dell'impalcato soprastante per permettere di comprendere non solo la tecnologia del sistema di copertura, ma anche i materiali impiegati e le loro dimensioni.

Tramite una rappresentazione stratigrafica dei diversi elementi costitutivi il pacchetto di copertura (sfogliato), potranno essere quotati di conseguenza tutti quegli elementi che altrimenti rimarrebbero privi di dimensionamento.

Le casistiche di impalcati e murature sono molteplici quindi nella loro graficizzazione si dovranno prevedere parametri di calcolo diversi e di conseguenza la rappresentazione di informazioni diverse.

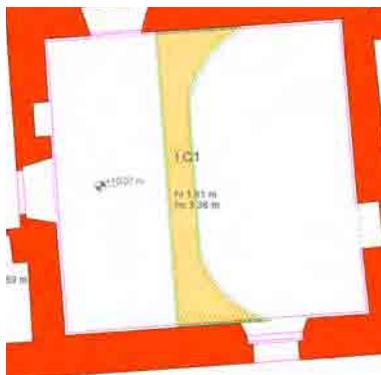
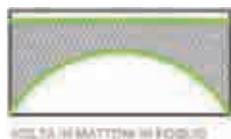
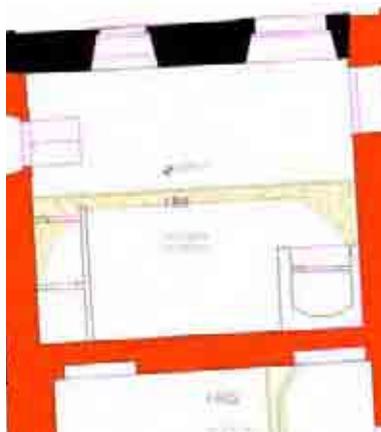


*A sinistra: la rappresentazione, nel rilievo strutturale, delle tipologie di orizzontamenti indicati non soltanto con il dato qualitativo ma anche con quello quantitativo. Grazie al ribaltamento in pianta del solaio di copertura del vano è possibile identificarne l'esatta morfologia ed il giusto dimensionamento. Le murature vengono indicate con colori relativi alle varie tipologie e riportati in legenda.*

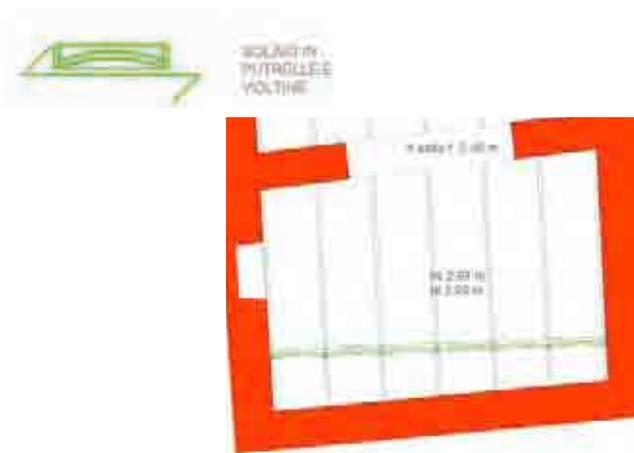
*Sopra: due esempi di sfogliato assometrico relativi ad alcune tipologie di solai.*



*Durante la campagna fotografica per la documentazione degli aspetti strutturali dell'aggregato oggetto del rilievo, è importante individuare gli elementi strutturali che compongono le varie tipologie di solai e coperture. Spesso i crolli dovuti ai dissesti provocati dal sisma offrono la possibilità di vedere a "nudo" l'ossatura degli edifici e le singole parti che li compongono.*



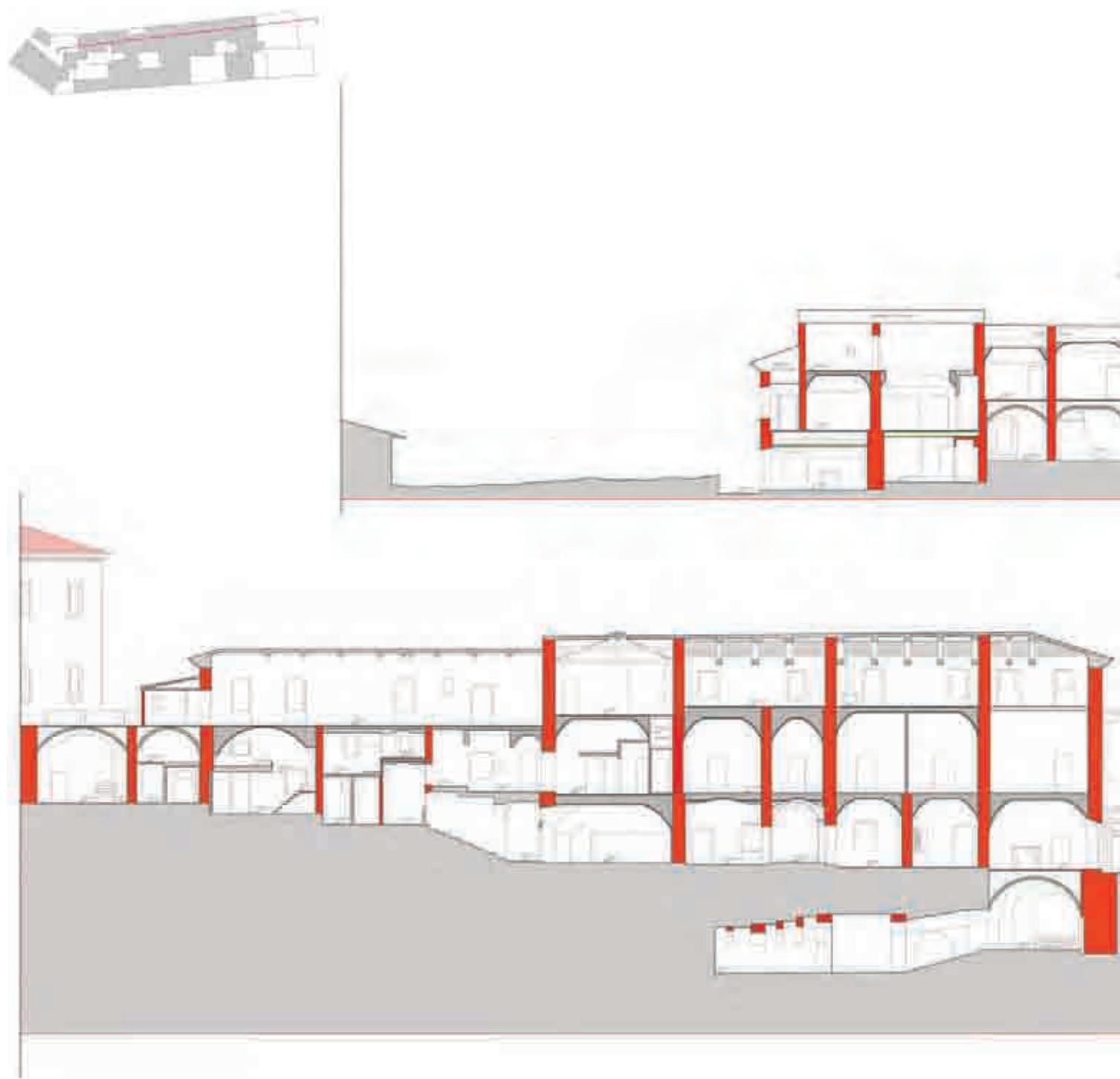
*In queste pagine alcuni esempi delle tipologie di orizzontamenti indicate sugli elaborati grafici del rilievo strutturale. Vengono illustrate le singole tipologie dal simbolo in legenda, alla loro rappresentazione in pianta fino all'individuazione della specifica tipologia con foto.*

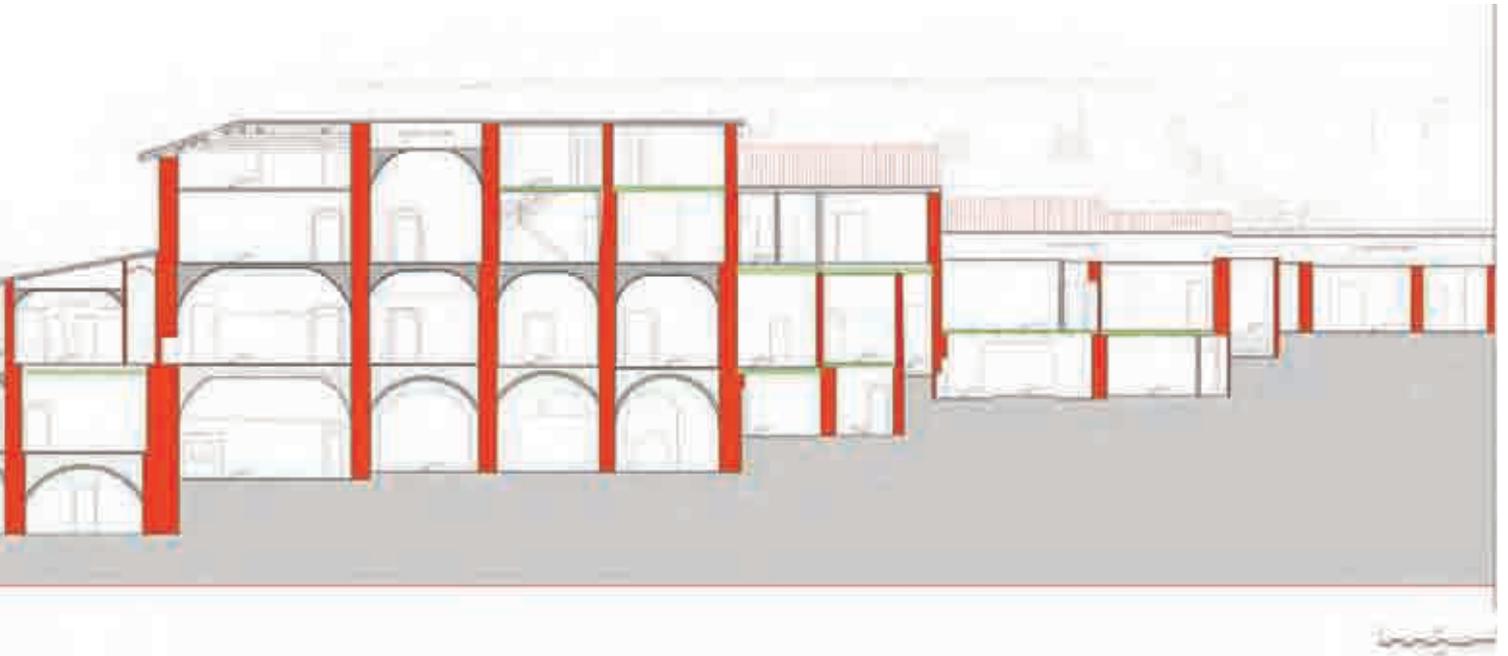


*Gli esempi riportati in queste pagine corrispondono rispettivamente, dalla pagina precedente, a: volta in mattoni di taglio, volta in muratura, volta in mattoni in foglio, solaio in legno, solaio in putrelle e voltine, solaio in latero-cemento.*









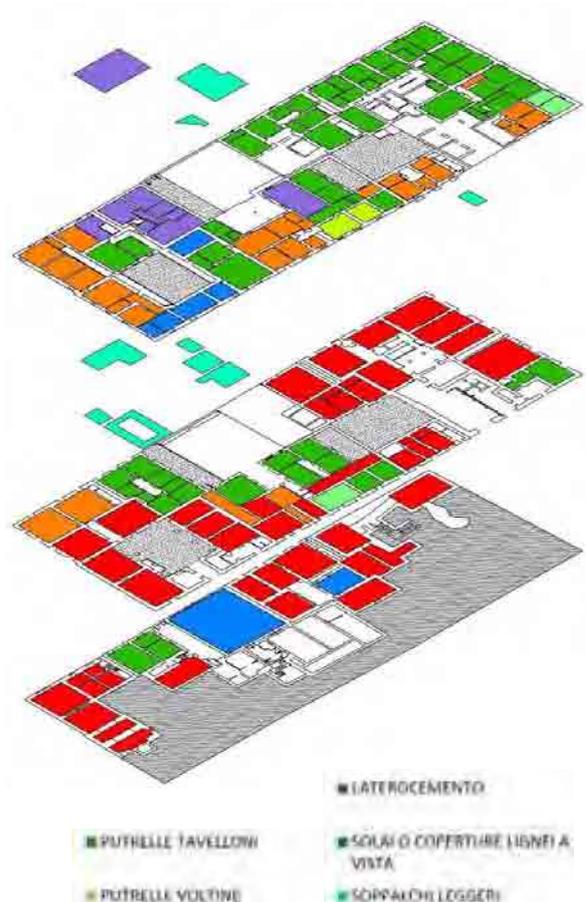
Per le verifiche di un solaio ligneo è necessario dimensionarne i travi e travetti, i loro interassi, lo spessore dello scempiato e i relativi carichi a cui è sottoposto. Ovviamente la stessa attenzione va estesa all'analisi delle coperture e dei sistemi voltati. Le curvature delle volte devono essere graficizzate correttamente trasformando una informazione tipologica in una informazione geometrica che permette di individuare non solo la morfologia ma anche la massa e di conseguenza le spinte che il sistema voltato scarica sulle murature su cui poggia.

Questa metodologia di analisi va estesa a tutti gli elementi dell'organismo architettonico, anche nel caso di solai in latero-cemento o in cemento armato: anche qui l'attenzione si deve porre nella verifica delle dimensioni di putrelle e travetti o nell'individuazione dei ferri in travi e cordoli o nella verifica delle caratteristiche meccaniche

dei conglomerati cementizi. Questa tipologia di rilievo è sempre più utilizzata anche per l'analisi degli edifici realizzati nel Novecento che presentano telai in cemento armato e solai in latero-cemento.

Le informazioni necessarie alla identificazione ed al dimensionamento di tutti gli orizzontamenti che costituiscono un aggregato, sarebbero visibili solo se ogni singolo vano fosse attraversato da una sezione, cosa complessa in edifici con geometrie articolate e ampie superfici; con l'inserimento di una sezione dei singoli impalcati in ogni ambiente e con la realizzazione dello sfogliato dei solai si ovvia a questo problema evitando di realizzare numerose sezioni per descrivere in alzato ogni ambiente interno.

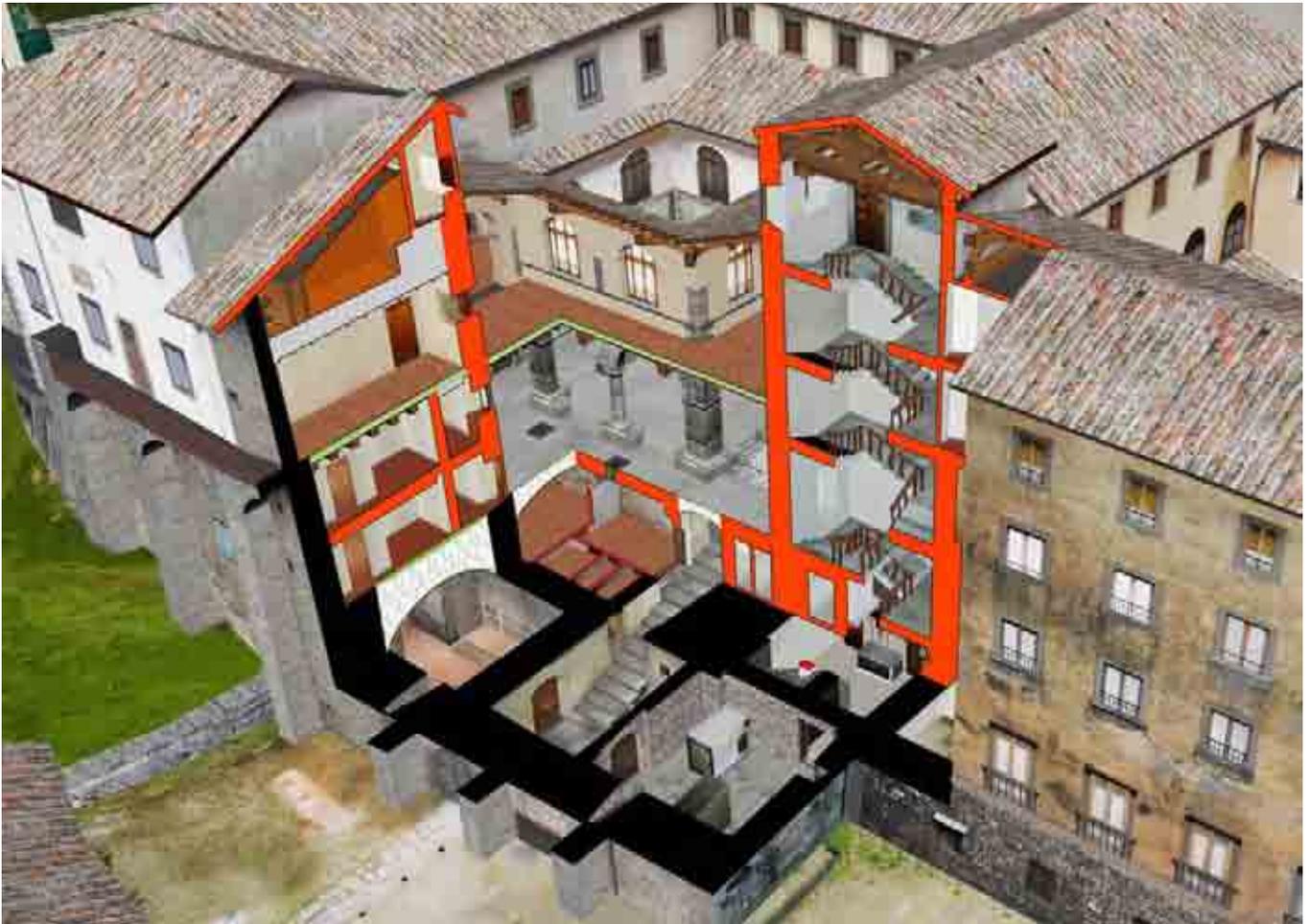
Le scala di restituzione grafica più appropriata per le piante e le sezioni è quella 1:50, con particolari tecnologici



1:20 e/o 1:10. Può essere utile valutare in scala 1:100 un modello tridimensionale esploso in cui si evidenziano i singoli elementi strutturali, sempre in scala 1:100 può essere redatta una pianta dei livelli sovrapposti per comprendere al meglio se all'interno dell'edificio sono presenti discontinuità murarie o elementi strutturali che non sono opportunamente sostenuti.

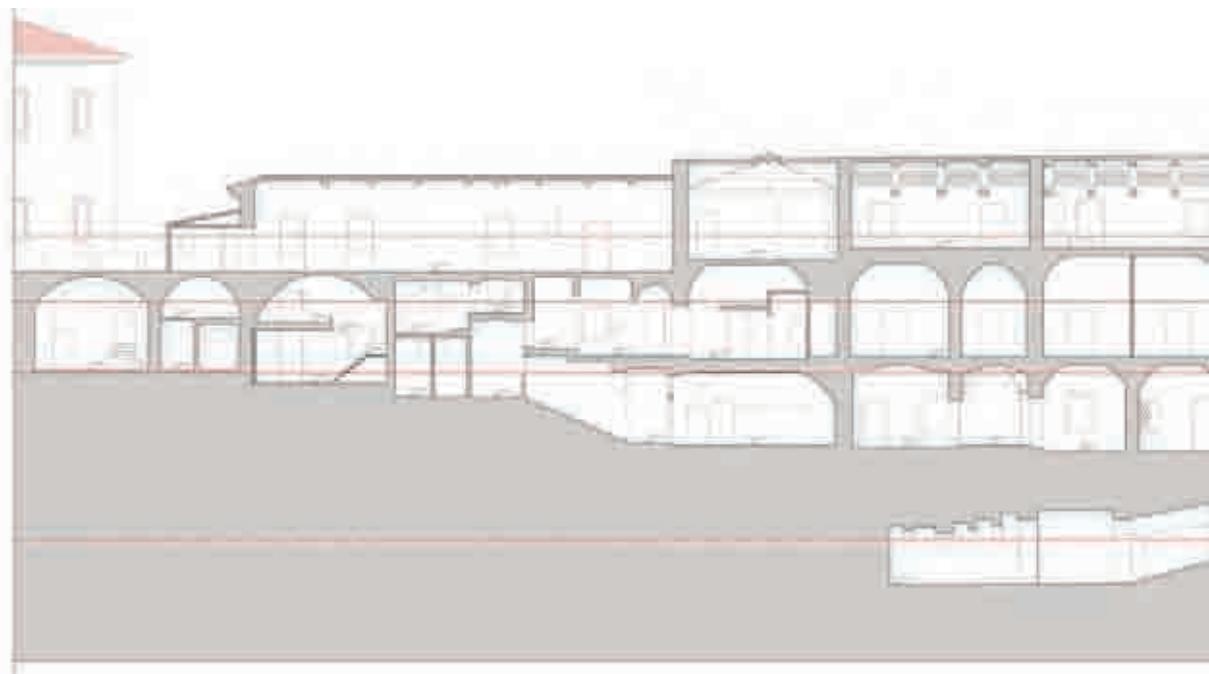
La necessità di realizzare un attento rilievo strutturale, con l'individuazione non solo delle tipologie costruttive ma anche con il dimensionamento delle strutture è indispensabile al fini di realizzare un corretto modello utile per il calcolo strutturale il più simile possibile a

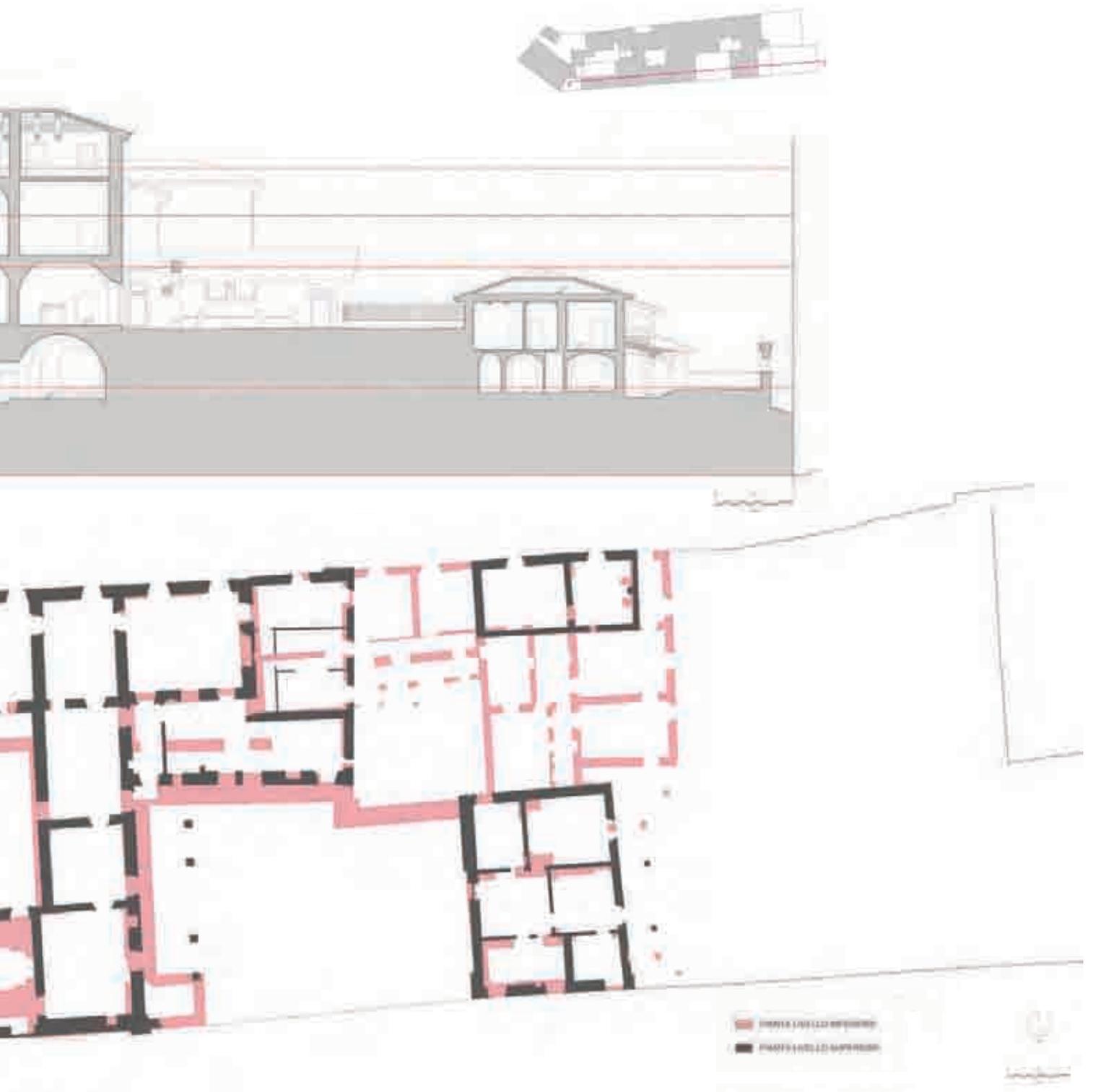
quello reale. Se i dati ottenuti con il rilievo strutturale vengono rapportati con quelli di un'accurata ricerca storica, è possibile ipotizzare un modello statico originario per comprendere se i dissesti in atto su questo edificio siano dovuti ad un sottodimensionamento che l'edificio presentava sino dalla realizzazione, se la causa sono invece le variazioni che l'organismo architettonico ha subito negli anni o se sono stati originati dall'evento sismico. Diventa così possibile valutare l'andamento delle tensioni che interessano le strutture portanti e ipotizzare quindi il tipo di intervento da effettuare per rendere di nuovo funzionale l'immobile.

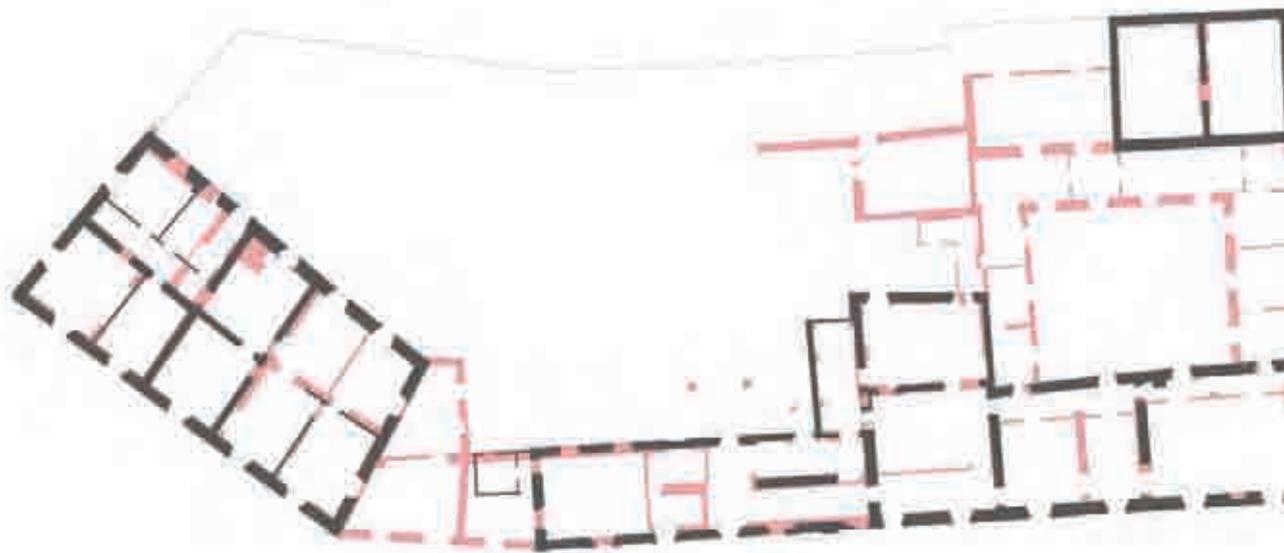


*Nella pagina precedente: la soluzione grafica per l'individuazione e l'analisi delle strutture portanti verticali e degli orizzontamenti divisi per tipologia e secondo i livelli dell'aggregato, proposta nella Bozza di "Linee Guida" ReLUIIS 2010.*

*Sopra: un esempio di spaccato prospettico sul quale vengono riportate le informazioni strutturali.*







*Negli elaborati proposti in queste e nelle precedenti pagine, viene individuata la sovrapposizione delle strutture murarie verticali fra i livelli dell'aggregato. La lettura della sovrapposizione è possibile effettuando il confronto ogni due livelli sovrapposti e differenziando con un colore più chiaro il livello inferiore da quello sovrastante più scuro. Questi elaborati permettono di localizzare eventuali disallineamenti fra le murature portanti che si sviluppano in altezza secondo i vari livelli dell'aggregato.*



**2.3.2 Lettura e rappresentazione del quadro fessurativo e della meccanica dei dissesti**

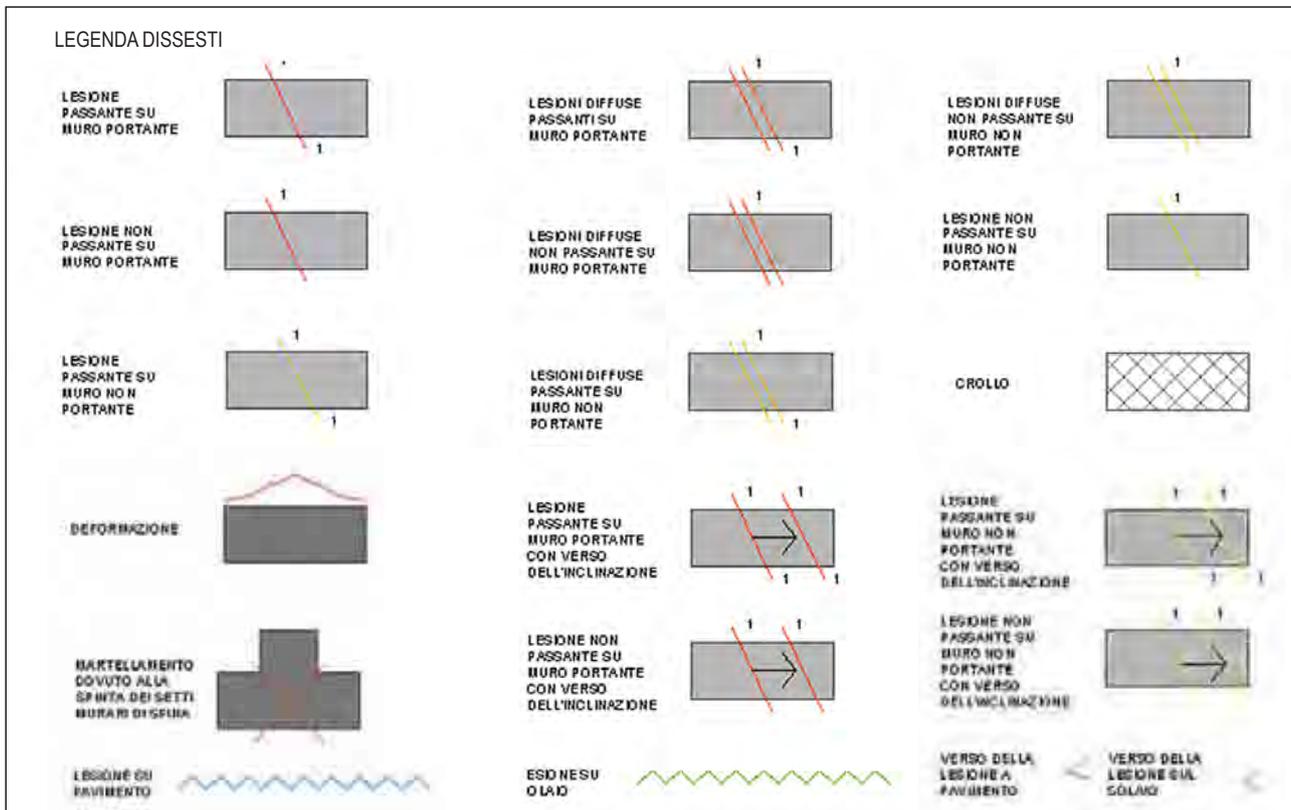
I dissesti rappresentano l'alterazione dell'equilibrio statico di un manufatto e possono essere causati per tre diversi tipi di problematiche: inadeguatezza strutturale; scorretto intervento di riuso, ripristino e restauro; eventi esterni che hanno sollecitato l'edificio stressando le strutture.

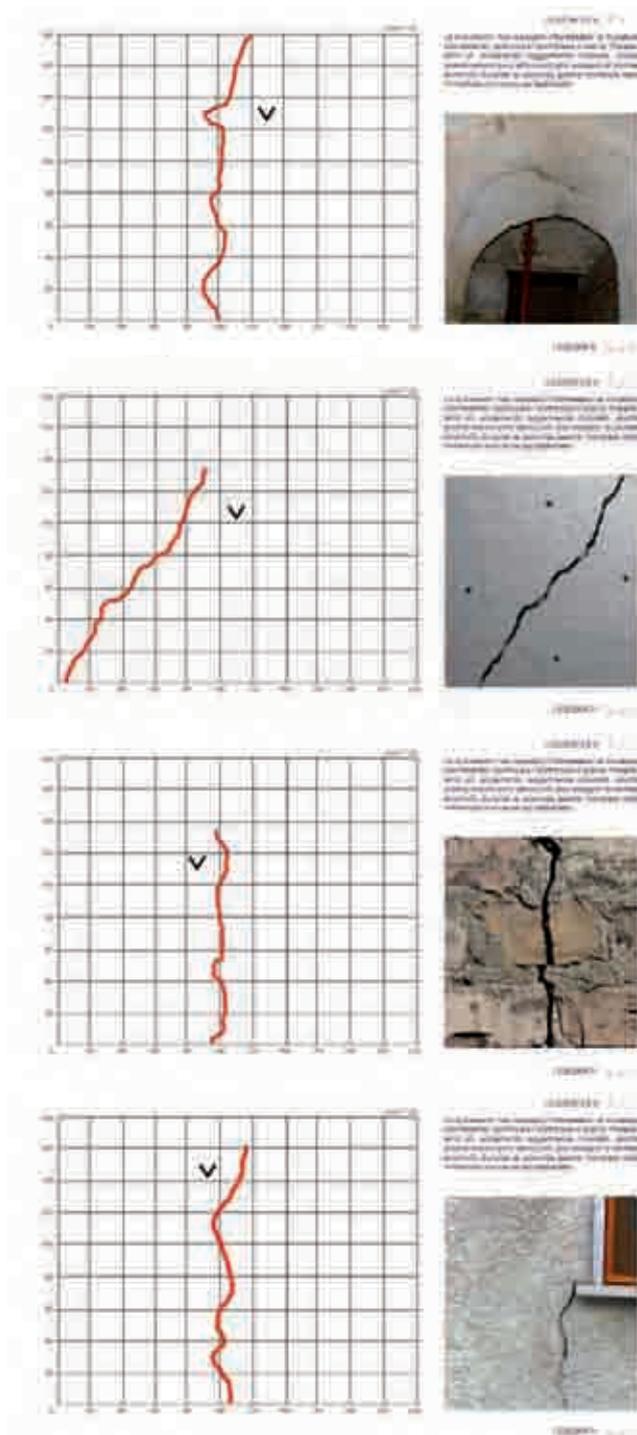
I dissesti, intesi come modificazioni subite da un immobile o dalle sue singole componenti<sup>31</sup>, vengono individuati dalle lesioni, che sono soluzioni della continuità muraria per rottura del materiale, dalle deformazioni, che sono variazioni della forma geometrica degli elementi architettonici una volta superato il limite elastico delle strutture, e dai crolli che rappresentano la massima variazione di equilibrio statico.

Se ad ogni tipo di lesione e/o deformazione corrisponde un certo tipo di dissesto, altrettanto non può dirsi per il rapporto dissesto-causa perturbatrice, in quanto un dissesto può essere causato da più cause perturbatrici<sup>32</sup>.

Rilevare dei dissesti significa individuare e riportare sugli elaborati grafici del rilievo le lesioni e le deformazioni principali, evidenziando quelle prodotte dalla causa perturbatrice. È indispensabile che per ogni lesione si individui il verso, la direzione, che andrà indicata con una freccia, se questa è passante o no, che verrà esplicitato dalla presenza di un solo numero se è non passante e da due se è passante, e se essa si è manifestata su una muratura portante o su un tamponamento.

Risulta necessario inoltre numerare le lesioni, non solo per una loro schedatura<sup>33</sup>, ma anche per poterle individuare e correlare alle piante, sezioni e prospetti. In pianta devono inoltre essere riportate le lesioni sui solai e quelle proiettate dalle coperture; questa informazione aiuta a capire quanto il dissesto sia localizzato o diffuso all'interno della fabbrica. La presenza di deformazioni va chiaramente rappresentata con un apposito simbolo e servirà a comprendere meglio i punti in cui l'edificio è sottoposto a problematiche pressoflessionali.

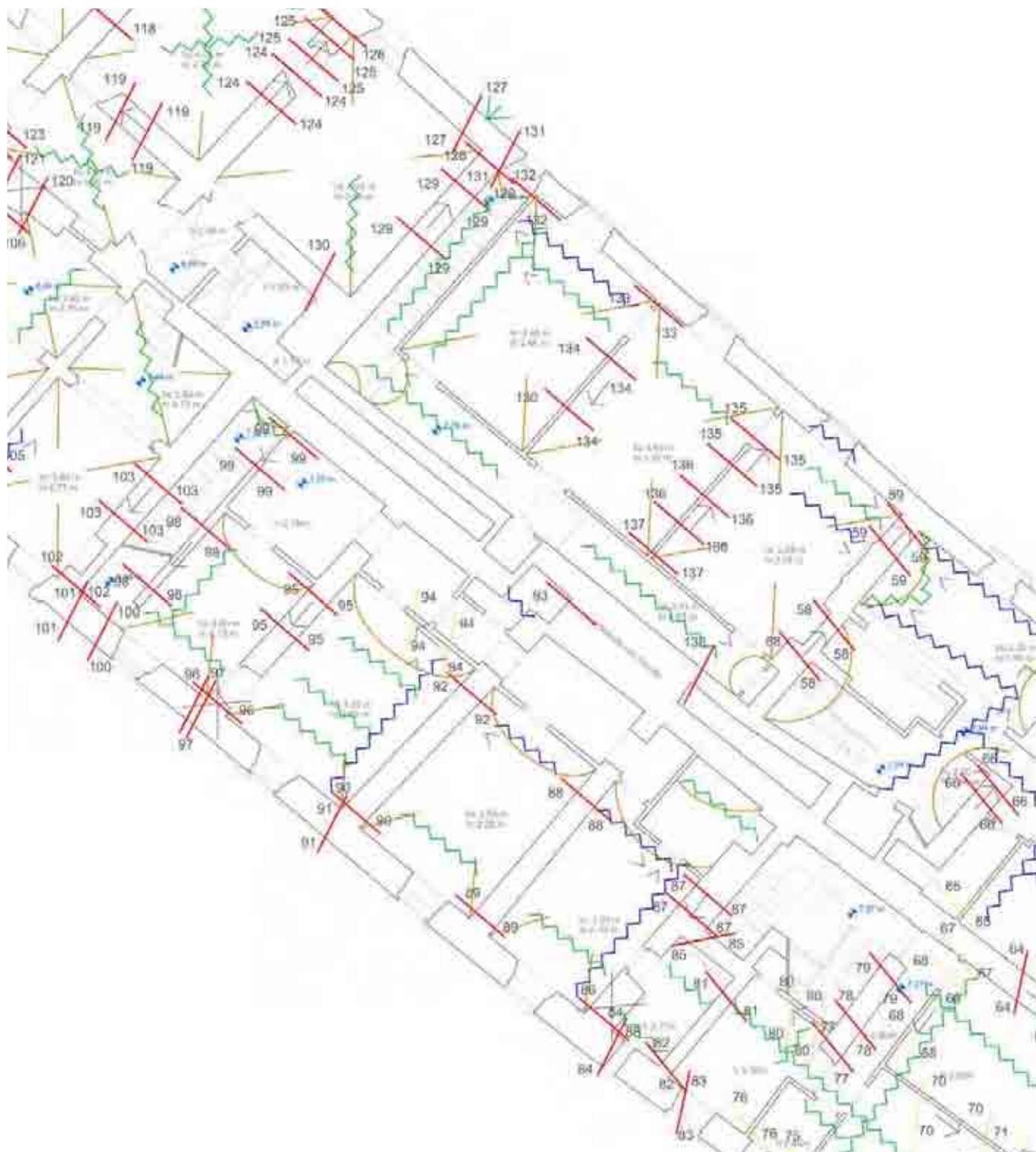


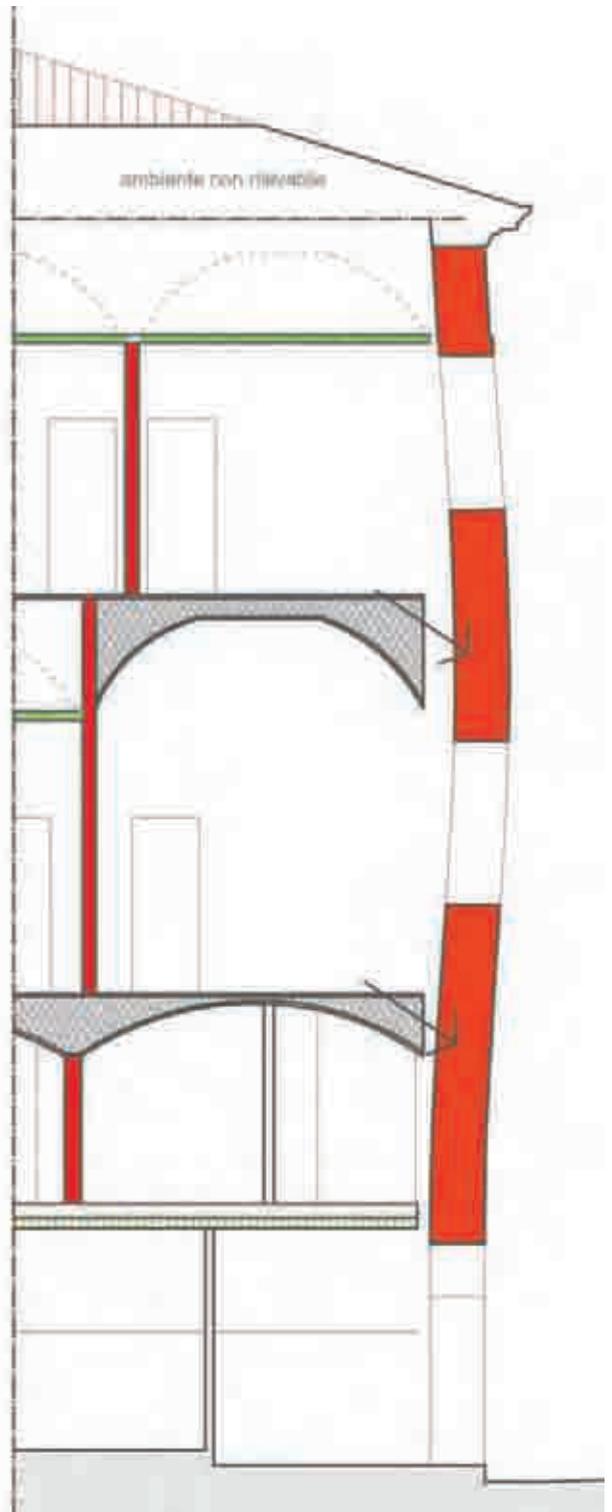
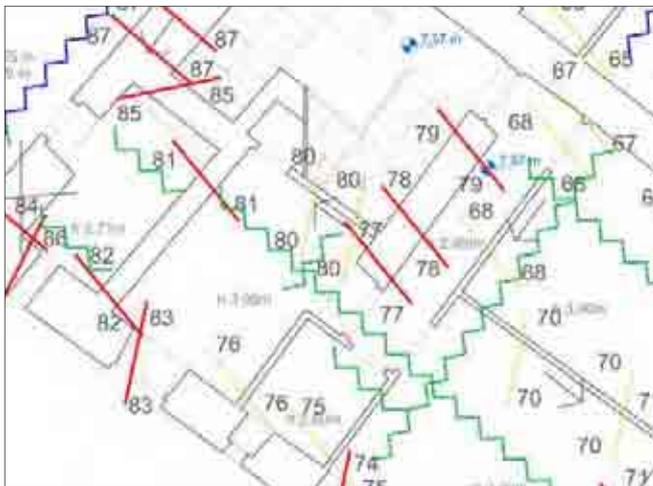
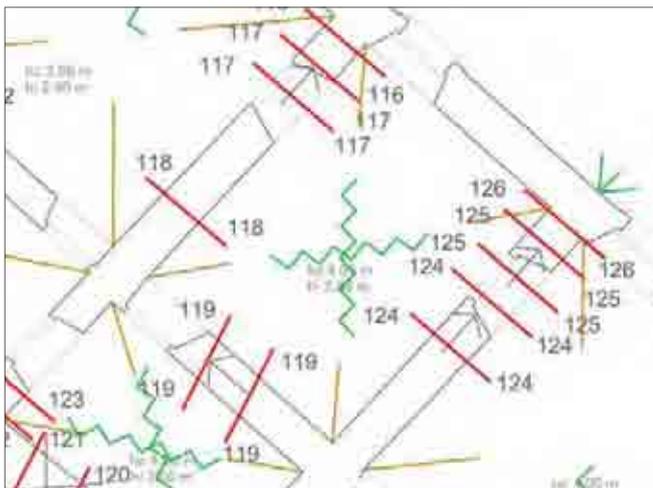
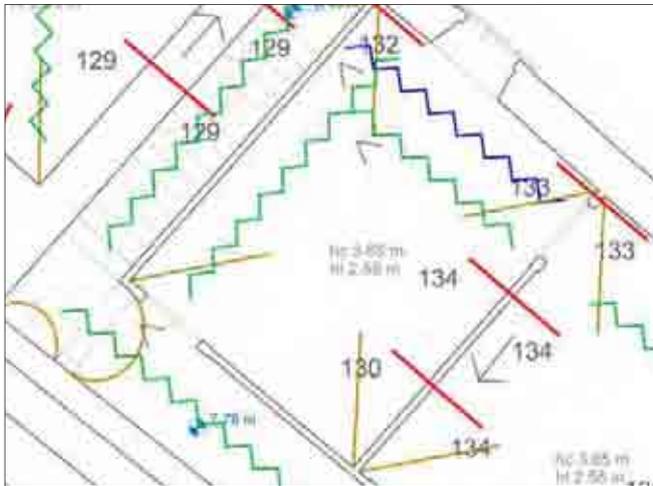


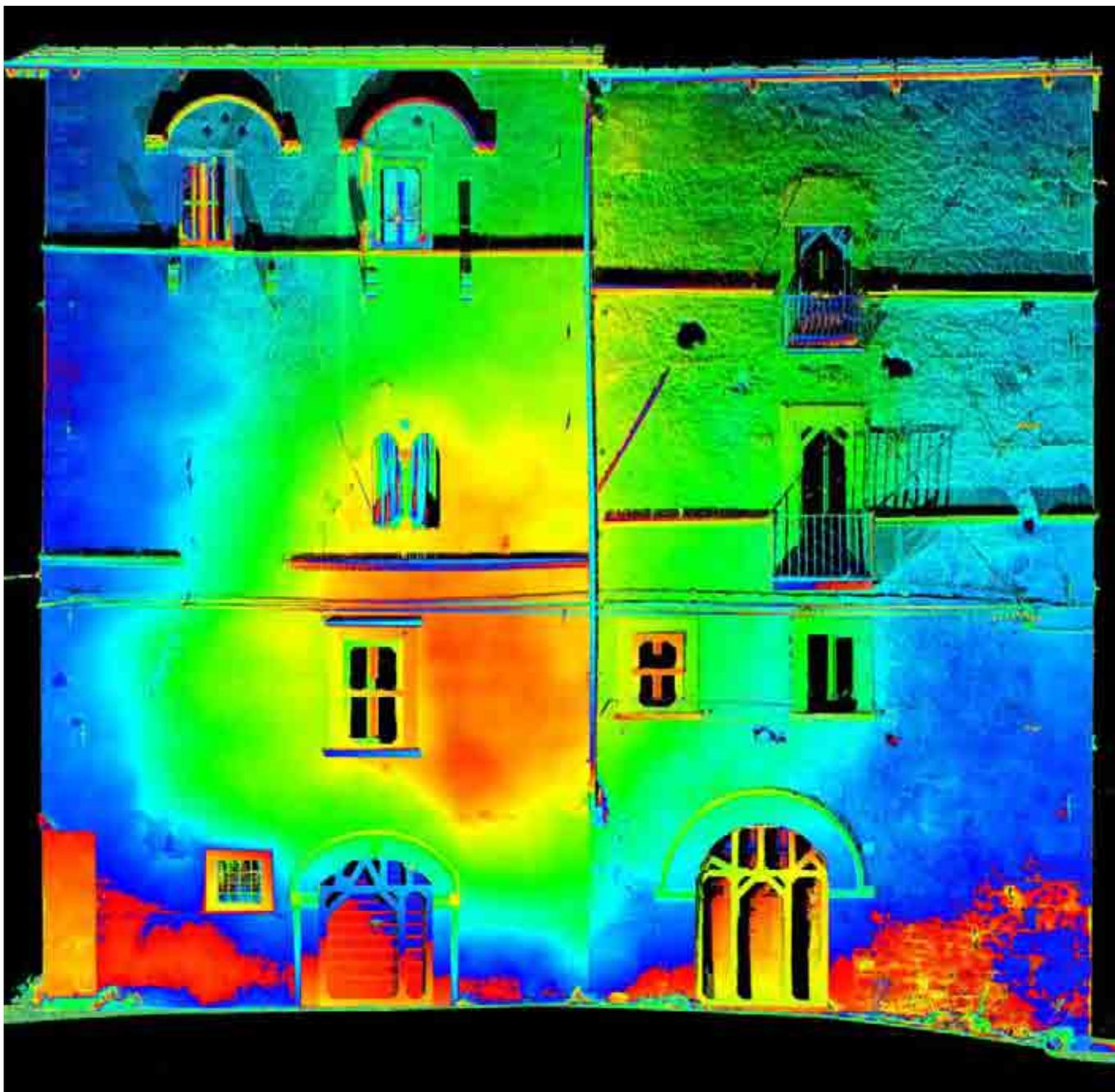
La creazione di modelli tridimensionali, associati ai disegni in scala 1:50, permettono di comprendere come i singoli dissesti si correlino tra di loro. L'ausilio del rilievo laser scanner, opportunamente calibrato per estrarre dati utili a graficizzare l'esatta morfologia di tutte le deformazioni, aiuta nella possibilità di conoscere e acquisire il dato morfologico dell'elemento architettonico fino al dettaglio millimetrico. È possibile visualizzare il colore reale dei materiali che costituiscono l'oggetto grazie alla colorizzazione dei punti con l'inserimento nella nuvola di punti delle fotografie orbitali, individuando, ad esempio, oltre che le caratteristiche materiche, i degradi superficiali presenti sull'oggetto architettonico. Nella visualizzazione della nuvola di punti definita *elevation map*, vi è la possibilità di assegnare una scala di colori e un determinato *range* dimensionale alla nuvola, in modo da ottenere una sorta di carta tematica con proiezioni quotate degli andamenti delle varie superfici rese con i diversi colori (dal blu al rosso) a diverse quote rispetto ad un piano di riferimento da posizionarsi a scelta dell'operatore. Risulta evidente che più piccolo sarà il *range* definito per il cambio di colore e più facile sarà individuare anche la minima deformazione plastica sulla suddetta superficie. Queste funzionalità accompagnate da una corretta interpretazione delle informazioni a disposizione, possono rivelarsi di grande aiuto nella lettura di dissesti che difficilmente sarebbe stato possibile rilevare



Nelle immagini in questa pagina sono riportati alcuni esempi di schede per il rilievo delle lesioni. Queste vengono dimensionate indicandone il verso, vengono localizzate sull'organismo architettonico e sono integrate dall'immagine fotografica ed una breve descrizione testuale.







*Il prospetto di un aggregato del centro storico di L'Aquila restituito da una orthoimage prodotta dalla nuvola di punti del rilievo laser scanner. In questo elaborato, visualizzato con colorazione secondo "elevation map", viene evidenziata una deformazione plastica del fronte; Il range di colori, qui definito dal blu al rosso, viene impostato secondo un intervallo millimetrico calibrato lungo la direzione ortogonale e uscente dal piano di riferimento (retta normale del piano) posizionato parallelamente al prospetto da analizzare. I punti relativi alla superficie del fronte e corrispondenti alle aree che hanno subito la deformazione, acquisiscono una colorazione diversa che varia progressivamente, nei colori del range impostato, man mano che i punti si discostano dal piano ideale di riferimento e superando l'intervallo millimetrico riferito ad ogni colore.*

con i tradizionali strumenti. In linea generale si definisce degrado l'alterazione sia fisiologica che patologica dei materiali. Come è noto il campionamento e l'elenco delle principali forme di degrado è stato realizzato dal CNR; il prodotto della ricerca è stato raccolto e codificato nelle *NorMaL* 1/85, 24/86 e 1/88, in cui un abaco dei degradi mette in relazione gli effetti e le cause che li hanno scaturiti<sup>34</sup>.

Vari studiosi hanno analizzato le relazioni tra cause ed effetti delle diverse forme di degrado, raramente però questi si sono interessati del rilievo e della restituzione grafica delle patologie.

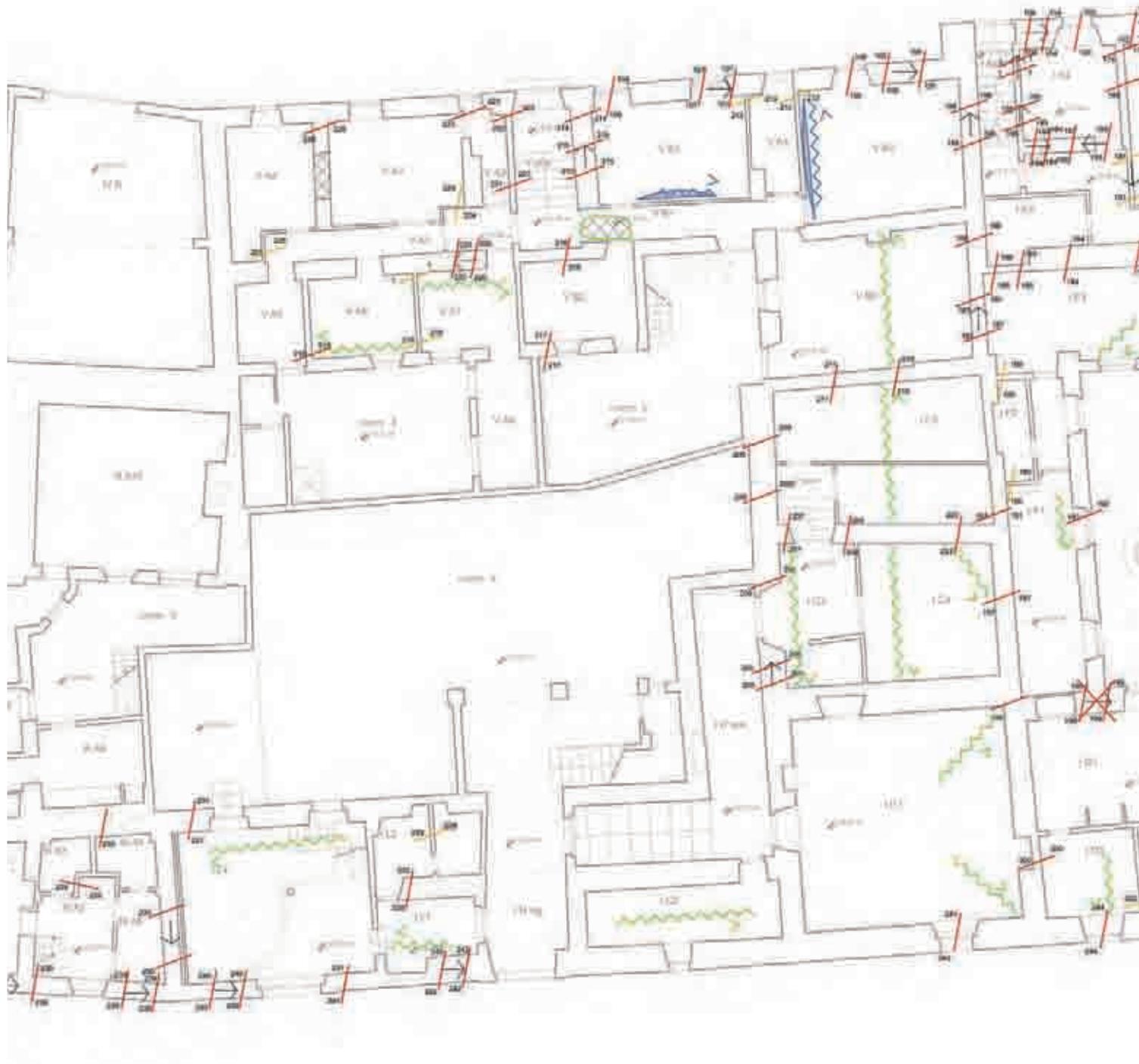
Le *NorMaL*<sup>35</sup> associano ad ogni scheda di degrado un retino permettendo di rendere uniformi le legende dei degradi, la chiarezza di questa simbologia risulta più efficace dall'utilizzo di campiture piene colorate che limita la lettura alla sola visione degli elaborati grafici con stampe a colori. L'utilizzo invece di retini graficamente diversi permette di riprodurre gli elaborati anche in bianco e nero. L'impiego di mappature colorate permette però una lettura

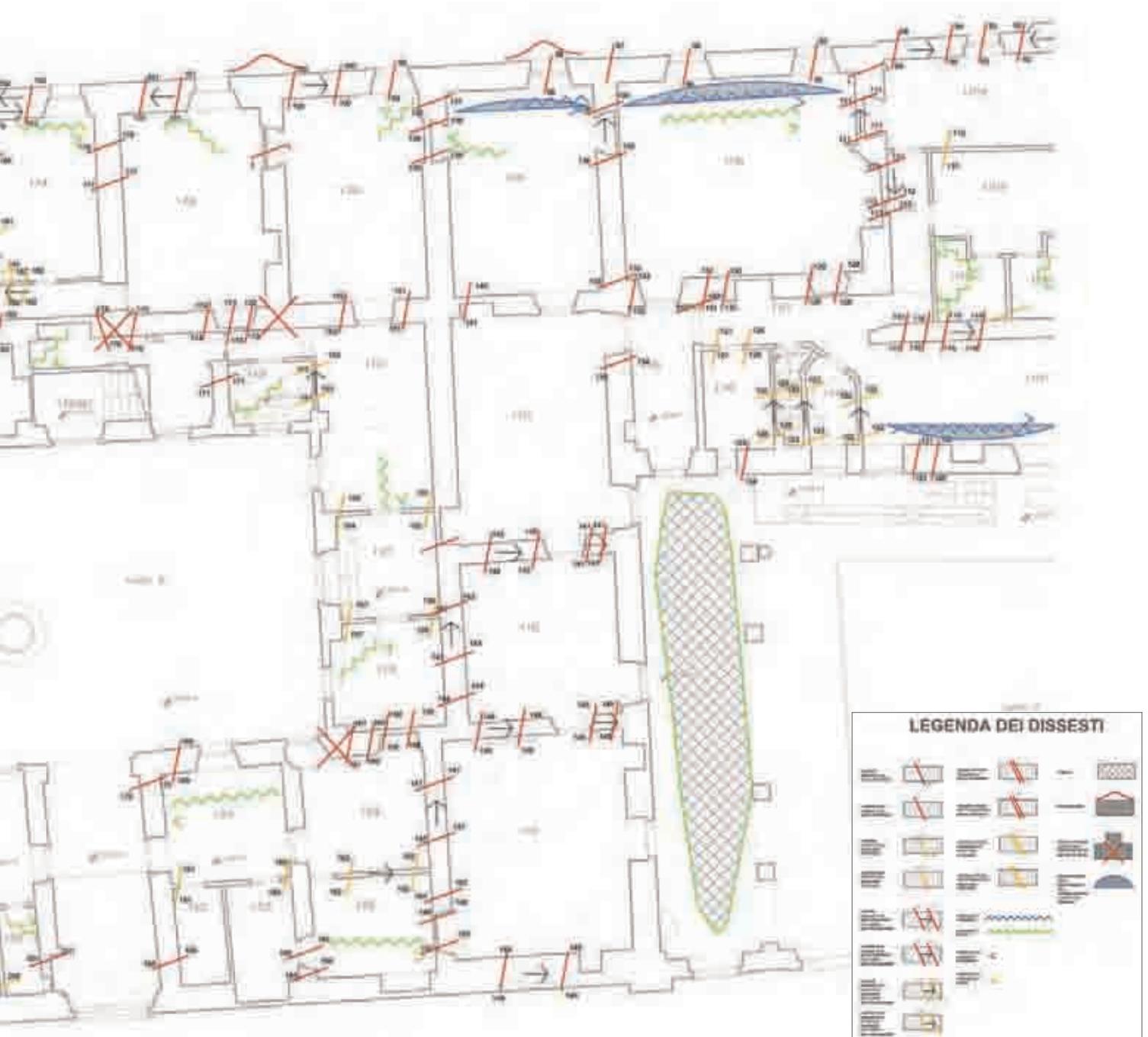
immediata delle principali forme di degrado. Associare quindi a ogni tipologia di degrado un retino, graficamente diverso dagli altri, e collegarlo a una diversa coloritura permette una facile riproducibilità facendo comunque emergere, grazie ai colori, le patologie principali.

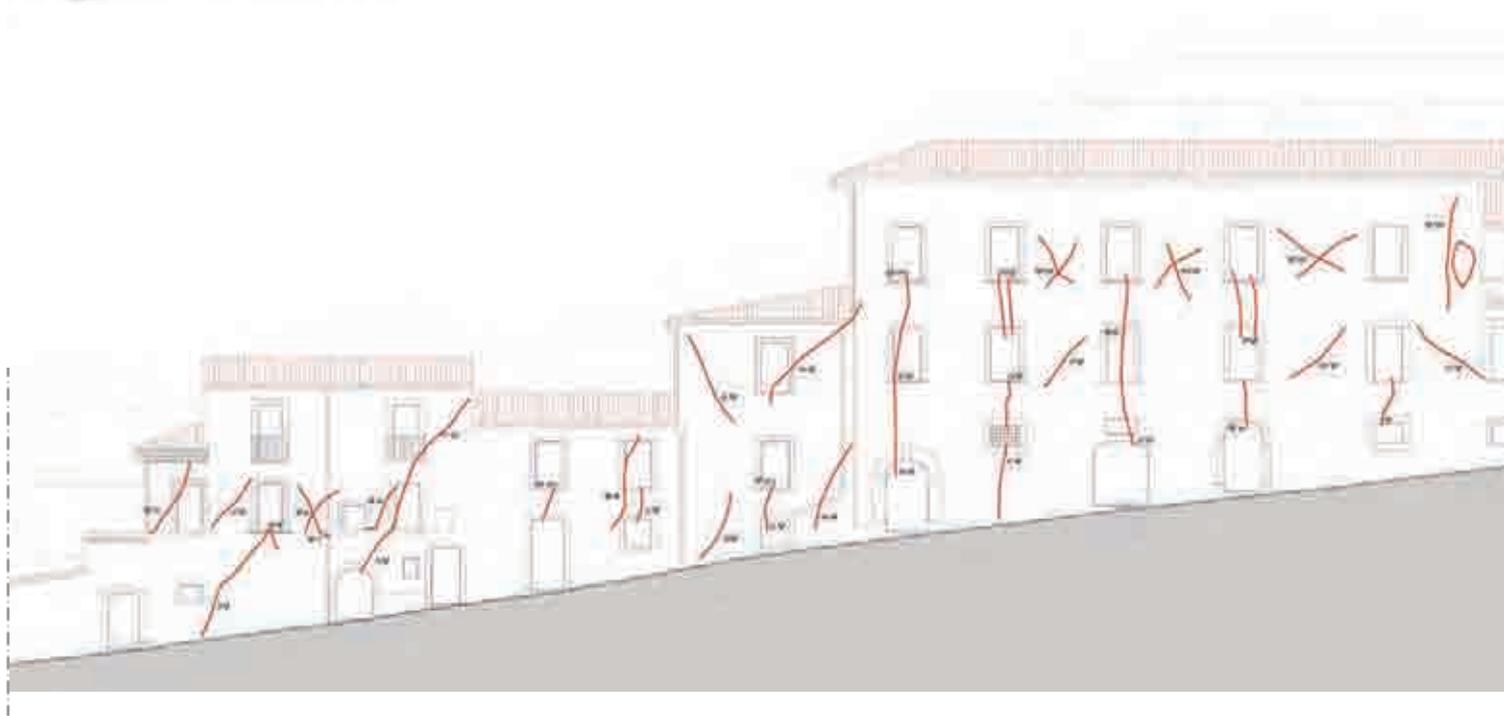
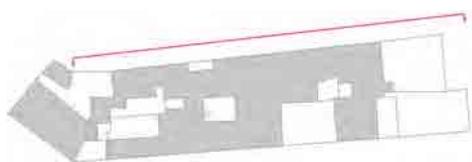
La restituzione grafica del rilievo strutturale dei dissesti e del degrado è rappresentata attraverso tre elaborati differenti; questo permette di avere un quadro di informazioni più ordinato ma con il rischio di perdere la correlazione tra dissesto-degrado e qualità-tipologia degli elementi strutturali. E' preferibile quindi avere tutti e tre i livelli di informazioni raccolti nel medesimo file *.dwg* ma sfruttando *layers* diversi, raggruppati per cartelle, permettendo all'occorrenza di accendere e spegnere le varie voci a secondo delle informazioni che ricerca chi analizza gli elaborati. Questo consente di creare delle carte tematiche ibride e soprattutto permette al progettista di intersecare i dati e le informazioni contenute nei tre livelli conoscitivi in maniera singolare ed autonoma.

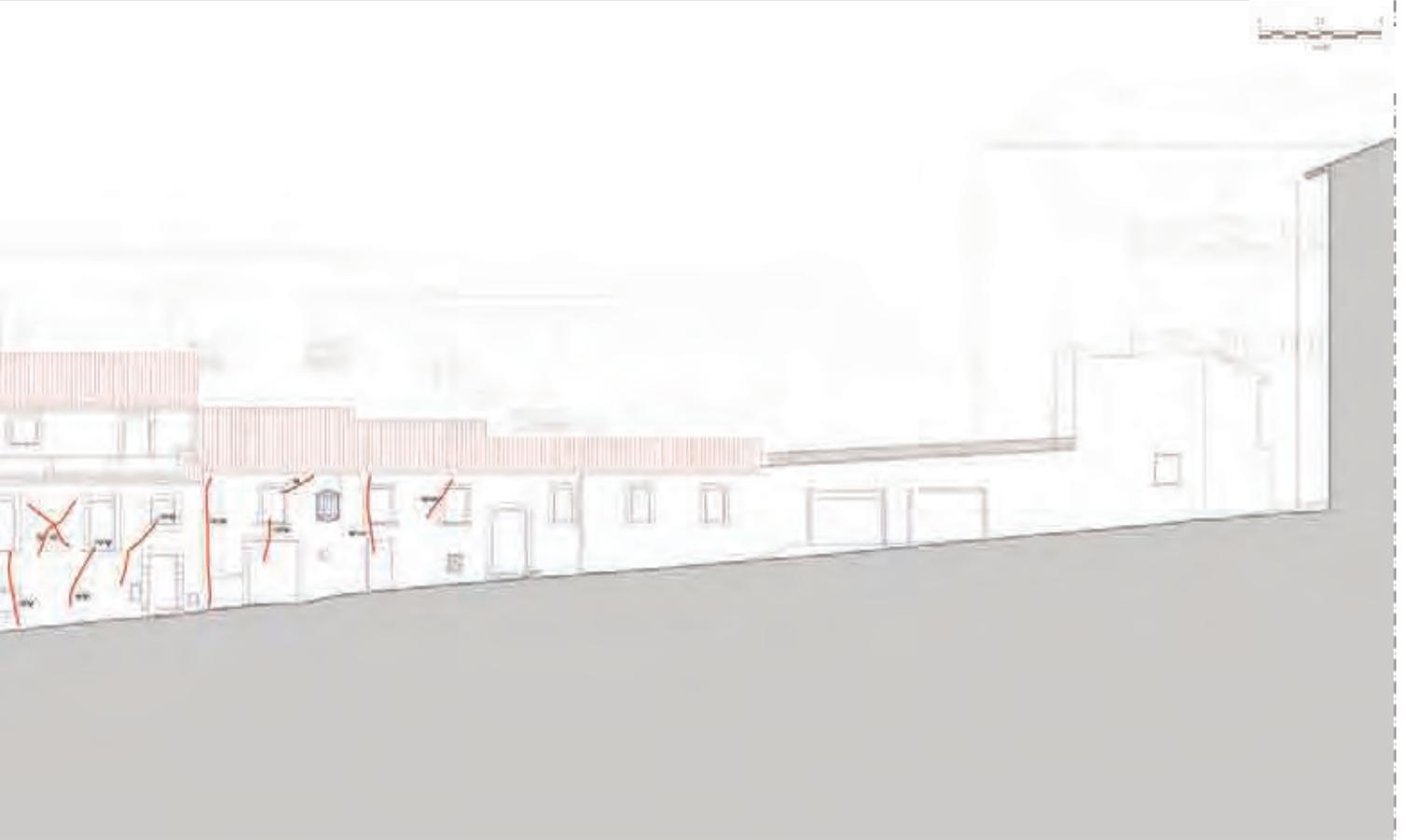
Layer	Nome	Color	Style	Layer	Nome	Color	Style
01	01 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Yellow	Solid	01	01 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Yellow	Solid
02	02 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Green	Solid	02	02 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Green	Solid
03	03 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Blue	Solid	03	03 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Blue	Solid
04	04 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Red	Solid	04	04 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Red	Solid
05	05 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Cyan	Solid	05	05 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Cyan	Solid
06	06 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Magenta	Solid	06	06 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Magenta	Solid
07	07 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Black	Solid	07	07 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Black	Solid
08	08 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	White	Solid	08	08 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	White	Solid
09	09 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Blue	Solid	09	09 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Blue	Solid
10	10 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Green	Solid	10	10 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Green	Solid
11	11 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Yellow	Solid	11	11 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Yellow	Solid
12	12 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Cyan	Solid	12	12 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Cyan	Solid
13	13 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Magenta	Solid	13	13 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Magenta	Solid
14	14 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Black	Solid	14	14 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Black	Solid
15	15 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light White	Solid	15	15 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light White	Solid
16	16 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Blue	Solid	16	16 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Blue	Solid
17	17 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Green	Solid	17	17 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Green	Solid
18	18 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Yellow	Solid	18	18 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Yellow	Solid
19	19 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Cyan	Solid	19	19 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Cyan	Solid
20	20 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Magenta	Solid	20	20 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Magenta	Solid
21	21 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Black	Solid	21	21 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Black	Solid
22	22 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light White	Solid	22	22 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light White	Solid
23	23 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Blue	Solid	23	23 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Blue	Solid
24	24 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Green	Solid	24	24 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Green	Solid
25	25 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Yellow	Solid	25	25 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Yellow	Solid
26	26 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Cyan	Solid	26	26 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Cyan	Solid
27	27 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Magenta	Solid	27	27 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Magenta	Solid
28	28 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Black	Solid	28	28 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Black	Solid
29	29 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light White	Solid	29	29 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light White	Solid
30	30 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Blue	Solid	30	30 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Blue	Solid
31	31 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Green	Solid	31	31 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Green	Solid
32	32 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Yellow	Solid	32	32 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Yellow	Solid
33	33 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Cyan	Solid	33	33 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Cyan	Solid
34	34 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Magenta	Solid	34	34 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Magenta	Solid
35	35 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Black	Solid	35	35 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Black	Solid
36	36 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light White	Solid	36	36 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light White	Solid
37	37 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Blue	Solid	37	37 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Blue	Solid
38	38 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Green	Solid	38	38 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Green	Solid
39	39 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Yellow	Solid	39	39 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Yellow	Solid
40	40 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Cyan	Solid	40	40 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Cyan	Solid
41	41 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Magenta	Solid	41	41 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Magenta	Solid
42	42 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Black	Solid	42	42 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Black	Solid
43	43 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light White	Solid	43	43 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light White	Solid
44	44 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Light Blue	Solid	44	44 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Light Blue	Solid
45	45 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Light Green	Solid	45	45 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Light Green	Solid
46	46 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Light Yellow	Solid	46	46 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Light Yellow	Solid
47	47 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Light Cyan	Solid	47	47 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Light Cyan	Solid
48	48 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Light Magenta	Solid	48	48 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Light Magenta	Solid
49	49 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Light Black	Solid	49	49 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Light Black	Solid
50	50 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Light White	Solid	50	50 LINEE IDENTIFICAZIONE STRA...	Light Light Light Light Light Light White	Solid

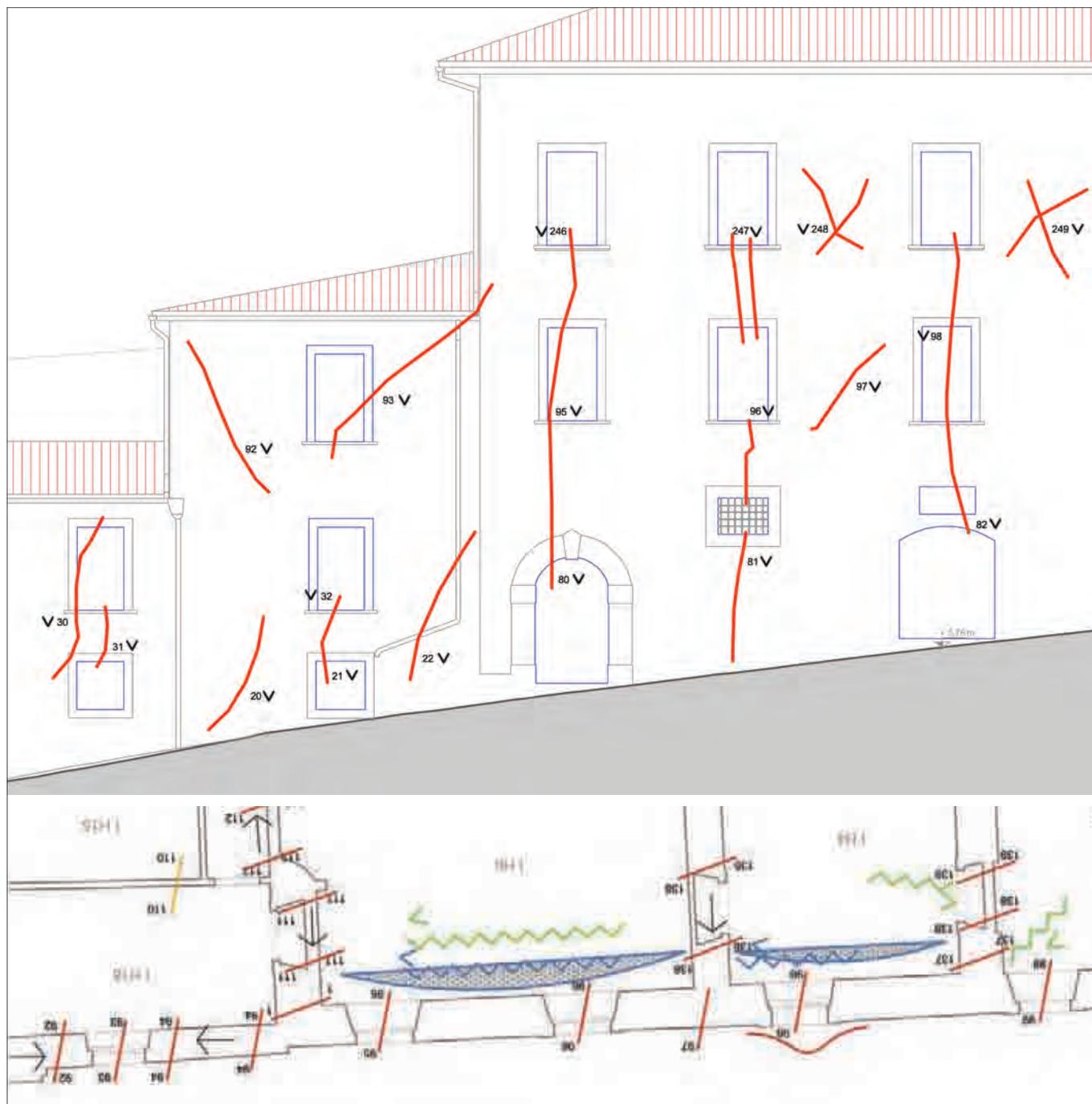
L'organizzazione del file *.dwg* di AutoCAD per la restituzione grafica 2D secondo la divisione dei layer relativi ai degradi e ai dissesti.











*In questi elaborati grafici viene evidenziata la possibilità di interpretare la meccanica dei dissesti generale grazie alla numerazione delle lesioni che offre la corrispondenza fra quelle presenti sui prospetti e quelle riportate sulle piante. L'indicazione inoltre, del verso e della direzione delle lesioni, aiuta nella comprensione della dinamica generale dei movimenti. Nelle piante vengono riportate anche le lesioni relative agli orizzontamenti, sia sul piano di calpestio del vano specifico che la proiezione delle lesioni localizzate sul relativo solaio di copertura, sempre ai fini dell'indicazione di una corrispondenza dei dissesti diffusi.*

Bisogna considerare che, spesso, questo tipo di rilievo è richiesto per edifici in pessimo stato di conservazione o che hanno subito danni dal sisma e quindi le condizioni in cui si è costretti ad operare sono complesse e non sempre, per motivi di sicurezza, non uniformi. Prima del rilievo è quindi necessario che l'edificio sia messo in sicurezza e che questa operazione sia condotta valutando vari aspetti: salvaguardare l'edificio da ulteriori dissesti, non mettere in pericolo la vita dei tecnici che devono operare, valutare le problematiche legate alla futura cantierizzazione.

Per impostare un programma di monitoraggio è necessaria una preventiva e accurata analisi del funzionamento strutturale, e successivamente una interpretazione dei dissesti in atto, in modo da definire i parametri più significativi che consentono di valutare eventuali evoluzioni pericolose per la stabilità dell'insieme o di singole parti dell'edificio. Il monitoraggio visivo con controllo periodico rappresenta il punto di partenza di tale attività. Informazioni aggiuntive possono essere acquisite attraverso il monitoraggio strumentale di alcuni parametri ritenuti significativi. Il movimento delle lesioni può essere controllato con continuità e a distanza, è necessario tuttavia considerare i diversi livelli di pericolosità degli spostamenti. Il monitoraggio che comunque necessita di una preliminare interpretazione del meccanismo di dissesto, può rappresentare una preziosa alternativa all'intervento a vantaggio della conservazione.



*Nell'immagine in alto a destra: un esempio di modellazione 3D per l'interpretazione della meccanica dei dissesti.*

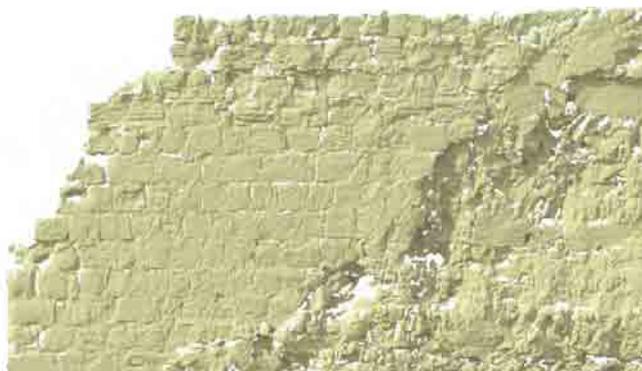
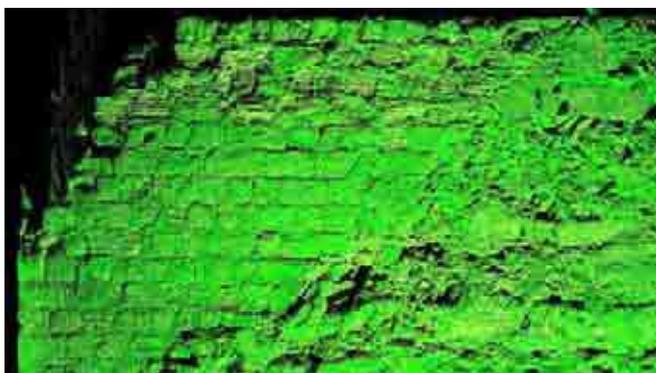
*Nelle immagini qui sotto: due esempi di strumenti per il monitoraggio delle lesioni.*



## 2.4 MODELLAZIONE TRIDIMENSIONALE PER L'INTERPRETAZIONE E LA GESTIONE DEI DATI

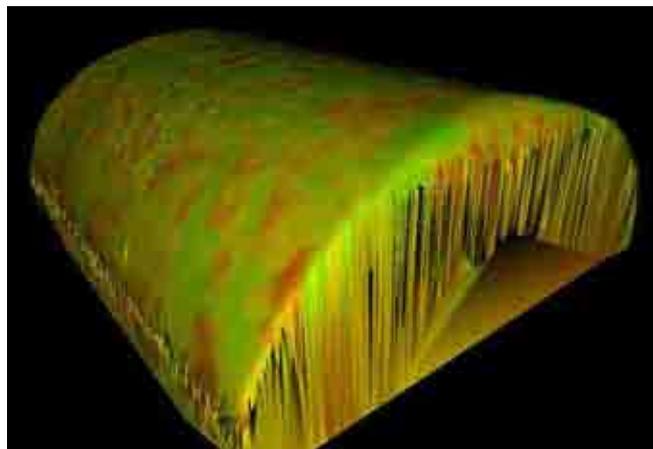
La costruzione di un modello virtuale tridimensionale rappresenta un potente strumento di gestione del rilievo architettonico e della interconnessione fra la visualizzazione grafica e le informazioni presenti nella banca dati costituita.

Lo sviluppo del modello tridimensionale dell'aggregato urbano, partendo dalle elaborazioni dei dati del rilievo strumentale integrato, può essere intrapreso secondo metodologie diverse connesse alla modellazione 3D e gestita da molteplici *software* presenti in commercio. La disomogeneità della nuvola di punti 3D, dovuta alle cause precedentemente citate e sostanzialmente riferita alla presenza di coni d'ombra degli elementi propri di un contesto post-sisma, escludono la scelta di una modellazione poligonale o "meshatura" da effettuare direttamente sulla nuvola di punti come unica soluzione possibile<sup>36</sup>.

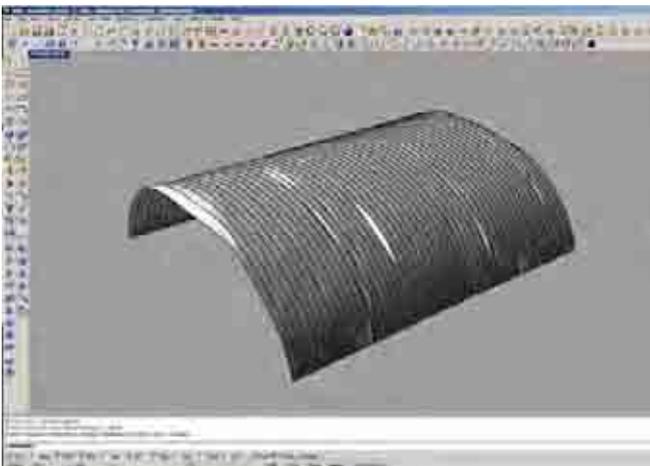
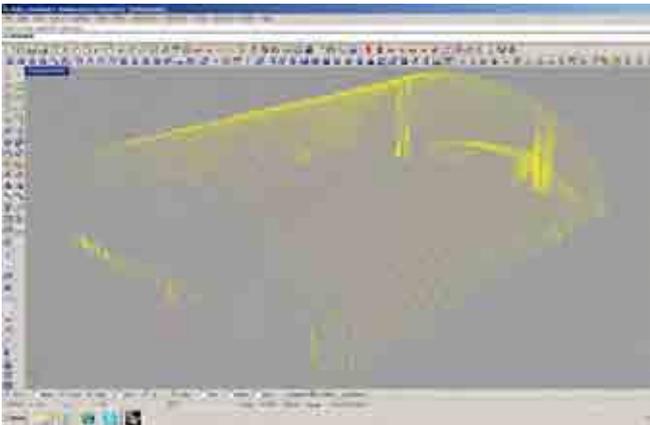
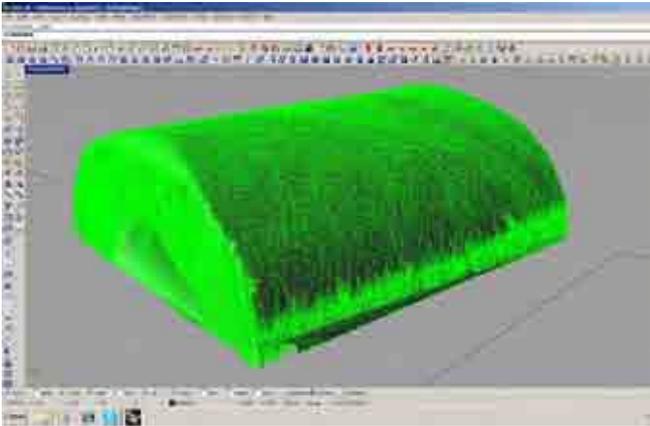


La possibilità di avere a disposizione sezioni 2D vettoriali estrapolate dai piani di taglio inseriti nella nuvola di punti, con le dovute integrazioni grafiche derivanti da altre metodologie di rilevamento, permette di avere un riferimento preciso per il processo di modellazione tridimensionale geometrica manuale secondo la costruzione di superfici e volumi. Queste rappresentano infatti sezioni interne, prospetti e piante dell'aggregato, costituendo il dato metrico affidabile risultante da tutte le elaborazioni precedentemente descritte. È possibile integrare tali sezioni aggiungendo piani di taglio sulla nuvola di punti sezionandola dove si necessitano informazioni aggiuntive per la modellazione.

L'operazione di modellazione geometrica, partendo dai profili delle suddette sezioni, può essere effettuata secondo diverse tecniche che, differenziandosi nelle modalità secondo i vari tipi di *software* presenti, sostanzialmente fanno riferimento alla "costruzione per estrusione" della superficie o del solido secondo una direzione dalla curva o polilinea di riferimento, o alla "costruzione per rivoluzione", dove la superficie viene creata estrudendo la curva secondo un asse ed un angolo assegnato di rivoluzione.



*In queste immagini: alcuni esempi di modellazione tridimensionale (meshatura) effettuata direttamente sulle nuvole di punti delle scansioni laser scanner.*

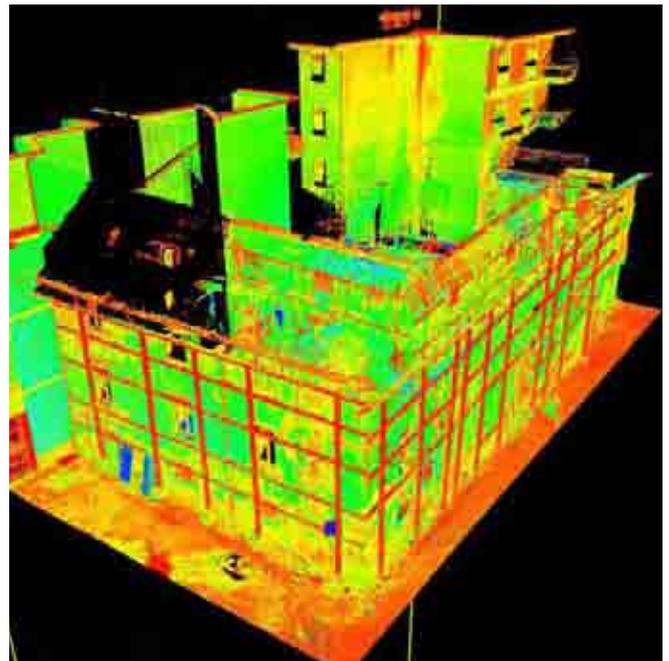


*Nelle immagini sopra: un esempio di modellazione poligonale di una volta a botte e quello di modellazione secondo l'estrusione di polilinee create dalle sezioni trasversali della nuvola di punti della stessa volta.*

L'ambiente tridimensionale offerto dalla nuvola di punti come dato originale del rilievo, offre già di per se molteplici gradi di informazioni; oltre alla possibilità già descritta di poter estrarre sezioni piane vettorializzabili, molte altre sono le possibilità di gestione di questo tipo di dato.

L'operazione laboriosa della modellazione tridimensionale secondo i vari processi possibili deve essere condotta se esistono esigenze specifiche che soltanto un modello poligonale 3D può soddisfare. Normalmente questo tipo di elaborazioni tridimensionali vengono create per ovviare alla complessa operatività del data base 3D nel suo ambiente di gestione "naturale" che necessita di dover operare su computer con una elevata potenza *hardware* richiesta dall'utilizzo di programmi che gestiscono nuvole di punti, oltre che alla conoscenza di specifiche competenze connesse strettamente non solo alla padronanza del *software* di gestione ma anche al controllo delle attività operative strumentali effettuate in campo.

*In basso: una vista della nuvola di punti 3D di un aggregato rilevato nel centro storico di L'Aquila. L'ambiente di gestione tridimensionale delle nuvole di punti (Cyclone), offre molteplici possibilità di fruizione e visualizzazione virtuale.*



La gestione di modelli tridimensionali con un livello di utilizzo semplificato è necessaria anche a fruitori che devono semplicemente interrogare un GIS tridimensionale, o navigare all'interno del modello da una piattaforma virtuale *web on line*.

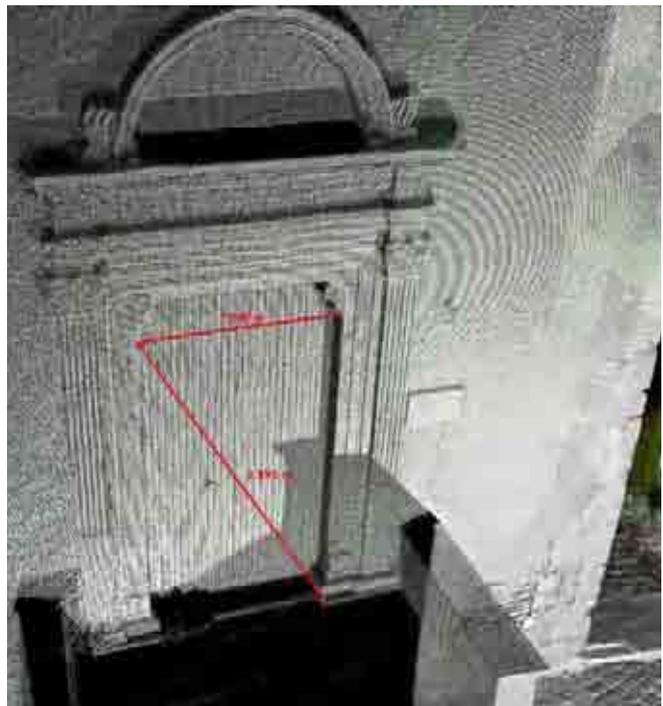
Con l'ausilio del modello tridimensionale geometrico le diverse forme di degrado possono essere mappate direttamente sul modello permettendo in qualsiasi momento di svilupparne e conoscerne dimensionalmente le superfici anche se queste si trovano su elementi curvi o inclinati. Inoltre, attraverso l'applicazione di un sistema tipo GIS, la mappatura del degrado può servire per creare una base cartografica utile a georeferenziare un database che permetta di valutare le diverse patologie attraverso l'evidenziazione dei singoli degradi visualizzati sul modello. In questo modo sarà possibile interrogare il database sulle singole patologie, o su combinazioni di queste, che potranno venire evidenziate sul modello 3D per favorirne una lettura tridimensionale, riferendo inoltre all'elemento interrogato i dati contenuti nel data base di rilievo.

Il software dedicato *Cyclone Leica Geosystems*, se opportunamente usato e con una *workStation* idonea, consente già di per sé una fruizione virtuale all'interno degli ambienti rilevati offrendo la possibilità di inserire telecamere intorno ed internamente alla nuvola di punti che creano un percorso di punti di vista dando vita ad una animazione video. La nuvola di punti, come precedentemente spiegato, è inoltre visualizzabile secondo i colori originali di tutti i materiali che sono stati scansionati, grazie all'inserimento all'interno del data base del dato fotografico delle foto orbitali scattate durante le operazioni di rilievo strumentale. Questa visualizzazione se attivata nelle viste ortogonali ai fronti opportunamente isolati, permette di produrre *orthoimage* colorizzate adatte alla calibrazione del collage fotografico ad alta risoluzione per la creazione di ortofotopiani di precisione dei prospetti esterni, operazione possibile grazie all'utilizzo di software per l'elaborazione di immagini come *Adobe Photoshop*, ed ovviamente per la loro lucidatura vettoriale in ambiente CAD. Nel sottoparagrafo dedicato al rilievo diagnostico 2.3.2 è accennata inoltre la possibilità della visualizzazione secondo *elevation map* delle suddette *orthoimage* e di sezioni verticali od orizzontali, ulteriore possibilità

offerta dalla nuvola di punti stessa ed utile ad individuare spostamenti millimetrici e deformazioni plastiche delle superfici scansionate rispetto al piano ideale. La nuvola di punti è inoltre misurabile in ogni sua parte direttamente all'interno del software di gestione e da essa si possono estrarre infinite sezioni piane verticali ed orizzontali in ogni momento oltre a permetterne aggiornamenti ed integrazioni e molteplici possibilità di visualizzazione.

Le esigenze di un modello tridimensionale, con caratteristiche di altra natura da quelle della nuvola di punti, devono quindi corrispondere a possibilità diverse rispetto a quelle sopra citate e già disponibili senza lo sforzo di una modellazione solida.

Il modello costituito deve inoltre risultare utile alle simulazioni di sollecitazioni per effettuare una corretta analisi statica e visualizzare la meccanica generale dei dissesti.



Sopra: la nuvola di punti offre anche la possibilità di poter essere direttamente misurata nel suo ambiente di gestione virtuale (*Cyclone*).

Nella pagina seguente: il modello tridimensionale di un aggregato rilevato, in alto, nella versione integra, in basso, con l'evidenziazione della meccanica generale dei dissesti amplificandone gli effetti per una migliore comprensione.



Nelle figure che seguono vengono descritte queste possibilità di utilizzo; il modello 3D, prima visualizzato nella condizione integra, viene deformato secondo le dinamiche del dissesto innescate dal movimento sismico e dedotte dalle analisi specifiche dei dati di rilievo strutturale e diagnostico incrociati. Il quadro fessurativo

e l'individuazione dei ribaltamenti o delle rototraslazioni dei fronti, con localizzazione delle deformazioni plastiche, viene in questi modelli sintetizzato e amplificato, permettendo, grazie alla colorazione dei dissesti che ne evidenzia i movimenti significativi, una comprensione immediata delle condizioni generali.

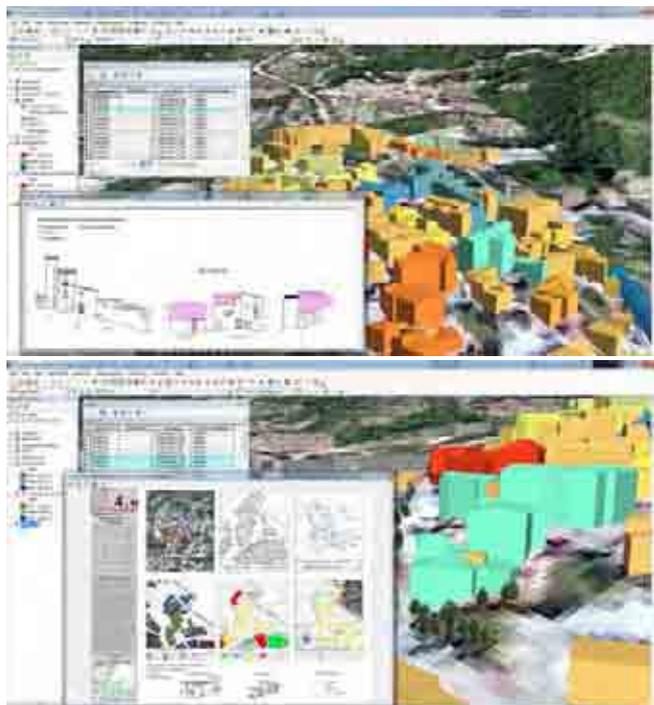
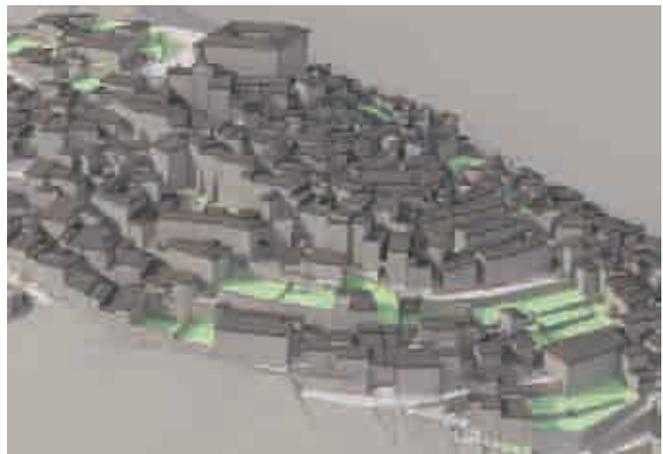
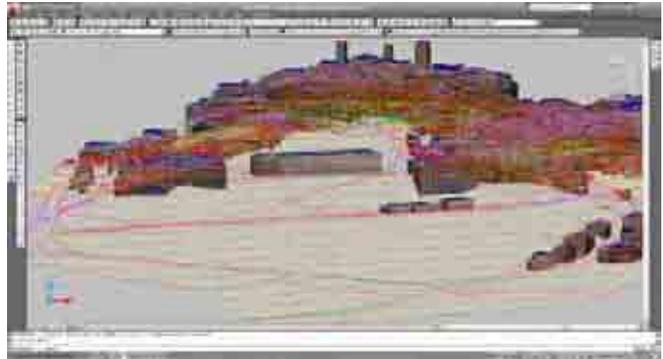


*In queste immagini: il modello tridimensionale di un aggregato rilevato, in alto, nella versione integra, in basso e nella pagina seguente, con l'evidenziazione della meccanica generale dei dissesti amplificandone gli effetti per una migliore comprensione.*



La tecnologia GIS applicata a livello tridimensionale permette di trasformare il modello geometrico in un vero e proprio contenitore intelligente del data base di rilievo e di analisi, strutturandosi secondo i livelli di indagine definiti e riferendosi ai vari elementi tridimensionali che compongono l'aggregato nello spazio virtuale.

Questo tipo di operazione risulta essere una efficace soluzione per la gestione tridimensionale dei dati soprattutto se estesa ai modelli 3D dei contesti urbani. La modellazione 3D con le possibili applicazioni sopra descritte e sviluppata su interi centri storici, permette anch'essa fruizioni virtuali interattive come quelle GIS o di navigazione web che risultano strumenti utilissimi alla pianificazione e al monitoraggio territoriale a scala urbana. Nelle immagini in basso sono riportati alcuni esempi di GIS tridimensionale applicato ai modelli di alcuni centri storici del cratere sismico abruzzese per la gestione dei dati riferiti ai relativi Piani di Ricostruzione.



Sopra: un esempio di modellazione 3D estesa alla scala urbana per la creazione di un GIS tridimensionale. L'esempio riportato fa riferimento ad elaborati del Piano di Ricostruzione post-sisma 2009 del centro storico di Bugnara (AQ). Coordinatore scientifico: Prof. Romolo Continenza (DICEAA, Università degli Studi di L'Aquila); elaborazioni del sistema informativo tridimensionali: Ilaria Trizio (ITC - CNR, L'Aquila).

Sopra: un esempio di modellazione 3D estesa alla scala urbana. L'esempio riportato fa riferimento ad elaborati del Piano di Ricostruzione post-sisma 2009 del centro storico di Navelli (AQ), realizzato dall'Università degli Studi di Parma - DICATeA, responsabile scientifico: Prof. Paolo Ventura.

## NOTE

1. Il Progetto di Ricerca sul rilievo e l'analisi diagnostica di sei aggregati in muratura del centro storico dell'Aquila e di alcuni Comuni del cratere sismico abruzzese, è stato possibile grazie a Convenzioni stipulate fra il Dipartimento di Architettura, Disegno, Storia, Progetto e Consorzi di imprese private, nello specifico il Consorzio Stabile 99. Il Gruppo di Ricerca è stato così costituito: Responsabile scientifico - *Prof. Arch. Stefano Bertocci*, Coordinatore tecnico - *Dott. Arch. Carlo Raffaelli*, Analisi strutturale e diagnostica - *Dott. Arch. Giovanni Minutoli*, Rilievo laser scanner - *Arch. Luca Cosimi*, Rilievo topografico - *Dott. Arch. Francesco Tioli*. Le attività di rilievo diretto e di restituzione grafica hanno visto la collaborazione di: *Arch. Marco Cipriani*, *Arch. Dario Cintolesi*, *Arch. Valentina Censini*, *Arch. Angela Sbragi*, *Arch. Alessio Bruni*, *Arch. Lara Cutini*.

2. "L'identificazione dell'aggregato, si colloca a monte di tutto il procedimento di rilievo ed analisi finalizzato al progetto d'intervento. Per aggregato strutturale può intendersi un insieme non omogeneo di edifici (unità edilizio-strutturali), interconnessi tra loro con un collegamento più o meno strutturalmente efficace determinato dalla loro storia evolutiva, che possono interagire sotto un'azione sismica o dinamica in genere. L'evoluzione della città storica, avvenuta prima dell'espansione delle periferie del XX secolo, ha comportato un processo di progressivo intasamento, attraverso l'occupazione sistematica degli spazi di risulta, in adiacenza e continuità con il costruito esistente. All'interno di un aggregato edilizio sono solitamente riconoscibili gli elementi originari ed omogenei che lo hanno generato, da cui ha preso il via il processo di accrescimento edilizio, fino alla saturazione completa degli spazi liberi o degli affacci su strada. Nel caso dei centri storici l'aggregato, ove non siano presenti giunti, quali ad esempio rue o altre disconnessioni tra i diversi edifici, coincide con il termine (urbanistico) di isolato, la cui soluzione di continuità dal resto del tessuto urbano è costituita dalla presenza di strade e piazze. La presenza di elementi quali archi o volte di contrasto posti a collegamento tra aggregati contigui, non inficia la possibilità di perimetrazione ed individuazione degli aggregati, laddove tali elementi siano limitati in numero ed estensione e non alterino in modo significativo il comportamento strutturale d'insieme. Il loro eventuale contributo può essere tuttavia messo in conto mediante modellazioni analitiche, attraverso l'inserimento di azioni concentrate o vincoli. In tali casi è inoltre importante integrare le analisi effettuate tramite verifiche puntuali sulle porzioni di aggregato direttamente interessate da tali vincoli, al fine di evidenziare eventuali effetti locali ivi indotti da tali azioni concentrate. L'individuazione dell'aggregato è seguita dall'individuazione al suo interno delle unità strutturali omogenee e degli elementi che determinano eventuali interazioni tra di esse. Tale operazione in genere coincide con l'analisi dell'evoluzione costruttiva dell'aggregato, e trova un valido riscontro nell'analisi del danno occorso a seguito di un evento sismico. Infatti, l'interazione tra strutture eterogenee poste in adiacenza determina specifiche tipologie di danneggiamento, che si sommano o sovrappongono a quelle che più tipicamente contraddistinguono strutture omogenee non in aggregato. Al fine di individuare univocamente un aggregato edilizio è pertanto necessario indicare quali siano gli spazi (strade, piazze, corti interne, giunti di separazione) che lo rendono strutturalmente indipendente dagli edifici nelle immediate vicinanze. Da qui prende il via la fase conoscitiva dello stesso, cui è dedicato il capitolo che segue, volta a districare dal punto di vista storico, geometrico, costruttivo e strutturale, le unità edilizie originarie della

struttura, a cui si sono aggiunti nel tempo, per giustapposizione, altri edifici in affiancamento, ampliamenti ed interconnessioni che costituiscono i tratti distintivi dell'edilizia in aggregato". Cfr. Dipartimento Protezione Civile ReLUIS, Ufficio del Vice-Commissario Delegato per la Messa in Sicurezza dei Beni Culturali - Struttura Tecnica di Missione, *Linee Guida per il rilievo, l'analisi ed il progetto di interventi di riparazione e consolidamento sismico di edifici in muratura in aggregato*, Bozza - ottobre 2010, Versione 3, in *Inquadramento dell'aggregato e valutazioni preliminari*, p. 7.

3. "Cos'è il rilievo architettonico? Come ho già scritto più volte, mi sembra che il modo migliore per definire questa importante attività dell'architetto che si occupa di edifici storici sia rispondere: è la ricostruzione del progetto. Certo questa definizione può apparire semplicistica, ma ha il vantaggio di essere immediata. Il rilievo, infatti, è evidentemente un processo inverso, nel quale, a partire da un manufatto esistente si ricostruiscono gli elaborati necessari per realizzarlo, così com'è ora, e si interpreta l'idea progettuale, che quasi sempre non coincide esattamente con la sua realizzazione. E qui sta il punto debole della mia definizione. Un edificio storico, infatti, è il risultato di una stratificazione a volte secolare di interventi e di intenti progettuali, non è mai il risultato di un ciclo breve e concluso in sé stesso come avviene in un edificio di recente realizzazione. Ma io credo che la definizione suddetta possa essere ancora valida, se si dà al progetto il senso della sua storia, cioè di quella evoluzione continua alla quale ho fatto cenno." Cfr. R. MIGLIARI, *Per una teoria del rilievo architettonico. Primi appunti*. Sta in [www.rappresentazione.net/.../Documenti/Ricerca/Modellazione](http://www.rappresentazione.net/.../Documenti/Ricerca/Modellazione).

4. Testo unico in materia edilizia (Decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380). Art. 24 (L), Certificato di agibilità (*regio decreto 27 luglio 1934, n. 1265, articoli 220; 221, comma 2, come modificato dall'art. 70, decreto legislativo 30 dicembre 1999, n. 507; decreto legislativo 18 agosto 2000, n. 267, articoli 107 e 109; legge 28 febbraio 1985, n. 47, art. 52, comma 1*)

5. Relativamente alle modalità di esecuzione delle opere provvisionali di puntellazione esiste un utile vademecum, le "*schede tecniche delle opere provvisionali per la messa in sicurezza post-sisma da parte dei vigili del fuoco*" (STOP), predisposto dal Ministero dell'Interno. Il documento è stato prodotto nell'ambito delle attività connesse alla gestione dell'emergenza post-sisma nell'area colpita dal terremoto de L'Aquila, con provvedimento del 17/4/09 a firma del Capo del Corpo Nazionale, è stato istituito il Nucleo per il Coordinamento delle Opere Provvisionali. A tale nucleo è stato affidato il compito di garantire l'uniformità nella realizzazione delle opere provvisionali effettuate dai Vigili del Fuoco e monitorarne lo stato di avanzamento, in sinergia con gli enti del sistema di Protezione Civile nazionale preposti alla gestione dell'emergenza. Un'azione di particolare rilievo tecnico-scientifico è stata l'elaborazione di un vademecum di schede tecniche riguardanti le soluzioni progettuali delle opere provvisionali più ricorrenti per la messa in sicurezza dei manufatti danneggiati, quali puntelli di ritegno e di sostegno, tirantature, cerchiature, etc., compresi i relativi particolari costruttivi (connessioni tra gli elementi, vincoli, nodi, etc.), al fine di rendere agevole e pratico il dimensionamento sul campo delle strutture da parte delle squadre dei Vigili del Fuoco nella fase dell'emergenza post-sismica. Le schede rappresentano un utile, ma ovviamente non vincolante, riferimento tecnico per ottenere rapidamente soluzioni pre-dimensionate sicure e standardizzate, attraverso la semplice consultazione di abachi e tabelle. Nella redazione delle schede del

Vademecum, adattato alle esigenze pompieristiche, sono stati presi come riferimento tecnico-scientifico sia il manuale delle opere provvisionali urgenti post-sisma “OPUS” realizzato dal Servizio Sismico nazionale e dall’Università degli Studi della Basilicata sia altre pubblicazioni nazionali ed internazionali. I calcoli ed i dati conosciuti, sono stati sintetizzati e semplificati, con considerazioni comunque a favore di sicurezza, per fornire abachi di semplice consultazione, senza formule, che riportano le soluzioni standard realizzabili con elementi facilmente reperibili sul mercato. Dal sito *Web del Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile, Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco*, [www.vigilidelfuoco.it](http://www.vigilidelfuoco.it).

6. DECRETO N° 45 del 17 Febbraio 2011 (*Edifici di particolare pregio storico artistico – limite di contributo*). Articolo 1 (disposizioni inerenti il limite di contributo per edifici di particolare pregio storico artistico)

7. “...questa è la fase del primo approccio con l’oggetto da rilevare, la fase nella quale si compie la prima selezione delle qualità e delle grandezze dell’oggetto da studiare, si focalizza il metodo o i metodi più opportuni da mettere in atto per la rilevazione e si compie la prima discretizzazione degli innumerevoli dati che formano l’oggetto stesso. Definire quindi l’accuratezza di questa prima operazione è una delle capacità che il rilevatore acquisisce nel tempo; con l’esperienza si riesce infatti a ottimizzare il rapporto fra accuratezza dei primi elaborati di una indagine e la loro funzionalità nelle fasi successive, sempre nell’ottica di una adeguata definizione preliminare di metodi e scopi dell’operazione di documentazione.”, Cfr. S. BERTOCCHI, M. BINI, *Manuale di rilievo architettonico e urbano*, CittàStudi Edizioni, Torino, 2012. p. 31.

8. “La poligonale è una sequenza di punti di coordinate note e verificate collegati consecutivamente in un cammino, che può essere aperto o chiuso, o in una rete, utile per l’inquadramento dei successivi rilievi di dettaglio. La poligonale è un metodo di collegamento dei punti di appoggio tra i più utilizzati, sia perché di facile e relativamente veloce esecuzione, sia perché la compensazione degli errori è semplice e affidabile. La costruzione delle poligonali, che si distinguono in chiuse e aperte in relazione al fatto che il primo e l’ultimo vertice coincidano o meno, consiste nell’individuazione di un certo numero di punti fissi, che possono essere anche materializzati con l’uso di idonei picchetti assicurandosi dell’indefinitività e inamovibilità della posizione di questi ultimi. I punti da rilevare, stazioni o capisaldi, devono essere livellati e devono essere disposti in modo da costituire una spezzata, della quale sia possibile misurare tutti i lati e, possibilmente, anche tutti gli angoli; la costruzione deve rispettare la regola che, da ogni stazione o caposaldo individuato, l’operatore deve essere in grado di «vedere» e misurare le distanze dalle stazioni contigue, rispettivamente da quella che nel camminamento la precede e da quella che la segue.”, Cfr. S. BERTOCCHI, M. BINI, *Manuale di rilievo architettonico e urbano*, CittàStudi Edizioni, Torino, 2012. p. 31.

9. “La *total station*, o stazione totale, è un teodolite di ultima generazione accoppiato a un distanziometro laser, generalmente in maniera coassiale (in maniera tale che il punto dal cui viene effettuata la misura angolare – ovvero il centro dello strumento – è anche il punto dal quale viene rilevata la distanza). Attualmente, per distanze fino ad alcune migliaia di metri, vengono usati i distanziometri elettronici basati sull’emissione di onde elettromagnetiche, di determinata lunghezza e frequenza, che vengono riflesse da un

prisma, posizionato sul punto di cui si deve misurare la distanza, e ricevute di nuovo dallo strumento che ne misura lo «scostamento». Da questo scostamento viene dedotta a distanza reale del punto dallo strumento che è leggibile su *display*. La stazione totale di tipo tradizionale ha, come abbiamo visto, la necessità del posizionamento di un prisma riflettente disposto sul punto da rilevare per effettuare la misura della distanza, ma gli strumenti di ultima generazione sono dotati di tipi di distanziometri in grado di rilevare la distanza senza l’ausilio del prisma, con notevoli facilitazioni in caso di rilevamento punti inaccessibili; questi strumenti sono infatti ideali nel campo del rilievo architettonico. Le stazioni totali sono spesso dotate di un piccolo computer in grado di memorizzare automaticamente la lettura degli angoli orizzontale e zenitale, oltre che la distanza e il nome in codice, di ciascun punto; è quindi possibile scaricare i dati attraverso un apposito *software*.”, Cfr. S. BERTOCCHI, M. BINI, *Manuale di rilievo architettonico e urbano*, CittàStudi Edizioni, Torino, 2012. p. 49.

10. “Il sistema delle trilaterazioni è il più applicato nel rilievo diretto degli edifici e, in generale, consiste nel determinare ogni punto notevole, del perimetro planimetrico da rilevare, come vertice di uno o più triangoli complanari e concatenati, in maniera da costituire una rete a maglie triangolari, con una o più rette base che possono anche costituire un poligono base. Occorre stabilire preventivamente posizione verso e direzione della base per ottenere una restituzione corretta all’interno di un sistema di riferimento generale; risulta altresì indispensabile che le operazioni di presa delle misurazioni avvengano sullo stesso piano noto a partire dalla fondamentale orizzontale. In campo architettonico, prevalentemente per rilievi di interni, si usano solitamente le cosiddette quadrilaterazioni: in un vano pressoché quadrilatero si misurano i quattro lati, si misura una diagonale, in modo da fissare i punti di intersezione fra i lati per non lasciarli liberi cinematicamente tra di loro e infine, per sicurezza, viene presa anche l’altra diagonale, detta quindi diagonale di controllo. Quando si esegue un rilievo di interni, specialmente se in grandi ambienti di edifici complessi, occorre progettare una serie di quadrilaterazioni generali, possibilmente concatenate fra loro, in maniera da costruire una rete primaria, sufficientemente affidabile, alla quale ancorare, come vedremo successivamente per le poligonali, le misure di dettaglio.”, Cfr. S. BERTOCCHI, M. BINI, *Manuale di rilievo architettonico e urbano*, CittàStudi Edizioni, Torino, 2012. p. 57.

11. “Il risultato di una misurazione ha significato soltanto se il suo grado di incertezza è noto. Poiché, tuttavia, non esiste un metodo di certificazione per valutare l’accuratezza, la risoluzione, la ripetibilità o il grado di incertezza effettivo dello strumento, fatto salvo ciò che garantisce la casa produttrice, l’utente che intende sperimentare l’affidabilità delle macchine su contesti particolari deve di volta in volta mettere a punto tecniche per assicurarsi del livello di affidabilità del dato rispetto ai desiderata.”, Cfr. S. BERTOCCHI, M. BINI, *Manuale di rilievo architettonico e urbano*, CittàStudi Edizioni, Torino, 2012. p. 197.

12. Cfr. S. BERTOCCHI, M. BINI, *Manuale di rilievo architettonico e urbano*, CittàStudi Edizioni, Torino, 2012, p. 1.

13. Cfr. S. BERTOCCHI, M. BINI, *Manuale di rilievo architettonico e urbano*, CittàStudi Edizioni, Torino, 2012, p. 169.

14. La nuvola di punti è il prodotto derivante dalla scansione laser ed è l'insieme dei milioni di punti 3d misurati in un determinato ambiente e visualizzati virtualmente.

15. “Il funzionamento della tecnologia *Time of Flight* è relativamente semplice: la testa ottica del Laser Scanner emette un segnale laser che raggiunge l'elemento che si vuole rilevare e una certa quantità del raggio originale viene riflessa verso lo strumento che è predisposto per poter avvertire il segnale. La distanza del punto dallo strumento viene determinata sulla base del tempo impiegato nello svolgimento dell'azione appena descritta e sulla base della ben nota velocità della luce. Il sistema di misurazione dello scanner si basa quindi sulla conoscenza della distanza del punto e degli angoli zenitali e azimutali del raggio emesso per determinare l'esatta collocazione del punto raggiunto che viene rappresentato in uno spazio tridimensionale digitale. Il processo è semplice ma richiede apparecchiature di grande precisione, si tenga presente che la luce del segnale a impulsi del laser si sposta di circa trenta centimetri in un nanosecondo; di conseguenza il sistema di temporizzazione impiegato per misurarlo il tempo di andata e ritorno deve essere assolutamente preciso ed efficiente.”, Cfr. S. BERTOCCHI, M. BINI, *Manuale di rilievo architettonico e urbano*, CittàStudi Edizioni, Torino, 2012. p. 191.

16. “In alternativa ai sistemi a tempo di volo basati su impulsi laser, esistono sistemi basati sul processo detto *Phase Shift* o *Phase Difference* (variazione di fase o differenza di fase), dove il segnale del laser non viene emesso per impulsi ma è un segnale continuo con una lunghezza d'onda nota, il segnale viene quindi diretto verso l'oggetto che si vuole rilevare, che come nel caso del *Time of Flight* rifletterà verso la sorgente una certa quantità di segnale. In questa maniera, il ricevitore permetterà la misurazione della distanza in quanto questa sarà proporzionale alla variazione di fase subita dal segnale tra andata e ritorno. Per il resto, la misurazione degli angoli permetterà, anche in questo caso di completare il posizionamento del punto.”, Cfr. S. BERTOCCHI, M. BINI, *Manuale di rilievo architettonico e urbano*, CittàStudi Edizioni, Torino, 2012. p. 192.

17. I punti comuni fra una coppia di scansioni che devono essere registrate e quindi allineate devono essere un minimo di tre, questo permette di bloccare movimenti di rototraslazione fra i due ambienti tridimensionali rilevati che si andranno a sovrapporre su superfici comuni. Il vincolo dei tre punti, appositamente predisposti posizionando i target a diverse quote su elementi appartenenti a piani diversi, consente di avere capisaldi comuni alle due nuvole di punti con coordinate coincidenti secondo le tre direzioni cartesiane del sistema di riferimento tridimensionale  $X, Y, Z$ .

18. Spesso è opportuno valutare, durante la progettazione del rilievo strumentale, se sia utile, in termini economici e di tempo, assicurare la copertura dell'oggetto da rilevare in tutte le sue parti effettuando un elevato numero di scansioni, o se (anche in funzione della presenza in un contesto post-sisma di elementi che, estranei all'architettura da rilevare, si interpongono al raggio laser durante le scansioni di alcuni ambienti) sia più conveniente integrare queste parti con misurazioni dirette. Il vantaggio di effettuare il minimo indispensabile di scansioni laser è apprezzabile anche in una maggiore leggerezza del data base prodotto e quindi di una maggiore gestibilità dai computer.

19. “L'assenza di dato in alcune aree delle nuvole di punti, deriva spesso dalla presenza di ostacoli che si interpongono al raggio

laser generato dallo strumento, per poter essere misurato, il punto deve essere – ovviamente – raggiungibile dal segnale, perciò, se un elemento transitorio (come un passante) oppure permanente (come un albero) si trova sul percorso del segnale, questo misurerà esclusivamente la distanza sul primo elemento raggiunto, generando un vuoto per tutta l'area equivalente all'ombra proiettata dall'ostacolo. In altre parole, come una sorgente di luce posta di fronte a un oggetto ne proietta l'ombra su tutto ciò che si trova dietro l'oggetto stesso, così questi sistemi di misurazione possono presentare zone d'ombra che, all'atto pratico, risultano essere porzioni non misurate dell'oggetto. Tecnicamente queste aree nulle sono dette «spazi di occlusione» o più comunemente «occlusioni».

Cfr. S. BERTOCCHI, M. BINI, *Manuale di rilievo architettonico e urbano*, CittàStudi Edizioni, Torino, 2012. pp. 170-171.

20. È un tipo di proiezione che permette di rimappare una porzione della superficie della sfera in una immagine bidimensionale. È anche chiamata la “non proiezione”, o *plate carre* dato che la coordinata orizzontale è semplicemente la longitudine mentre quella verticale è la latitudine, senza nessuna trasformazione applicata. La proiezione equirettangolare era utilizzata nella realizzazione delle mappe cartografiche dato che fu inventata intorno al 100 a.c. da Marinus di Tiro. Consultare le pagine di *Mathworld* per informazioni più dettagliate sulle leggi matematiche che governano questo tipo di proiezione. In un'immagine panoramica equirettangolare tutte le verticali rimangono tali, e l'orizzonte diventa una linea retta che attraversa il centro dell'immagine. Le coordinate nell'immagine sono legate linearmente agli angoli di spostamento verticale e orizzontale nel mondo reale. I poli (zenit e nadir) sono situati rispettivamente negli spigoli in alto e in basso e sono identificati da una linea che occupa l'intera larghezza dell'immagine. Le aree vicine ai poli appaiono stirate orizzontalmente. La proiezione equirettangolare costituisce il formato predefinito per le immagini in uscita da una fotocamera panoramica rotante (scanning) equipaggiata con un obiettivo fisheye; un fisheye a 180° che fornisce una sfera completa a 360°. Le fotocamere per lo scanning coprono spesso più di 360° ma il programma assume, come limite per un'immagine equirettangolare, 360° in orizzontale e 180° in verticale. Per esempio, è importante assicurarsi che la propria immagine equirettangolare abbia un rapporto d'aspetto di 2:1; per farlo è sufficiente controllarne le dimensioni in pixel: un file con 1650 x 824 pixel manca di 1 pixel sul lato corto, confondendo quindi alcune applicazioni. La proiezione equirettangolare è comunemente utilizzata come formato di partenza per i visualizzatori di panorami sferici, compreso *PTViewer*. L'altra possibilità è rappresentata dalla proiezione cubica.

21. E' possibile ruotare la visuale all'interno della sfera dal punto di vista coincidente con il centro della sfera stessa che rappresenta il punto di ripresa della macchina fotografica. Essendo immagini ad alta risoluzione è inoltre possibile zoomare sui dettagli avendo l'impressione di spostarsi in uno spazio tridimensionale sferico.

22. Anche in architettura, e quindi nel rilievo architettonico, può essere molto utile una particolare applicazione della fotogrammetria: il «fotopiano» o «ortofotopiano» e il «fotomosaico». Questa metodologia non convenzionale si serve di fotogrammi isolati; data una sola presa fotografica generica di un elemento supposto piano, ossia di un elemento che si ipotizza giacere su un piano, si può operare una «trasformazione omografica», detta anche «raddrizzamento» che porti il piano rappresentato da una posizione

generica (generalmente prospettica) alla sua proiezione ortogonale rispetto all'asse ottico della presa stessa. In altre parole, data per esempio l'immagine di una facciata piana o di un qualsiasi elemento piano di un edificio rappresentato prospetticamente (ossia con l'asse ottico dell'obiettivo inclinato rispetto al piano dell'elemento rappresentato) è possibile, tramite una trasformazione omografica di ortogonalizzazione, ottenere un prospetto dell'elemento rappresentato, ossia una sua proiezione ortogonale.

23. Cfr. S. BERTOCCHI, M. BINI, *Manuale di rilievo architettonico e urbano*, CittàStudi Edizioni, Torino, 2012. pp. 207-211.

24. Con il termine *meshing* viene indicato il passaggio dalla nube "grezza" di punti 3D prodotta dal sensore ad un reticolo di poligoni connessi tra loro, i cui vertici coincidono con i punti misurati (*mesh*). Operazione propria della modellazione 3D poligonale.

25. In geometria, una linea spezzata o polilinea, è un insieme di segmenti orientati ordinatamente consecutivi (cioè tali che il secondo estremo di un segmento coincida con il primo estremo del successivo) e non adiacenti (cioè tali che un segmento ed il suo successivo non appartengono alla stessa retta). I segmenti della polilinea sono detti lati della polilinea e i punti in comune a due lati consecutivi sono detti vertici della polilinea. Una polilinea chiusa, cioè se il primo vertice è coincidente all'ultimo vertice della polilinea, costituisce un oggetto unico che identifica un'area chiusa. È possibile creare segmenti di linea retta, segmenti di arco o una combinazione dei due.

26. Cfr. P. SANPAOLESI, *Discorso sulla metodologia generale del restauro dei monumenti*, Firenze 1973. In questo volume Sanpaolesi raccoglie e sintetizza tutti i principi fondamentali del suo approccio alla disciplina del restauro.

27. Ulteriori informazioni sugli aspetti legati alla valutazione e alla redazione dei rilievi sono contenuti nelle *Istruzioni per l'applicazione delle "norme tecniche per le costruzioni"* di cui al D.M. 14 gennaio 2008 (aggiornate al 7/3/2008), appendice C8A, pp. 365-379.

28. Già la circolare del Ministero per i Beni Culturali e Ambientali n. 1032 del 18 luglio 1986 e il DM 19 gennaio 1996, *Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica*, avevano messo l'accento sull'importanza delle fasi preliminari all'intervento di restauro e soprattutto alla necessità che i rilievi fossero dotati di quelle informazioni tecniche indispensabili per l'intervento.

29. La termografia è una tecnica di indagine non invasiva e non distruttiva che viene effettuata attraverso l'uso di termocamere. Queste speciali apparecchiature permettono di rilevare le radiazioni infrarosse emesse dai corpi e di conseguenza valutarne la temperatura superficiale, tramite dei termogrammi ovvero delle mappe termiche in falso colore che associano ad una temperatura rilevata un colore corrispondente. Dall'analisi dei termogrammi si osserva come differenze di temperatura sono spesso associate a discontinuità di materiali. Tale constatazione ha dei risvolti pratici, poiché permette di individuare la presenza di elementi disomogenei all'interno della muratura e, quindi, di individuare la struttura dell'edificio, scoprire elementi architettonici o strutturali nascosti nella muratura, come colonne, architravi in pietra o inserti in legno e ferro, la disposizione di telai in cemento armato, individuare aperture o finestre successivamente tamponate, la presenza e la posizione di

canalizzazioni, cavedi, canne fumarie o vuoti di altro tipo. I dati raccolti, se opportunamente esaminati, possono fornire importanti informazioni sull'oggetto analizzato. Questo tipo di indagine risulta particolarmente conveniente per l'operatore, essendo non invasiva, non distruttiva, priva di pericoli e realizzabile a distanza dall'oggetto esaminato. Inoltre, nella maggior parte dei casi, non necessita di particolari attrezzature di supporto e non richiede la sospensione delle attività presenti all'interno o all'esterno nell'edificio, permettendo così notevoli risparmi di tempo e denaro. La termografia è una tecnica di indagine che nella diagnostica edilizia ha un ruolo importante, anche se limitata a risultati essenzialmente di tipo qualitativo. La sua affidabilità ed efficacia è legata principalmente alla esperienza e conoscenza specifica dell'operatore, nel rilevare l'edificio, ma soprattutto nell'interpretare i dati raccolti.

30. La tecnica di prova effettuata con martinetti piatti si basa sulla variazione dello stato tensionale in un punto della struttura provocata da un taglio di limitate dimensioni, eseguito in direzione normale alla muratura in corrispondenza di un ricorso di malta. Il rilascio delle tensioni provoca una parziale chiusura del taglio che viene rilevata tramite misure di convergenza fra coppie di punti posti in posizione simmetrica rispetto al taglio. Viene quindi inserito all'interno del taglio un martinetto piatto semicircolare con dimensioni pari a mm 350x260x4.0 realizzato mediante sottili lamiere di acciaio saldate, la cui pressione interna viene gradualmente aumentata fino ad annullare la deformazione misurata in fase di esecuzione del taglio. In queste condizioni il valore della pressione dell'olio all'interno del martinetto è uguale alla sollecitazione preesistente all'interno della muratura.

31. Nel volume di seguito citato sono sintetizzate diverse tipologie di dissesti; a completare il quadro formativo si trovano anche importanti informazioni su diverse murature storiche e sui loro comportamenti. Cfr. S. VAN RIEL, *Consolidamento degli edifici storici*, Firenze 2007.

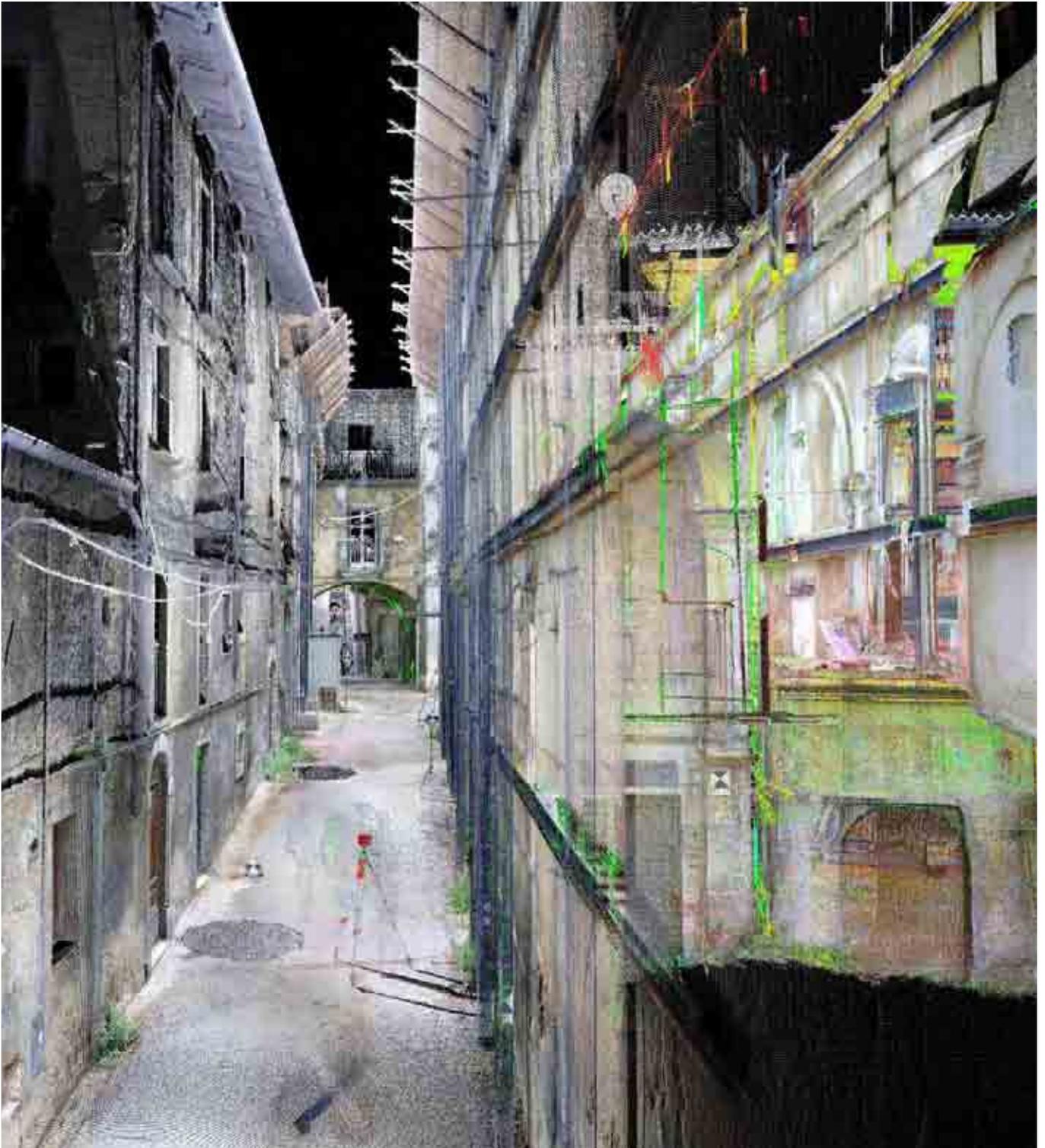
32. Lorenzo Nizzi Grifi nel suo libro *Restauro statico dei monumenti* analizza sistematicamente buona parte delle problematiche e dei dissesti a cui un edificio è sottoposto; il suo studio è uno dei primi che è stato condotto in questa direzione. Per l'aspetto relativo alle cause perturbatrici vedi L. NIZZI GRIFI, *Restauro statico dei monumenti*, Firenze 1987, pp. 10-12.

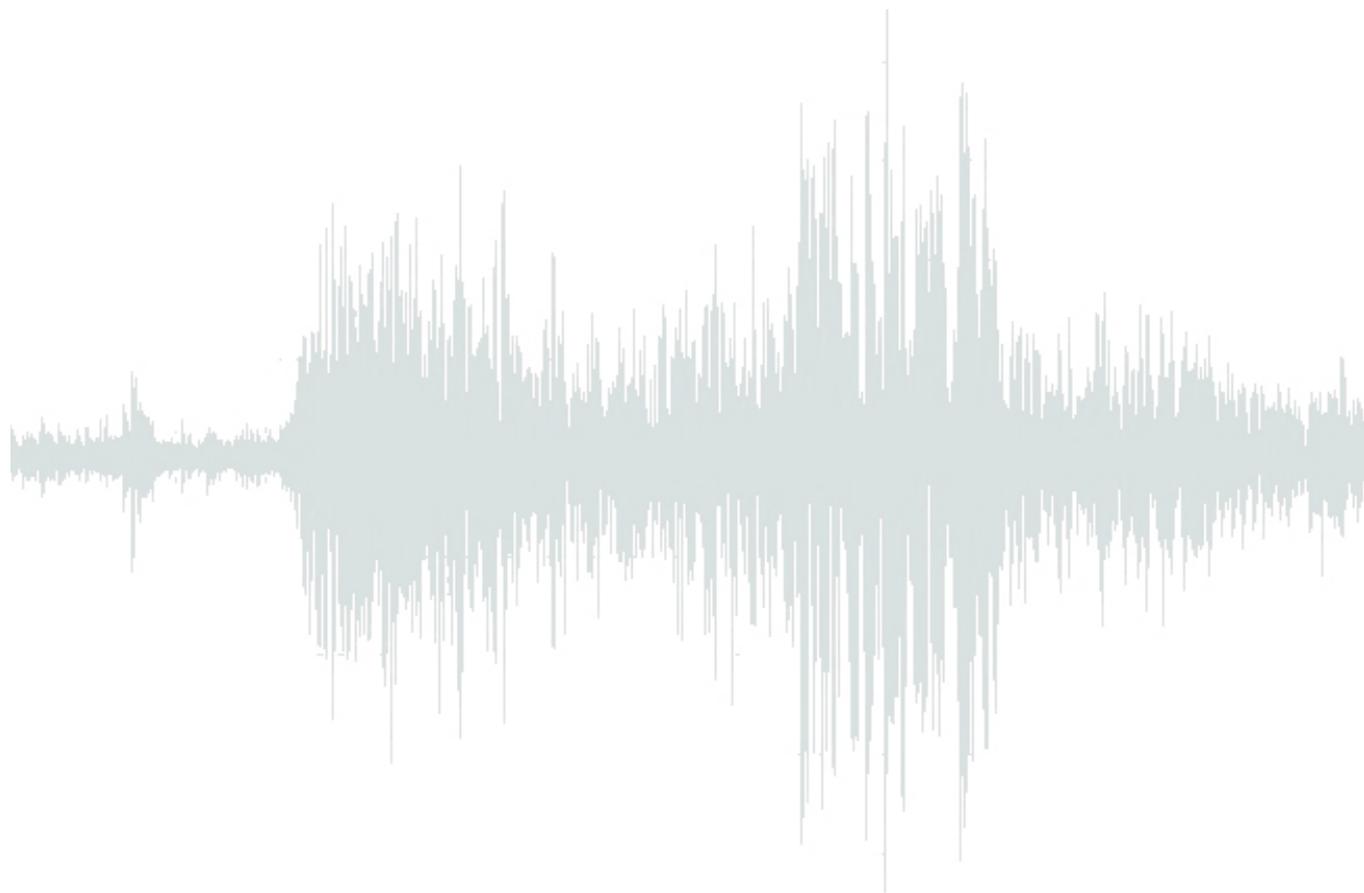
33. La schedatura delle lesioni serve a comprendere meglio le meccaniche dei dissesti. In letteratura se ne trovano diversi esempi; tutti mirano a definire le geometrie delle lesioni e le cause perturbatrici che le hanno generate.

34. Cfr. S. FRANCESCHI, L. GERMANI, *Il degrado dei materiali nell'edilizia*, Roma 2007.

35. NorMaL, sta per Normativa Manufatti Lapidei; si divide in manufatti lapidei naturali (pietre, marmi, ecc.) e materiali lapidei artificiali (stucchi, intonaci, ecc.).

36. Per un utile approfondimento sulle metodologie di modellazione tridimensionale, Cfr. G. GUIDI, M. RUSSO, J.A. BERARDIN, *Acquisizione 3D e modellazione poligonale*, McGraw-Hill, Milano 2010.





*CAPITOLO 3*

*Rilievi digitali per il monitoraggio post-sisma dell'edilizia di culto e di pregio*

## CAPITOLO 3

### Rilievi digitali per il monitoraggio post-sisma dell' edilizia di culto e di pregio

#### *Premessa*

La metodologia definita nel capitolo precedente e condotta nel caso dell'analisi di aggregati in muratura, è stata sperimentata successivamente nelle sue variabili operative anche su casi studio che riguardano l'edilizia di culto e di pregio.

Per le specifiche esigenze dei rilievi presentati in questo capitolo, le attività di acquisizione dati sono state eseguite con finalità diversificate e con approcci calibrati secondo particolari condizioni o concentrandosi solo su porzioni di tali edifici.

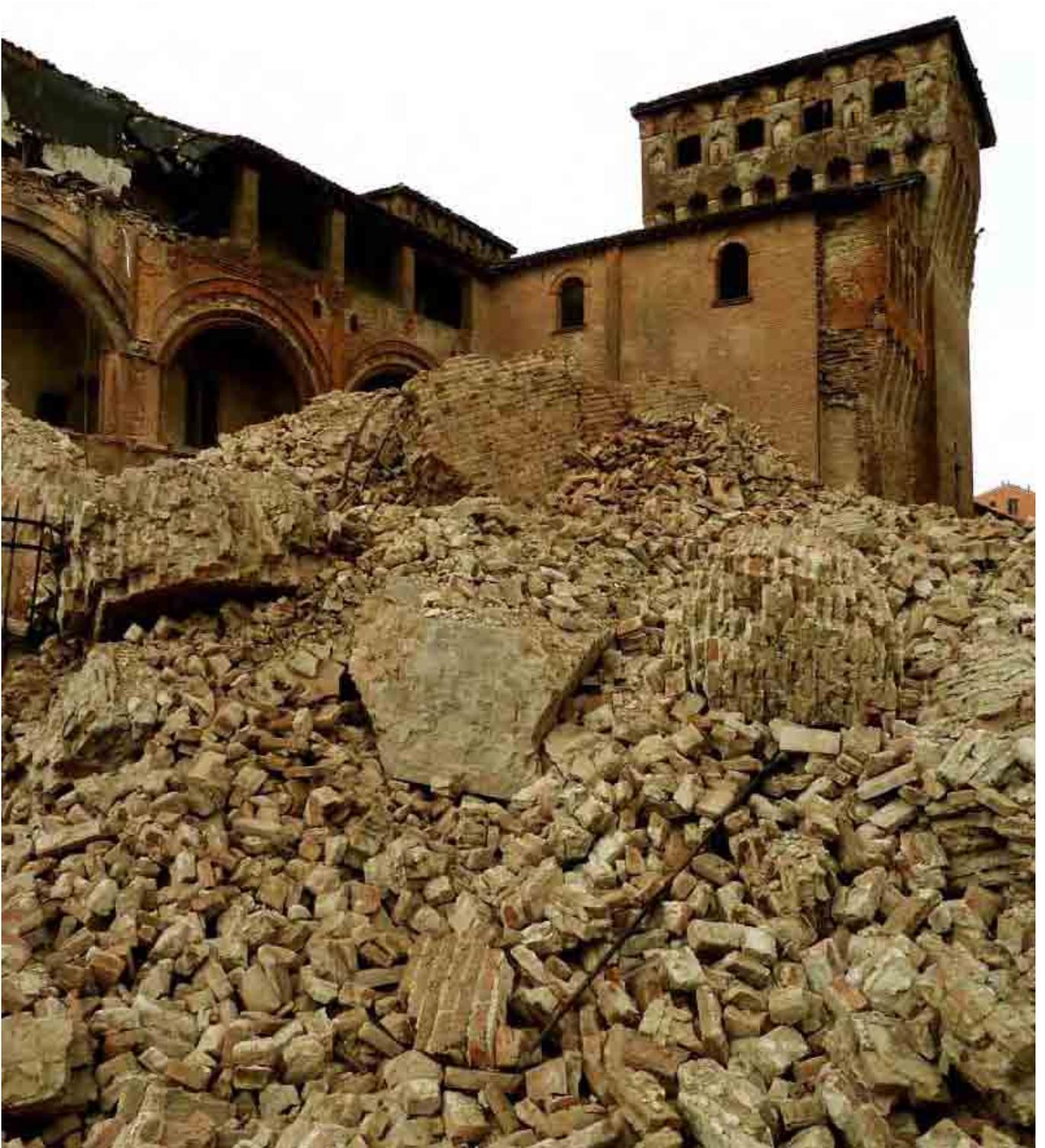
Dopo aver individuato una proposta integrativa alle linee guida da seguire per rilievi in contesti post-sisma, l'attenzione in questo terzo capitolo sarà portata non soltanto sulla rilevanza architettonica dei beni rilevati, ma anche sulle particolarità che ogni caso studio presenta, e per le quali, in base anche alle aspettative delle indagini, si richiede ogni volta un adeguamento del protocollo metodologico fino ad ora strutturato. Il lavoro con il gruppo di ricerca condotto sul territorio abruzzese per quasi due anni, a seguito dei rilievi eseguiti nel centro storico di L'Aquila sugli aggregati urbani e successivamente quello

dei centri storici nel Comune di Acciano per la stesura del Piano di Ricostruzione, mi ha portato ad includere nelle attività di studio alcuni interessanti edifici di culto che per diverse finalità sono stati rilevati con tecnologie digitali laser scanner e descritte nel seguente paragrafo.

Nel corso di questo lavoro, a maggio 2012, il terremoto che ha colpito l'Emilia ha comportato anche in queste aree d'emergenza l'impiego di rilevamenti digitali per il monitoraggio degli effetti del sisma sulle architetture.

Il gruppo di ricerca del Dipartimento di Architettura Disegno, Storia, Progetto della Facoltà di Architettura di Firenze è stato chiamato ad effettuare analisi specifiche per il monitoraggio degli spostamenti dei fronti e della torre del Palazzo del Podestà a Mantova.

Grazie all'accessibilità ai dati di un accurato rilievo laser scanner effettuato cinque prima del sisma dal Centro Ricerche D.I.A.P.R.e.M. dell'Università di Ferrara, abbiamo potuto sperimentare metodologie per il confronto fra data base realizzati in tempi diversi dello stesso oggetto architettonico rilevato. Anche in questo caso ho potuto partecipare come coordinatore tecnico alle operazioni di rilievo e di postproduzione i cui primi risultati vengono qui analizzati.



### 3.1 LE CHIESE DI SAN FELICE D'OCRE, DI BEFFI E DI SAN LORENZO DI BEFFI: RILIEVI DIGITALI

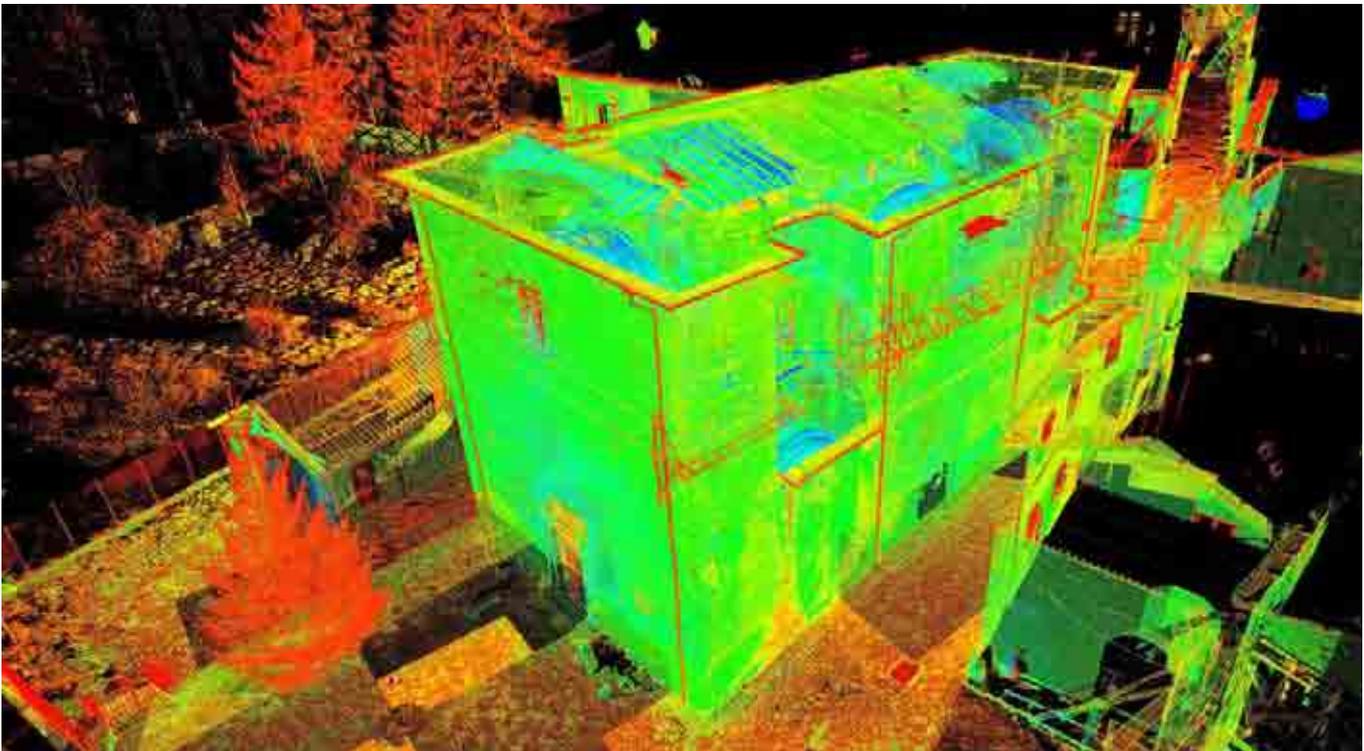
#### 3.1.1 Il rilievo laser scanner in emergenza della chiesa di San Felice d'Ocre

Il centro di San Felice d'Ocre, frazione del Comune di L'Aquila, è situato a circa 780 m sul livello del mare ed è documentato fino dal 1280, grazie ad un lascito testamentario di Iacopo di Simone d'Ocre alla sua chiesa. È caratterizzato, come molti dei piccoli centri diffusi su questo territorio, da vicoli stretti e qualche emergenza architettonica cinquecentesca oltre che da un tipico edificio minore. Nel corso del terremoto abruzzese del 2009 l'intero centro storico ha subito notevoli danni al patrimonio edilizio rendendolo per la maggior parte inagibile.

Il complesso Parrocchiale di San Giacomo Maggiore, situato ai margini del centro storico e caratterizzato dalla

grossa fabbrica della chiesa esternamente spoglia ed austera, è stato interessato da dissesti diffusi e dal crollo, delle volte a crociera, realizzate in mattoni in foglio che coprivano l'aula centrale della chiesa. Questa, nota dalla fine del XIII secolo, ma caratterizzata da rifacimenti sette-ottocenteschi (terminati nel 1843 come attesta l'iscrizione sull'arco trionfale all'interno), ospitava alcune opere d'arte di una certa rilevanza, fra le quali: un'*Immacolata Concezione e una Trinità con Addolorata e anime del Purgatorio* firmata e datata B. CIPERRI F. 1746 e il dipinto posto dietro l'altare maggiore, *Madonna in Gloria con i Santi Antonio e Giacomo*, tela tra Cinque e Seicento di autore provinciale con ricordi veneti.

Il crollo del soffitto voltato, a seguito della sollecitazione sismica, è stato provocato probabilmente dalla spinta di una porzione di copertura, sostituita a quella originale in



La nuvola di punti del rilievo laser scanner del complesso Parrocchiale di San Giacomo Maggiore a San felice d'Ocre (AQ).



*L'interno della chiesa di San Giacomo Maggiore ancora invaso dalle macerie provocate dal sisma del 2009.*

un intervento di restauro pre-sisma non idoneo e realizzato con l'inserimento di un cordolo in c. a., che ha innescato con molta probabilità la meccanica del dissesto alla muratura portante del corpo di fabbrica, facendo perdere il principio statico "a compressione" che permetteva l'equilibrio del sistema voltato di copertura dell'aula della chiesa. Gli interventi di messa in sicurezza, avvenuti nell'immediato post-terremoto, avevano previsto un incatenamento della parte sommitale dell'edificio, predisponendo un sistema di opere provvisorie che coinvolgevano principalmente l'esterno del fabbricato. All'interno la chiesa non era stata messa in sicurezza e le macerie dei crolli ostacolavano anche la semplice fruizione; alcuni elementi laterizi delle volte erano ancora a rischio crollo e necessitava un monitoraggio speditivo che permettesse comunque valutazioni precise sulle condizioni del quadro fessurativo interno.



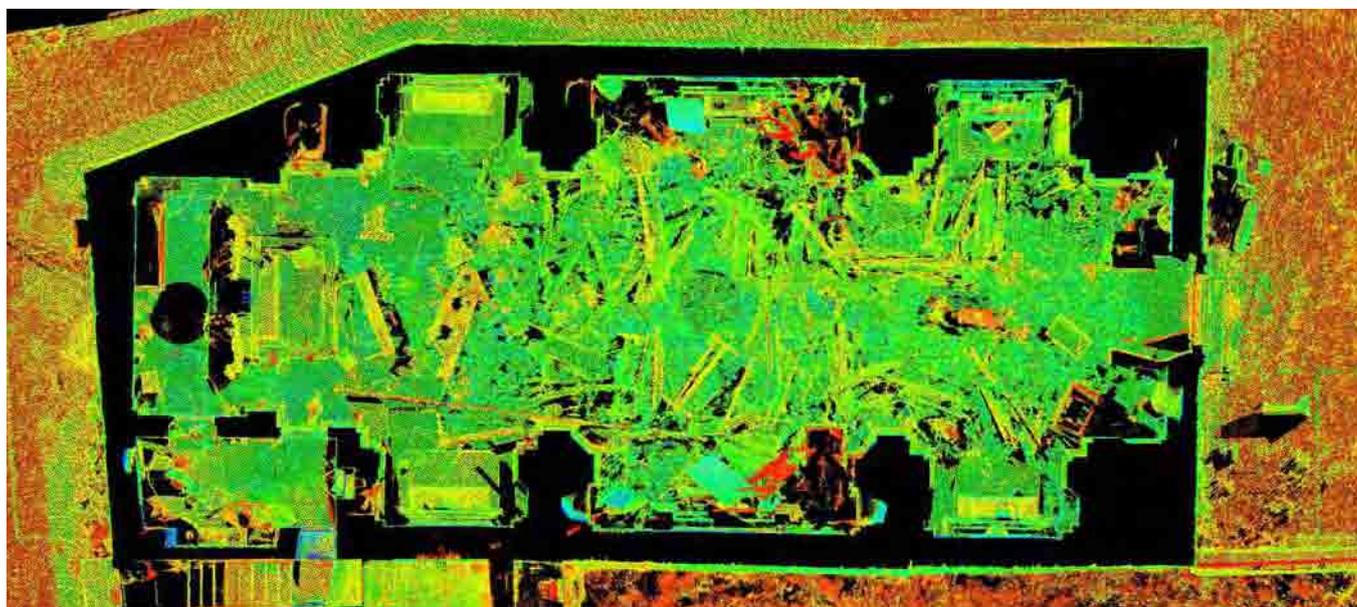
*Il crollo delle volte a crociera in mattoni in foglio di copertura all'aula della chiesa.*

Il rilievo laser scanner è risultato essere la metodologia più idonea e, visto lo stato di emergenza e di pericolosità, le attività sono state eseguite in modo più speditivo possibile, senza quindi il supporto di altre metodologie di rilievo come quello topografico o diretto. Le operazioni di rilevamento si sono limitate alle scansioni interne necessarie alla copertura dell'ambiente a navata unica della chiesa, integrate dagli scatti fotografici per la creazione delle foto orbitali. Le scansioni sono state eseguite senza il posizionamento dei target di riferimento, limitando il rischio per gli operatori, sotto il controllo dei Vigili del Fuoco, ai soli minuti necessari al posizionamento e livellamento dello strumento e al tempo utile per la scansione e gli otto scatti fotografici (operazione ripetuta per tre stazioni di rilevamento interne). La registrazione delle singole scansioni in un'unica nuvola di punti, è stata comunque possibile grazie al metodo che, attraverso un

riconoscimento morfologico automatico, individua punti omologhi alle due scansioni da riunire. A tal proposito è stata effettuata una scansione in prossimità del portale di ingresso, in modo da rilevare digitalmente buona parte dell'esterno del fronte antistante la chiesa, quindi comune alla scansione effettuata subito fuori, e buona parte dell'interno della chiesa quindi con riferimenti per il collegamento alle tre effettuate nell'aula.

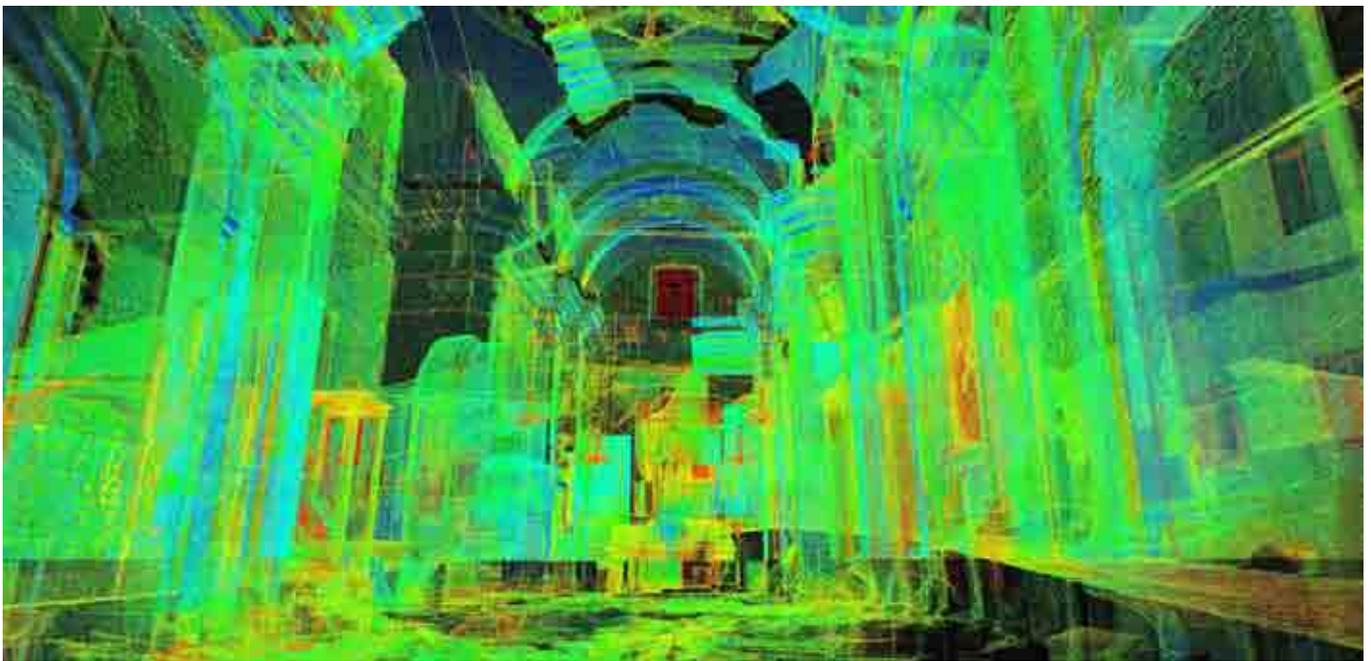
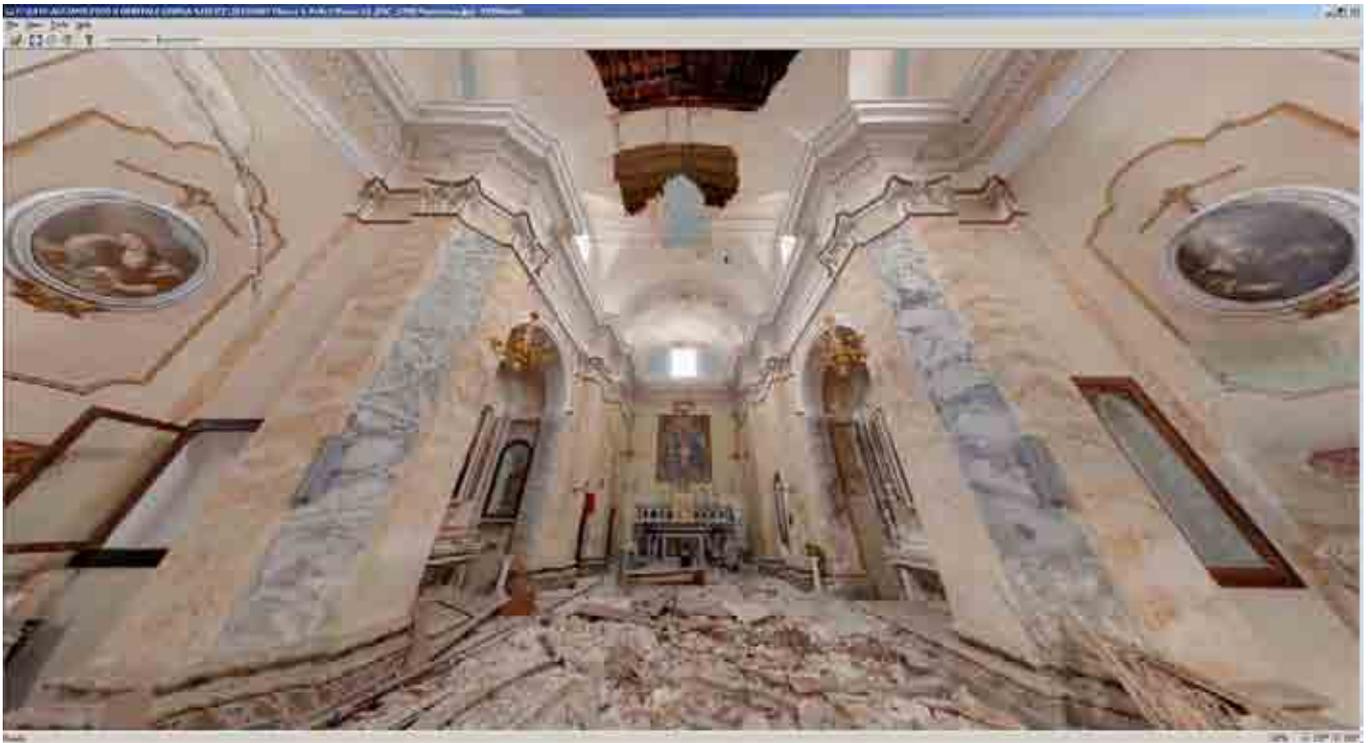
Questa possibilità è realizzabile con il *software* di gestione *Leica Cyclone* che permette di localizzare punti delle architetture rilevate all'interno delle nuvole di punti virtuali, che possono venire assegnati in comune alle due scansioni da registrare, vanno a costituirsi come "target" inseriti a posteriori, ma che assicurano, anche grazie ad un calcolo che il *software* esegue in relazione all'aderenza delle superfici comuni, il corretto allineamento delle scansioni garantendo un errore che rientra all'interno delle tolleranze strumentali.

Il rilievo è stato quindi eseguito in modo completo, con un totale di sedici scansioni, ognuna delle quali corredata dal dato fotografico orbitale, assicurando la copertura di tutto l'edificio sia esternamente che internamente.

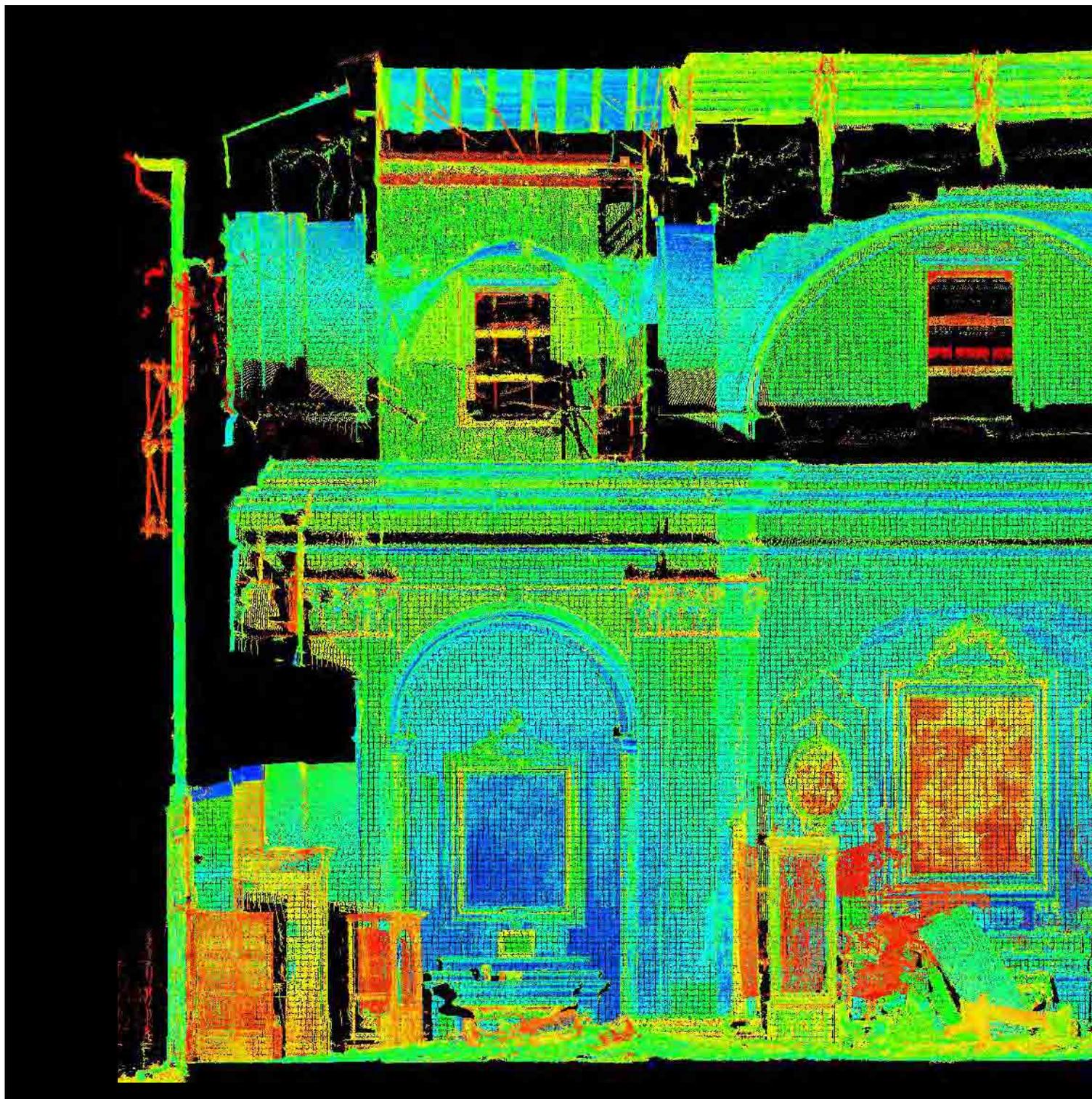


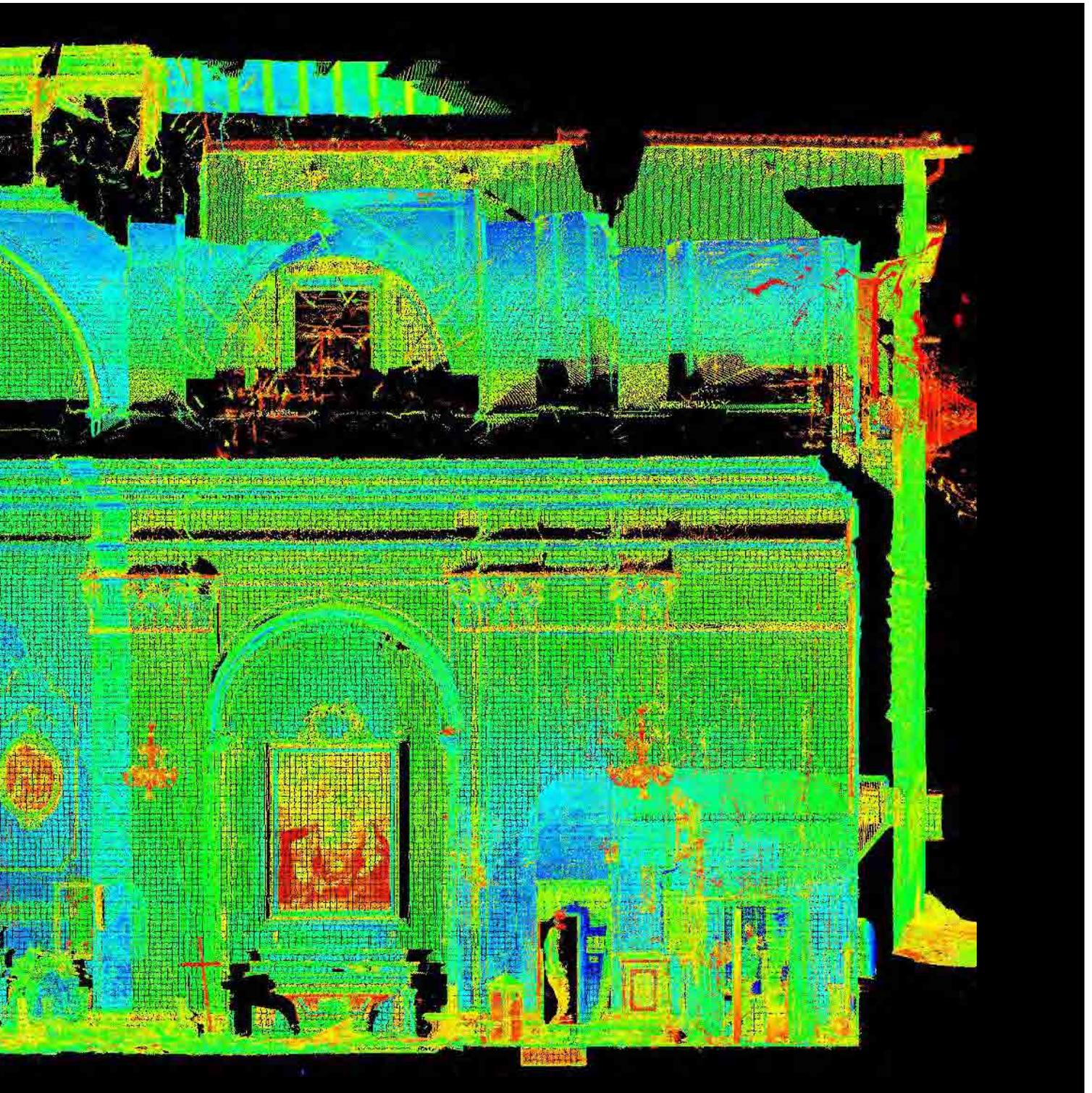
Nelle immagini in alto a destra: l'esterno e l'interno della Chiesa di San Giacomo Maggiore a San Felice d'Ocre (AQ) nella condizione pre-sisma.

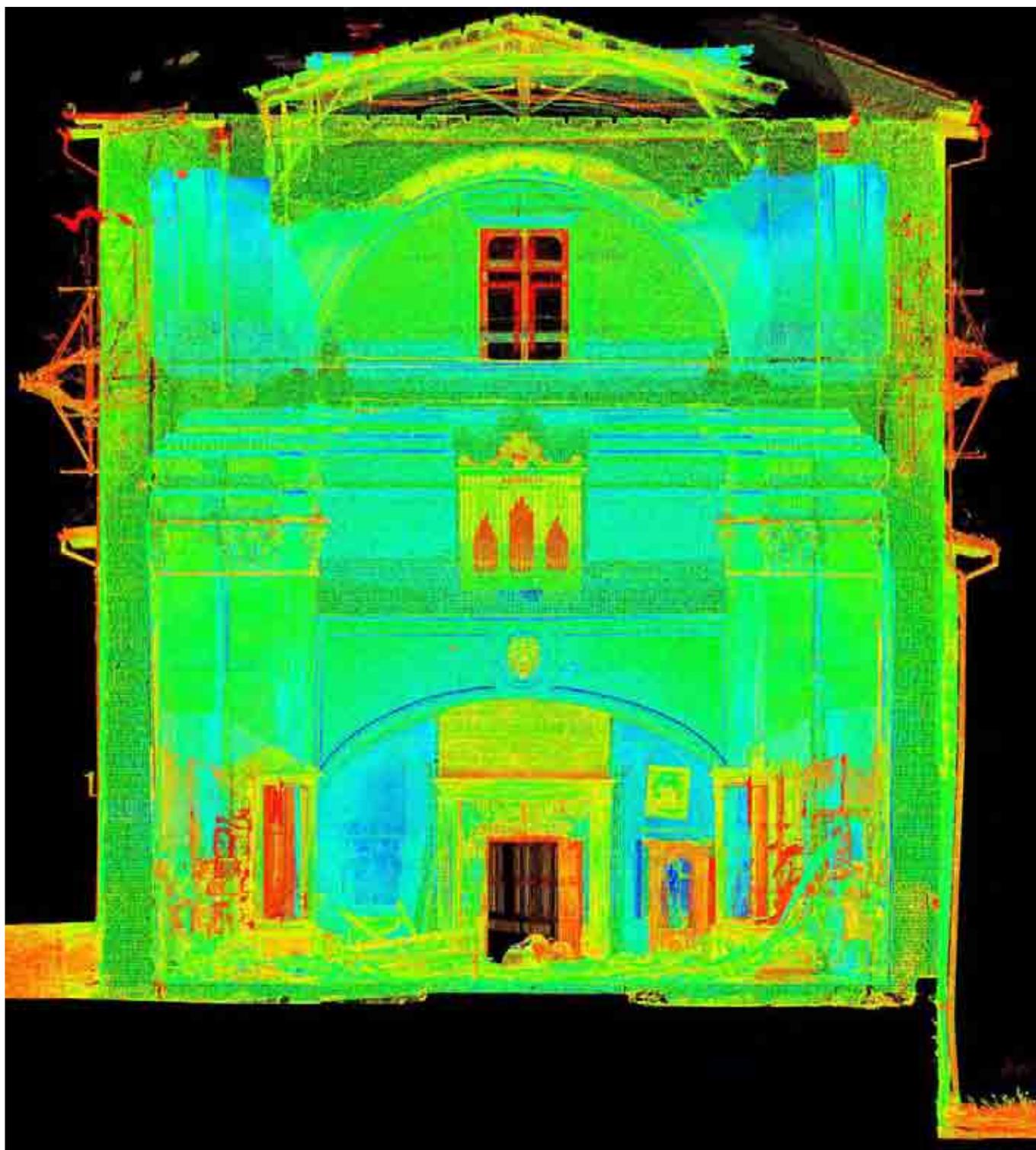
La nuvola di punti del rilievo laser scanner del complesso Parrocchiale di San Giacomo Maggiore: sezione del piano orizzontale per la definizione della pianta.

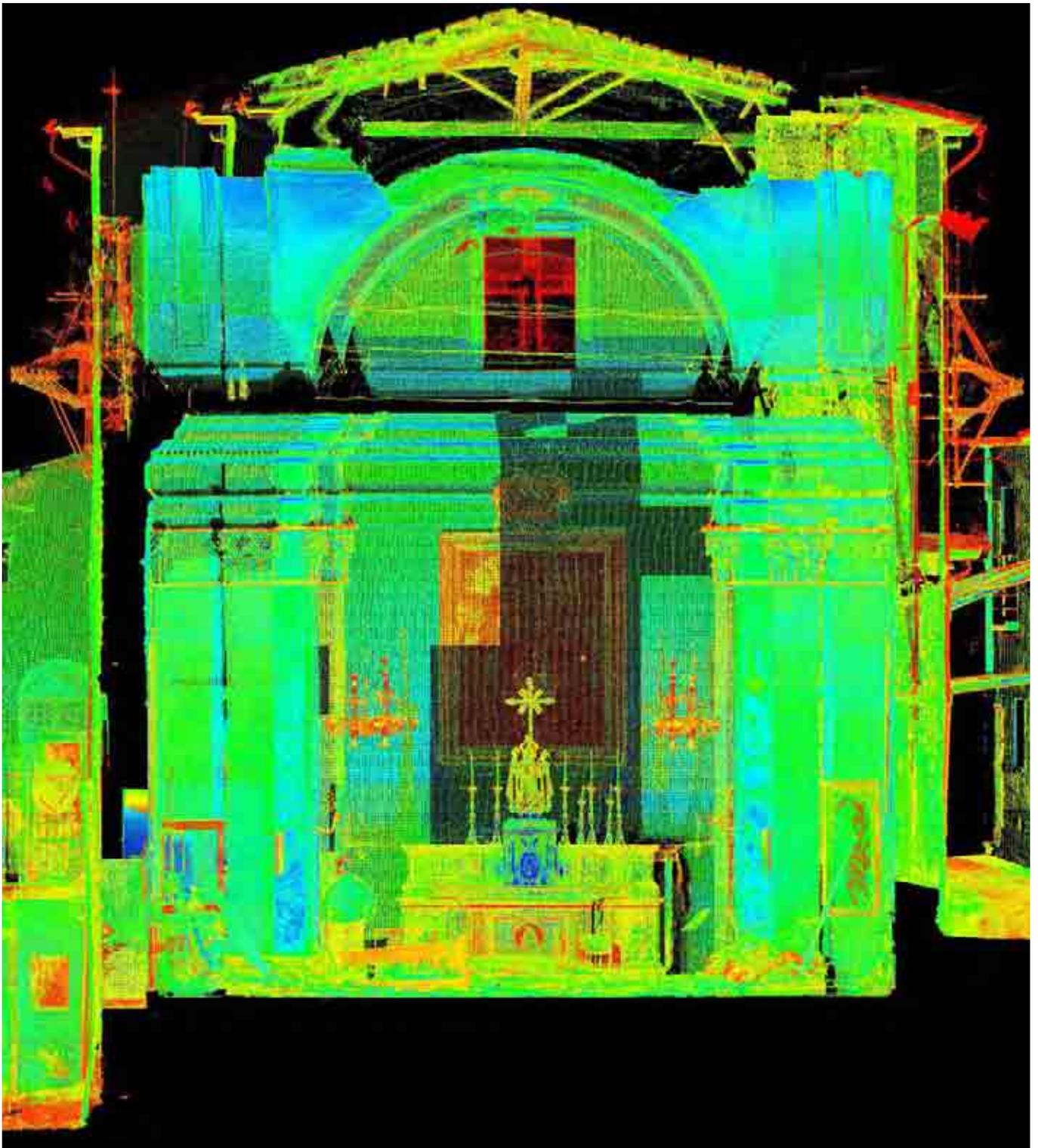


*In alto: una vista della foto orbitale realizzata dalle foto scattate durante il rilievo laser scanner dell'interno della Chiesa di San Giacomo Maggiore a San Felice d'Ocre (AQ). Sotto: la stessa vista dall'interno della nuvola di punti. Nelle successive pagine la sezione longitudinale e due sezioni trasversali della nuvola di punti.*









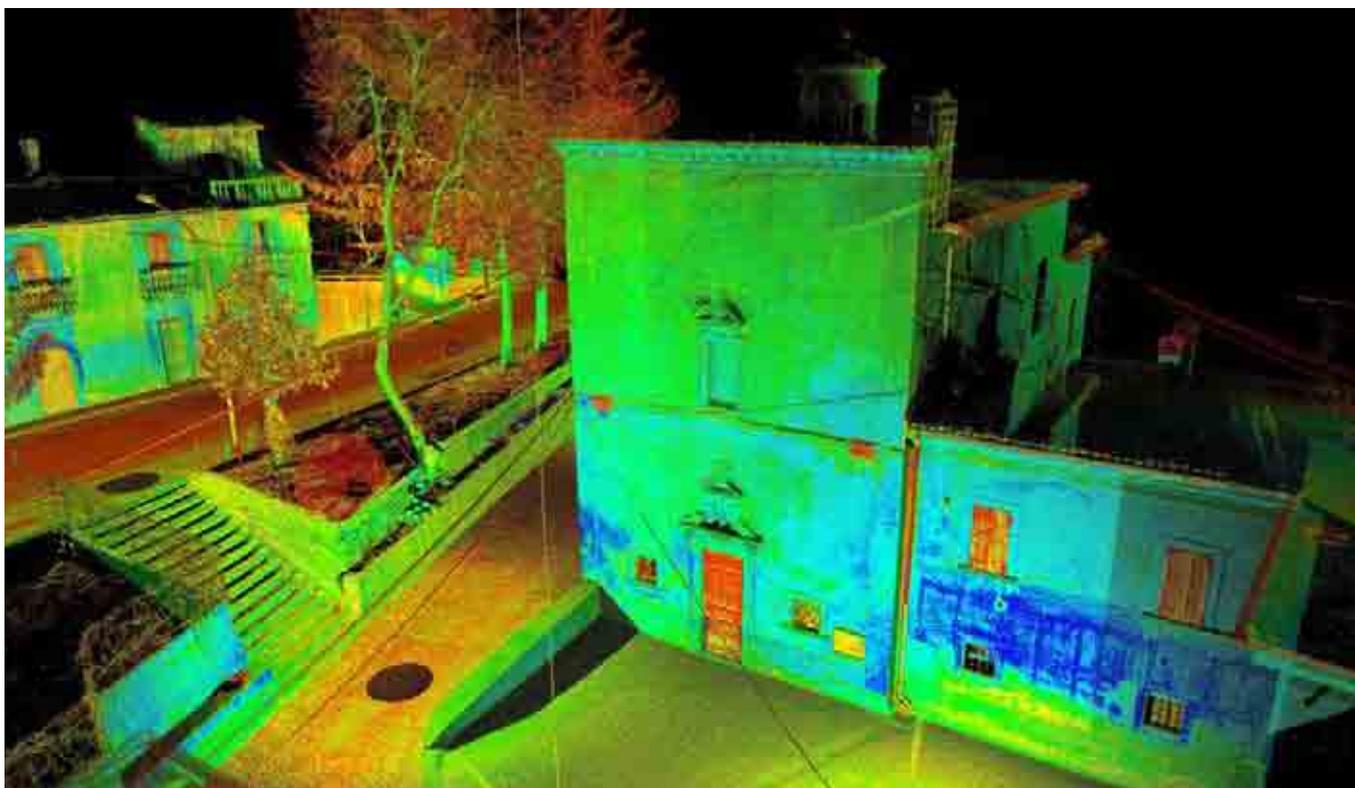
### **3.1.2 Il rilievo laser scanner dei complessi ecclesiastici di Beffi e di San Lorenzo di Beffi**

Nel caso delle chiese rilevate nel Comune di Acciano, quella di Santa Maria del Rifugio nella frazione di Beffi e quella di San Lorenzo nella frazione di San Lorenzo di Beffi, i rilievi digitali sono stati effettuati in previsione della definizione del Piano di Ricostruzione 2012 e quindi per una restituzione alla scala urbana. Gli edifici di culto rilevati rientrano all'interno degli ambiti di intervento del Piano perimetrati dall'amministrazione comunale dentro i centri storici. L'esigenza di questi rilievi era quella di definire l'impronta a terra dei complessi ecclesiastici e di tutti gli aggregati perimetrati all'interno degli ambiti di intervento, per una loro rappresentazione cartografica in

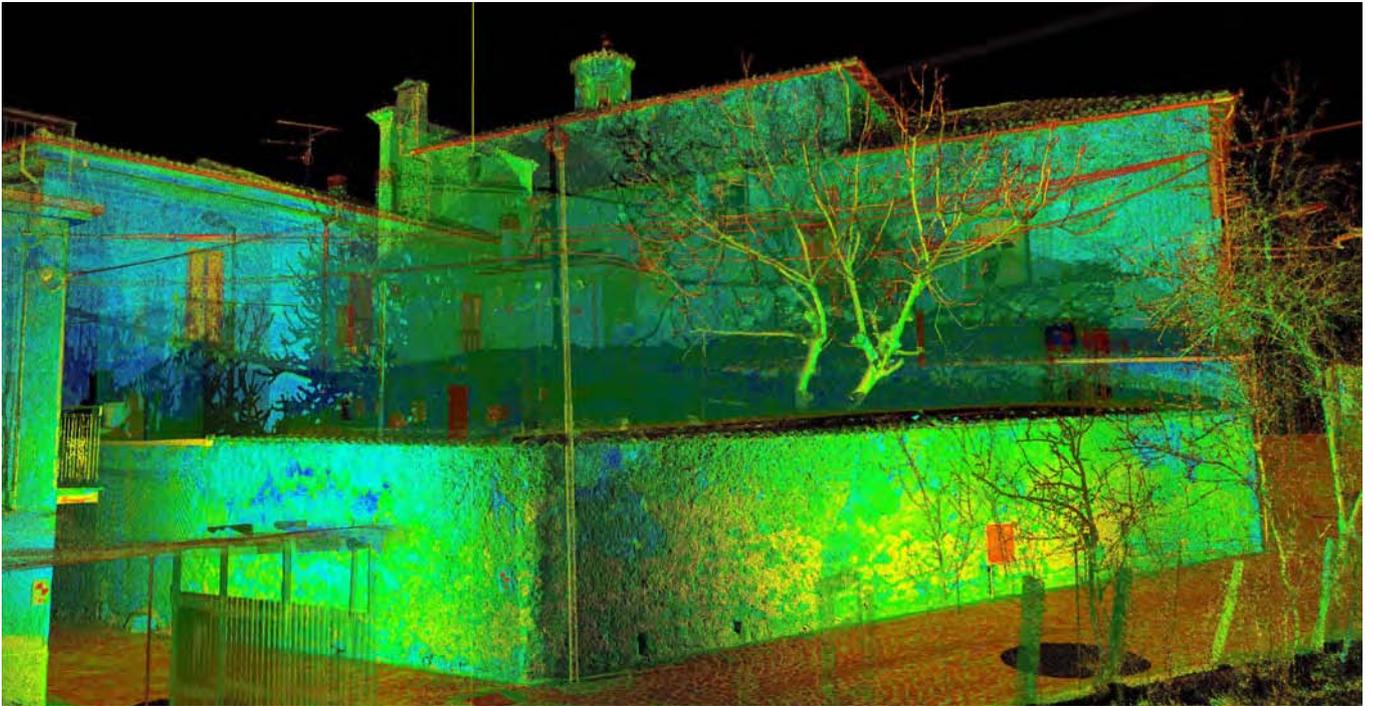
scala 1:500 con restituzione dei fronti principali in scala 1:200. Sono state pertanto effettuate scansioni all'esterno dei complessi architettonici lungo le strade ed i vicoli che li circoscrivono.

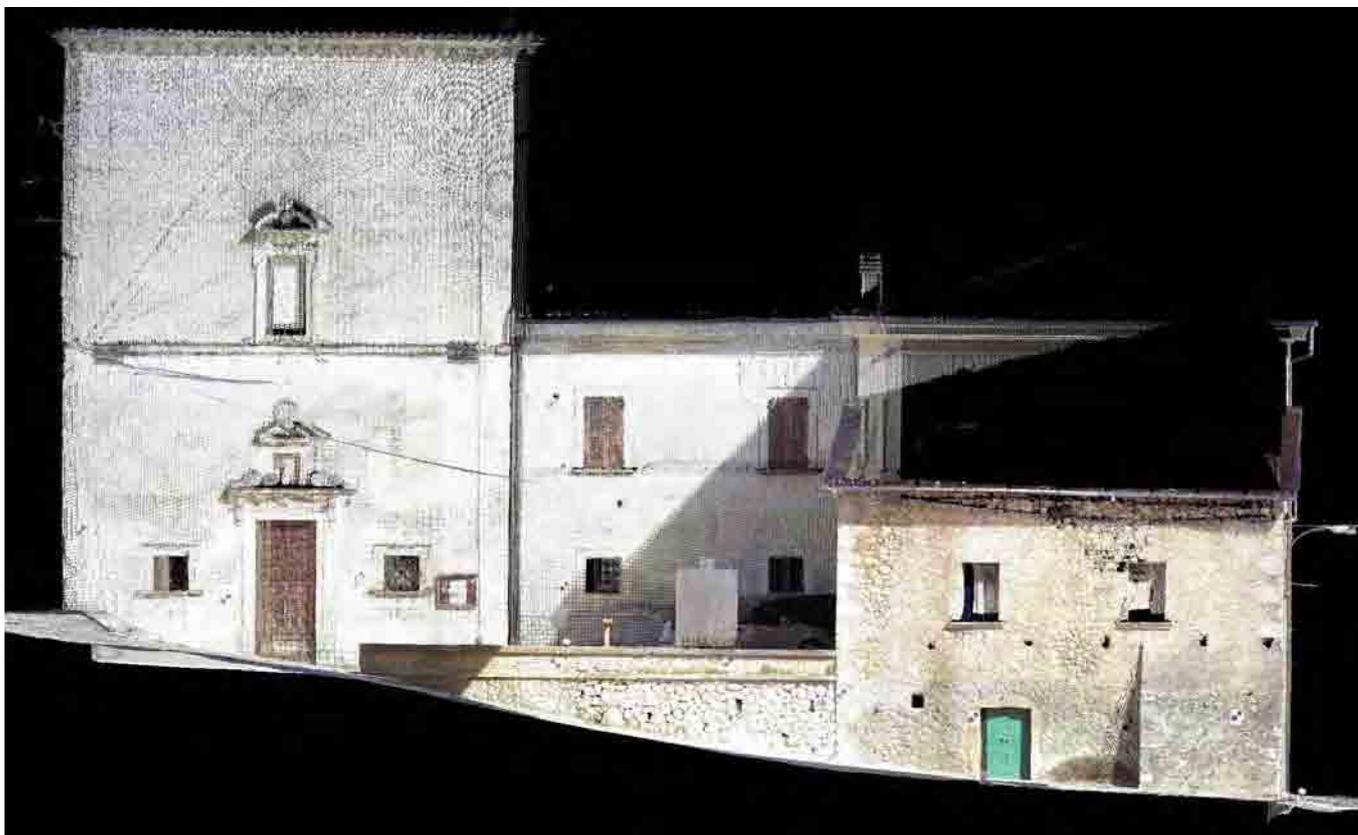
La chiesa di Santa Maria del Rifugio viene eretta nella prima metà del Seicento ad opera di Fabio Angelini presumibilmente nel periodo fra il 1638 e il 1641, presenta internamente tre altari documentati dal 1667, il principale dedicato a Santa Maria del Rifugio, il secondo a Santa Maria del Monte Carmelo, il terzo ai Santi Francesco e Antonio.

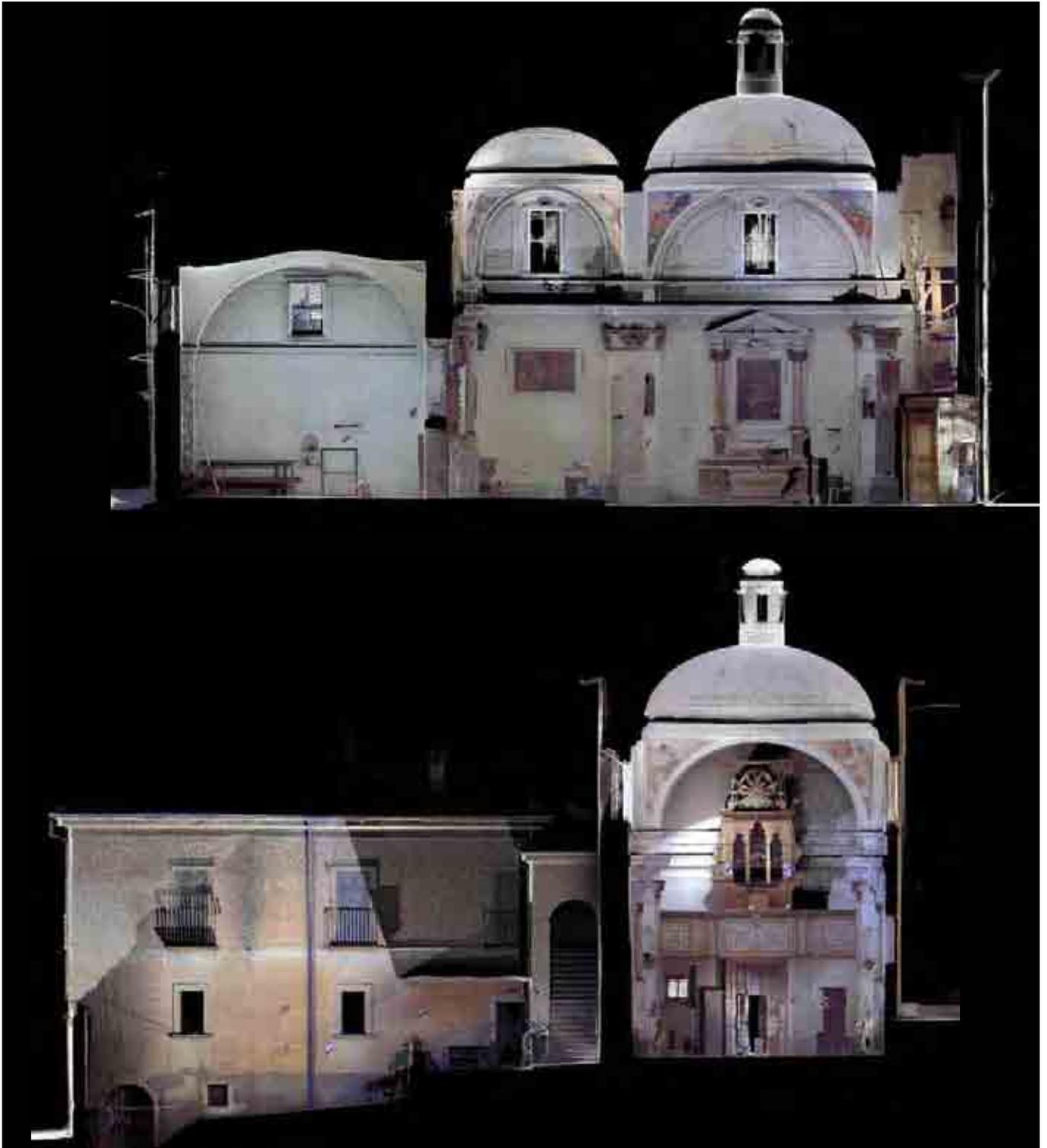
L'edificio nel 1850 diventa sede della Confraternita di Maria Santissima Addolorata; visto lo stato di degrado in cui versava la chiesa di Santa Maria degli Angeli il Vescovo Filippi nel 1876, trasferisce Benefici ecclesiastici e pii Legati alla chiesa di Santa Maria del Rifugio.

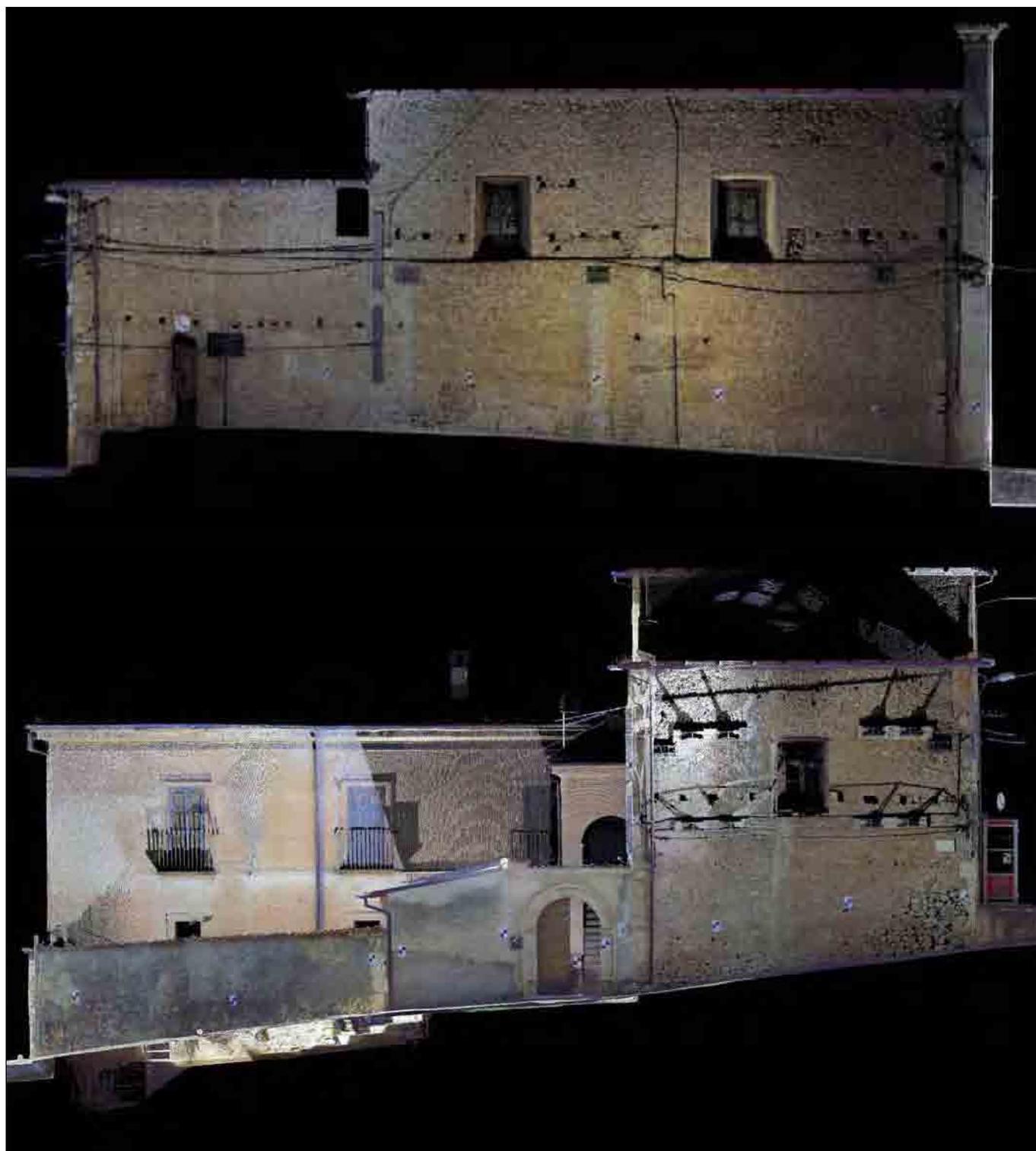


*In sequenza alcune viste della nuvola di punti del rilievo laser scanner della Chiesa di Santa Maria del Rifugio nella frazione di Beffi, Comune di Acciano (AQ). Gli esterni sono stati rilevati con strumento "Leica HDS 7000", gli interni con il laser "Faro Focus 3D".*



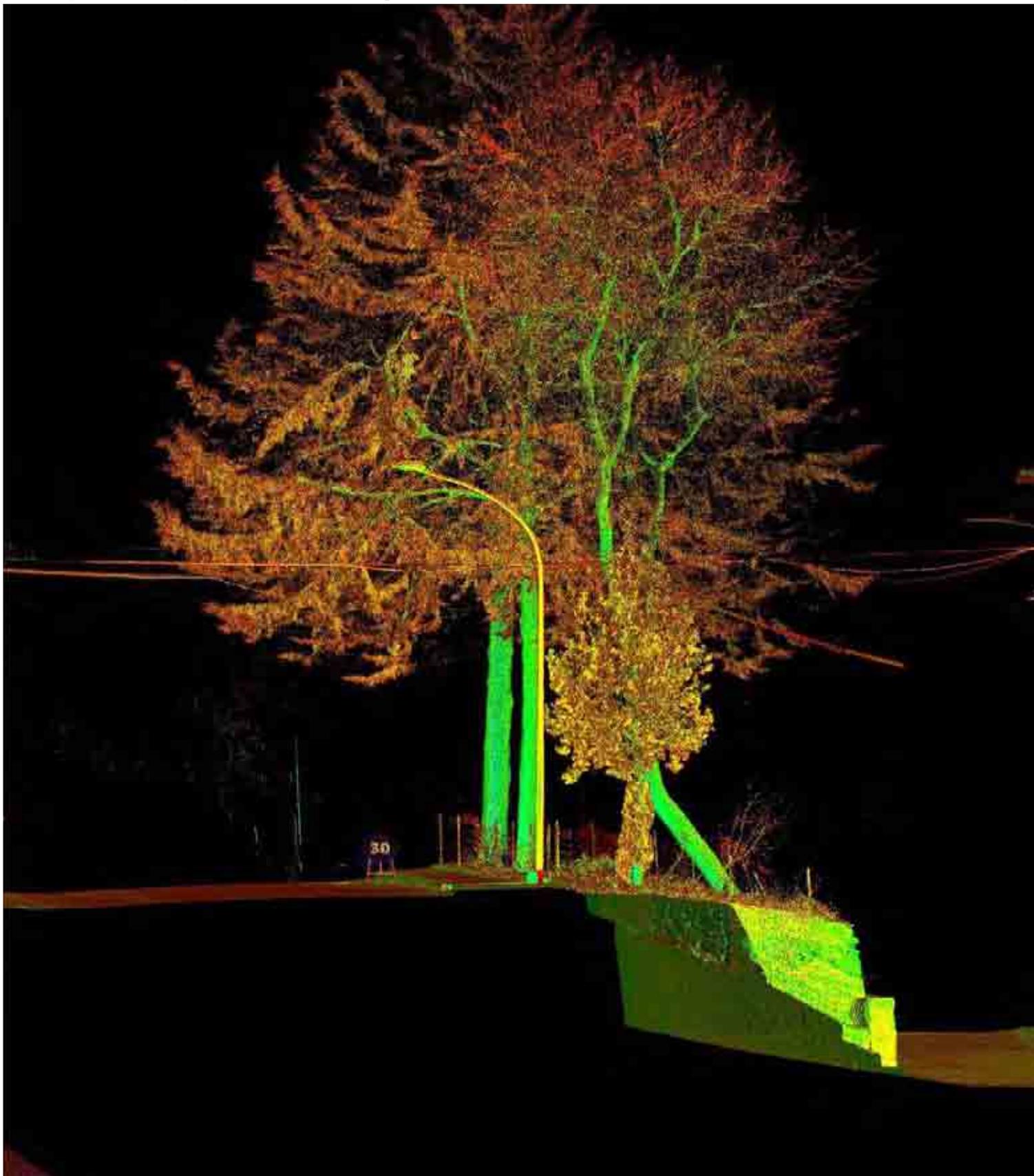




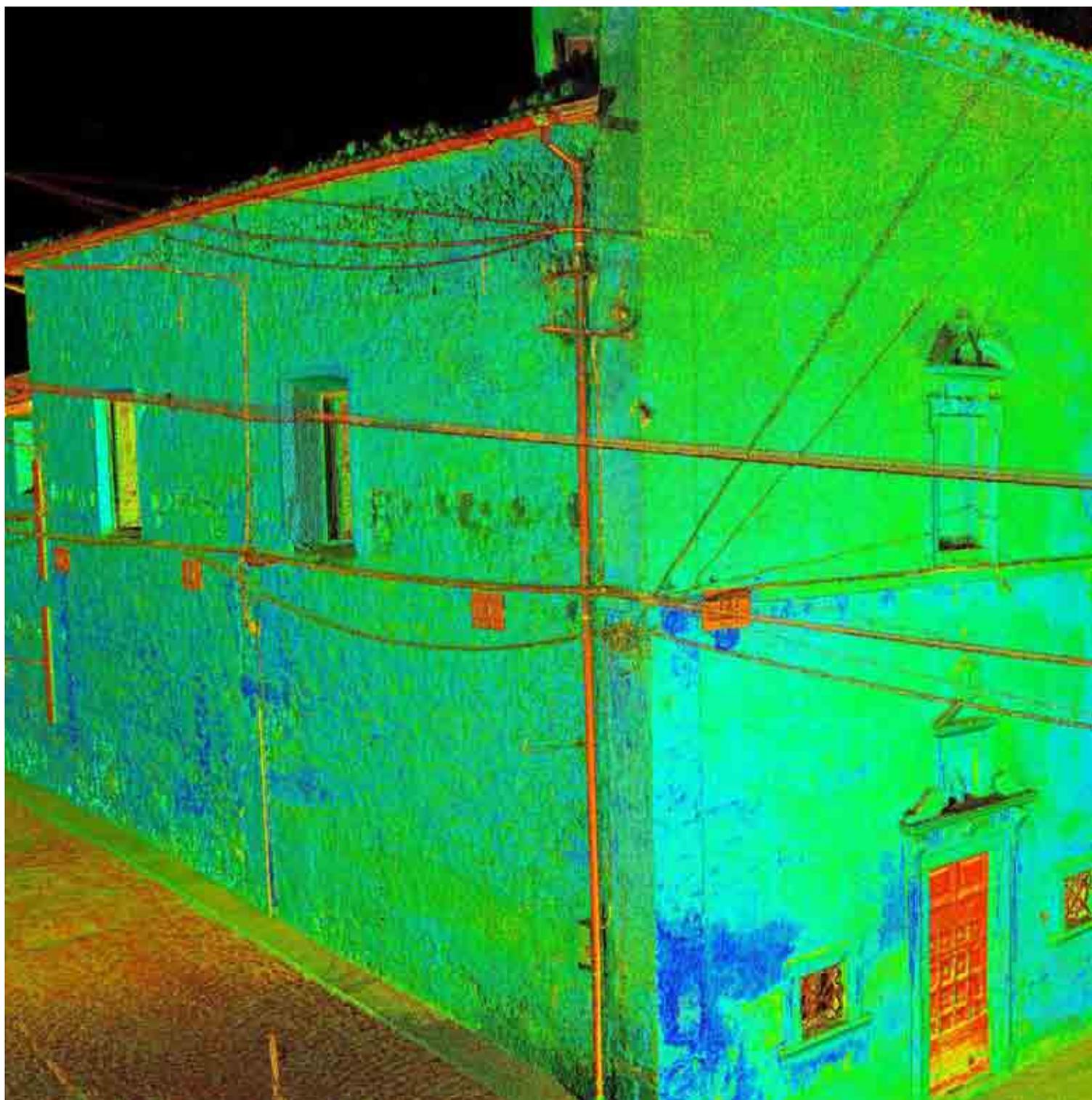


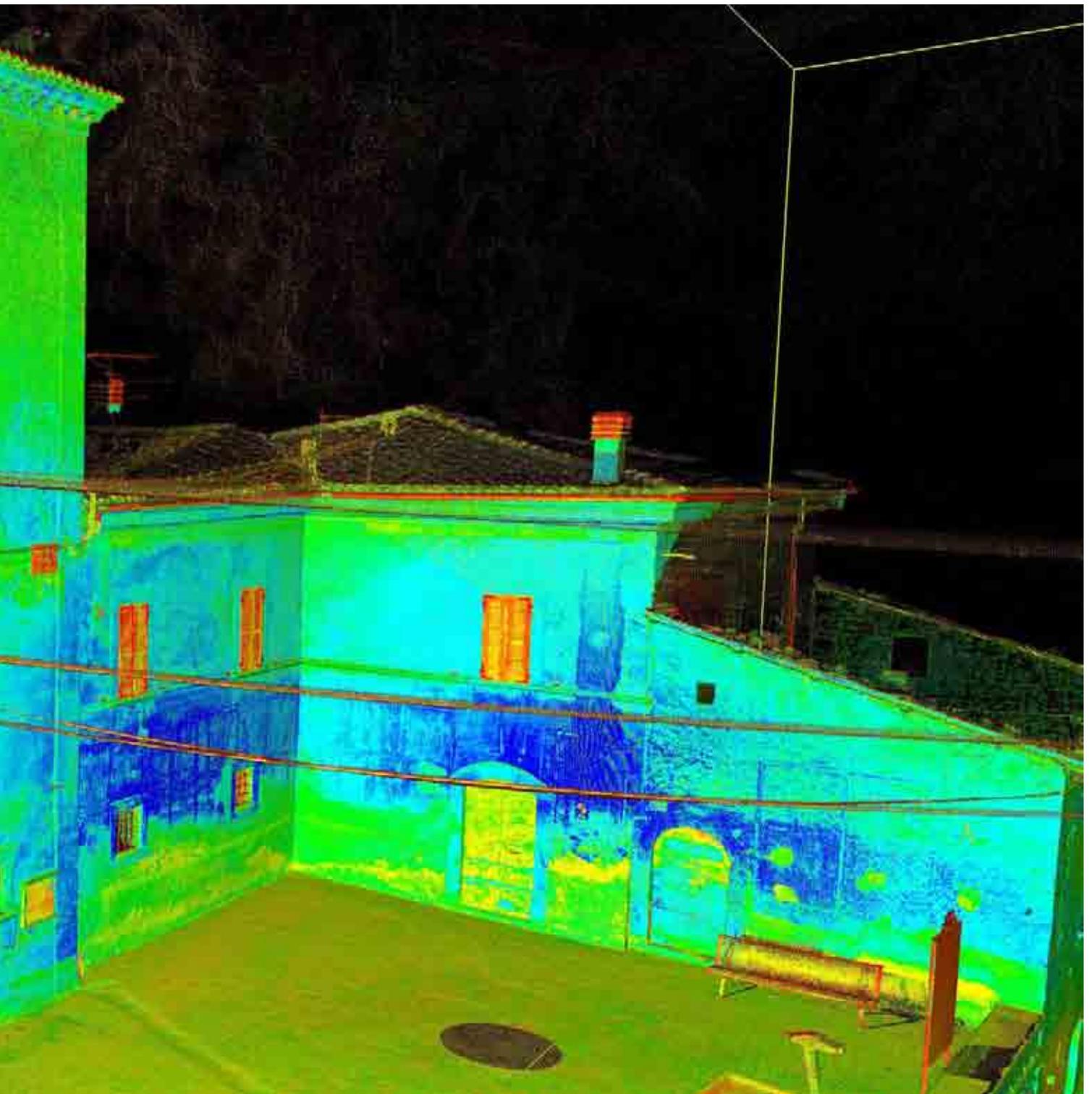


*La facciata della chiesa di Santa Maria del Rifugio edificata intorno al 1640 a Beffi, frazione del Comune di Acciano (AQ).*









Anche nel caso della chiesa di San Lorenzo a San Lorenzo di Beffi, i rilievi digitali sono stati finalizzati alla realizzazione della cartografia di riferimento per il Piano di Ricostruzione. La chiesa, molto importante dal punto di vista storico-artistico, fu nominata nella bolla papale del Sommo Pontefice Giulio I in data del 26 luglio 337.

Ma l'importanza dell'edificio sacro è anche oggi di tipo sociale, visto che in passato è stata spesso utilizzata come luogo di ritrovo di molte persone anche dei paesi limitrofi, per concerti di musica classica e altre iniziative.

Per quanto riguarda l'impianto architettonico della chiesa, è interessante la presenza di un portale seicentesco sulla facciata, al di sopra del quale una finestra rettangolare con un architrave tardo-seicentesco su un lato.

All'interno è divisa in tre navate con un'abside quadrangolare in fondo e una cupoletta neoclassica sul presbiterio. Inoltre possiede un elegantissimo organo del 1761 - che era stato appena finito di restaurare qualche giorno prima dell'evento sismico del 6 aprile 2009 - e delle

catacombe di epoca paleocristiana, oltre ad alcuni affreschi e un coro in noce sul retroaltare. La lettura dell'architettura originaria è resa però difficile dalle manomissioni che questa ha purtroppo subito nel tempo.

Il sisma del 2009 ha causato danni diffusi alla struttura del corpo di fabbrica che presenta lesioni passanti sulle murature portanti e un ribaltamento del fronte relativo alla facciata. Anche il campanile a vela, essendo una struttura snella e alta, ha subito notevoli dissesti rendendo necessaria la sua messa in sicurezza.

In entrambi i rilievi per queste due chiese delle frazioni del Comune di Acciano, la metodologia applicata è stata quella del rilievo laser scanner integrato da quello topografico sui target di riferimento. Della chiesa di Santa Maria del Rifugio sono state eseguite le scansioni interne con strumento laser scanner "Faro Focus 3D", questo modello di laser scanner permette di acquisire direttamente anche il dato fotografico per la colorazione delle nuvole di punti prodotte, grazie ad una fotocamera digitale integrata.



Una vista della Chiesa di San Lorenzo nella frazione di San Lorenzo di Beffi, Comune di Acciano (AQ) dopo il sisma del 2009 .



*Una vista degli interni della Chiesa di San Lorenzo nella frazione di San Lorenzo di Beffi, Comune di Acciano (AQ) dopo il sisma del 2009.*

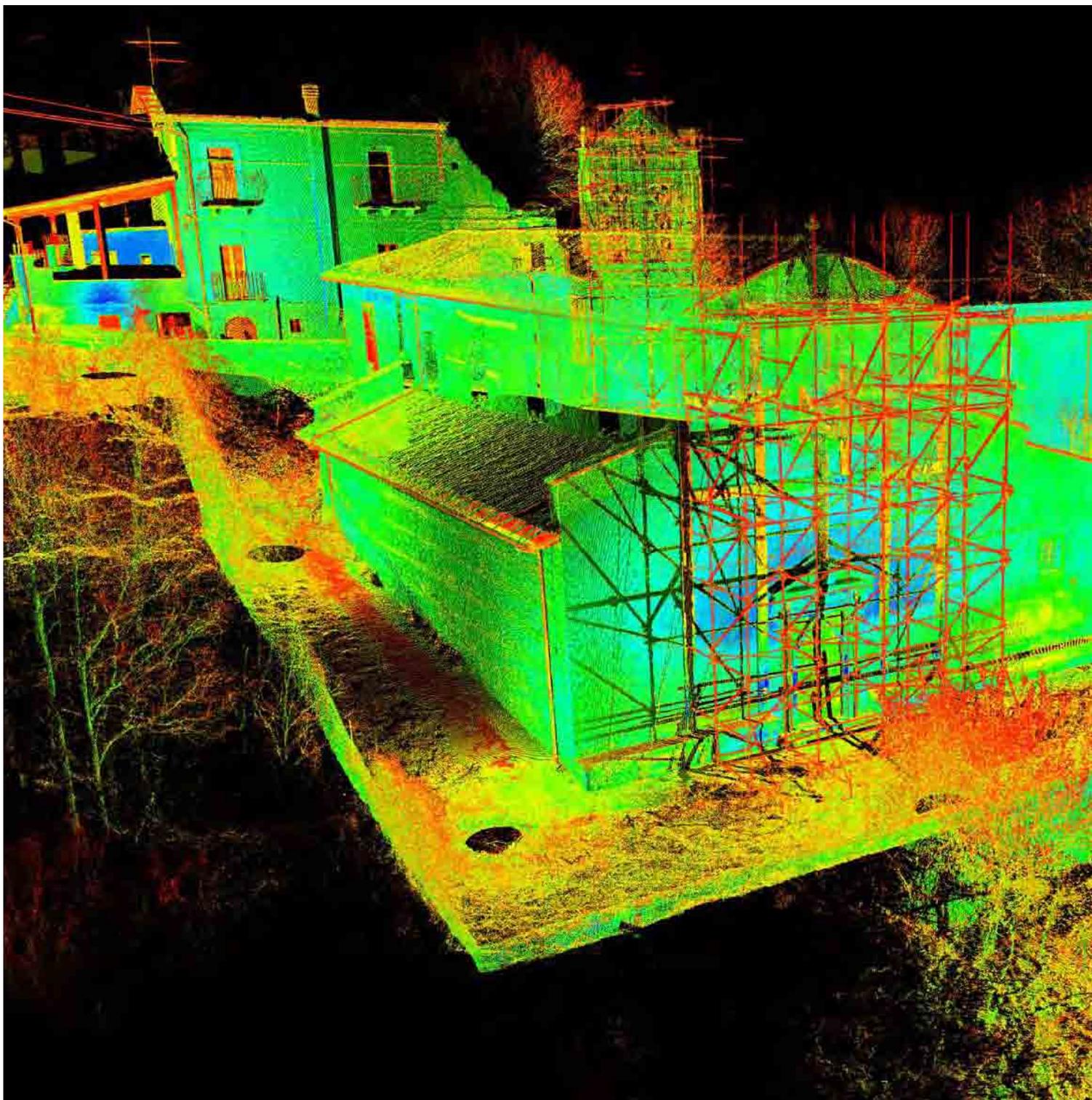


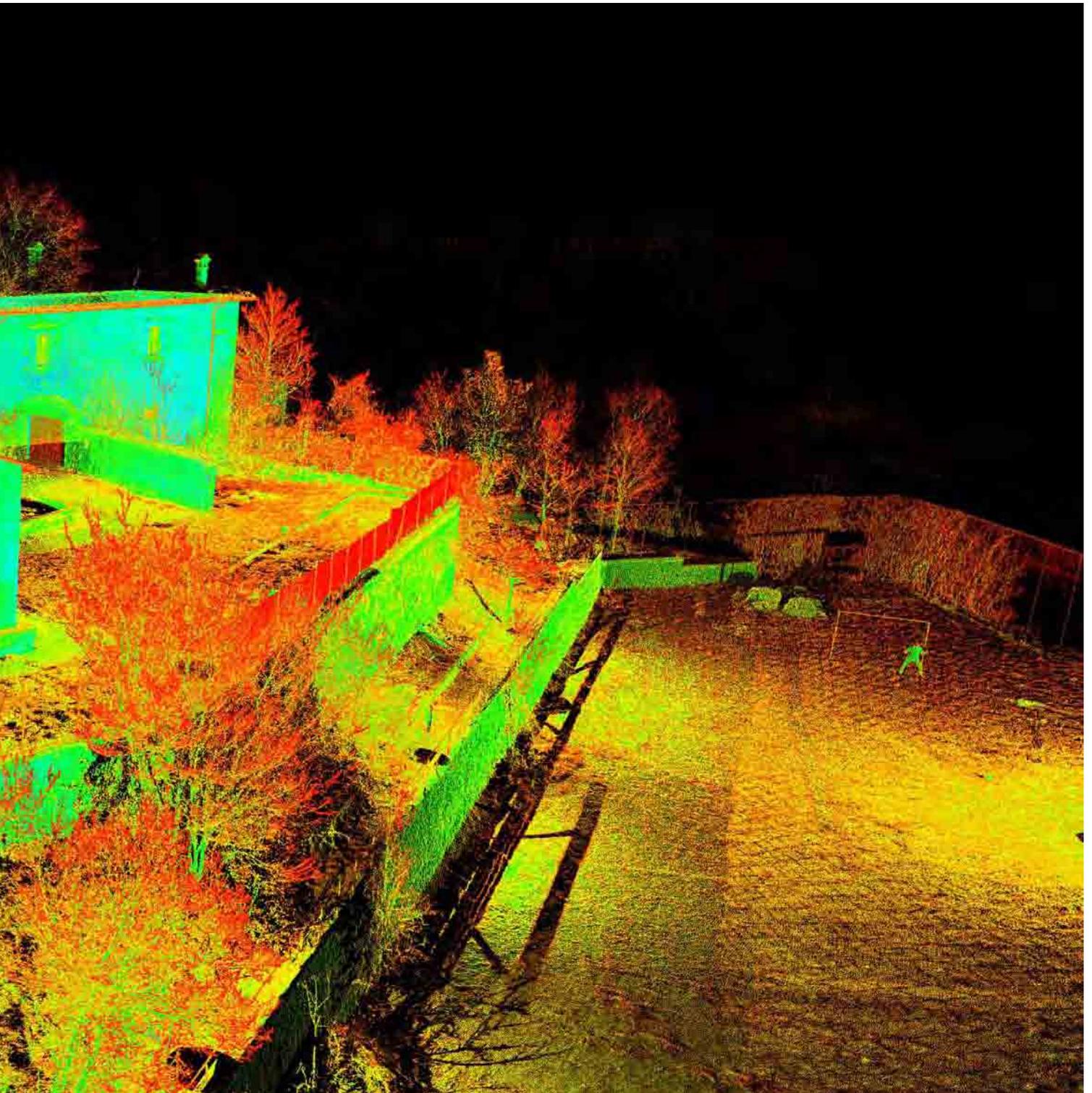


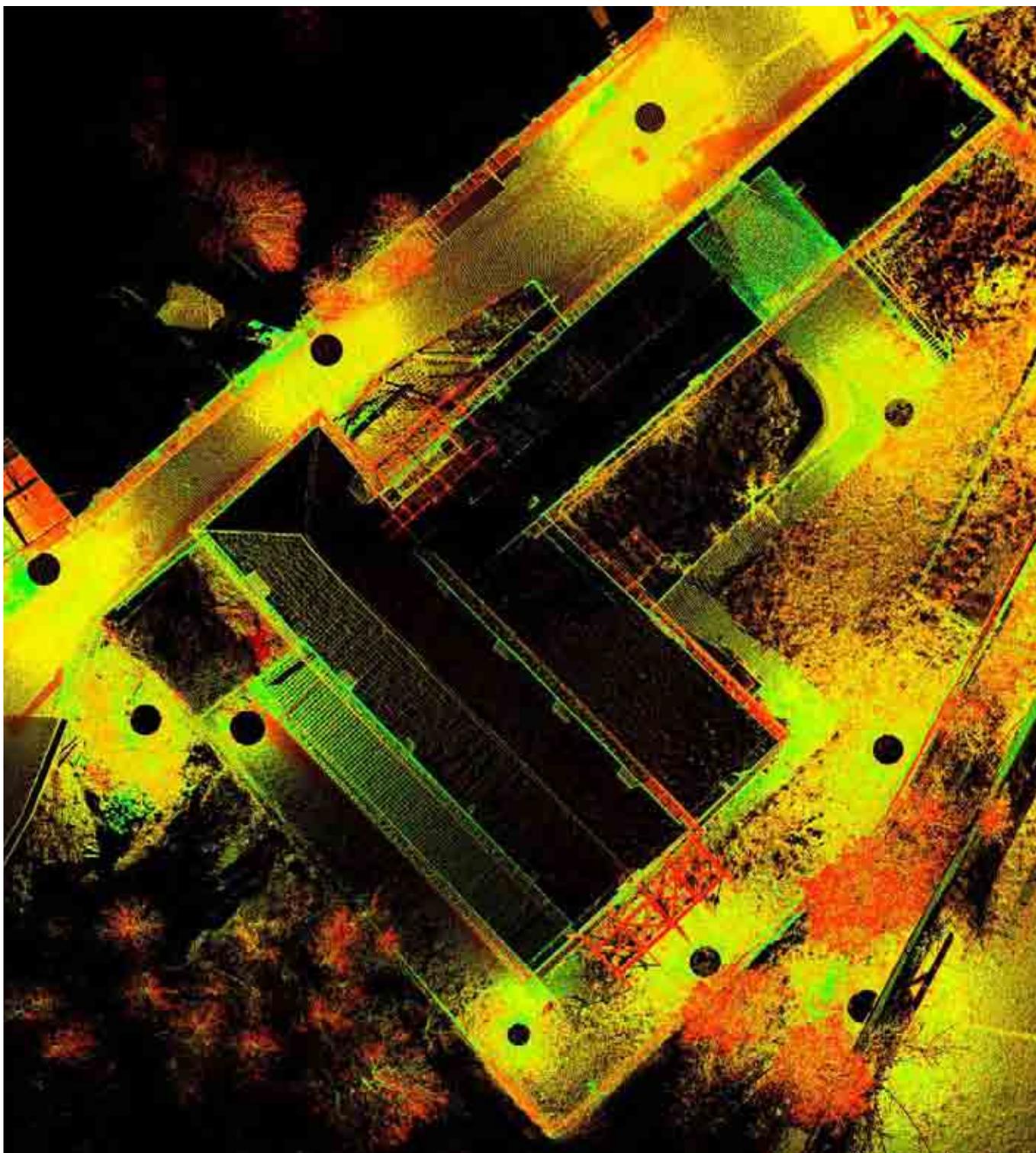
*Nelle foto della pagina precedente: alcune viste della Chiesa di San Lorenzo nella frazione di San Lorenzo di Beffi, Comune di Acciano (AQ) dove è possibile vedere gli effetti provocati dal sisma del 2009 alle strutture esterne, il campanile a vela e la facciata.*

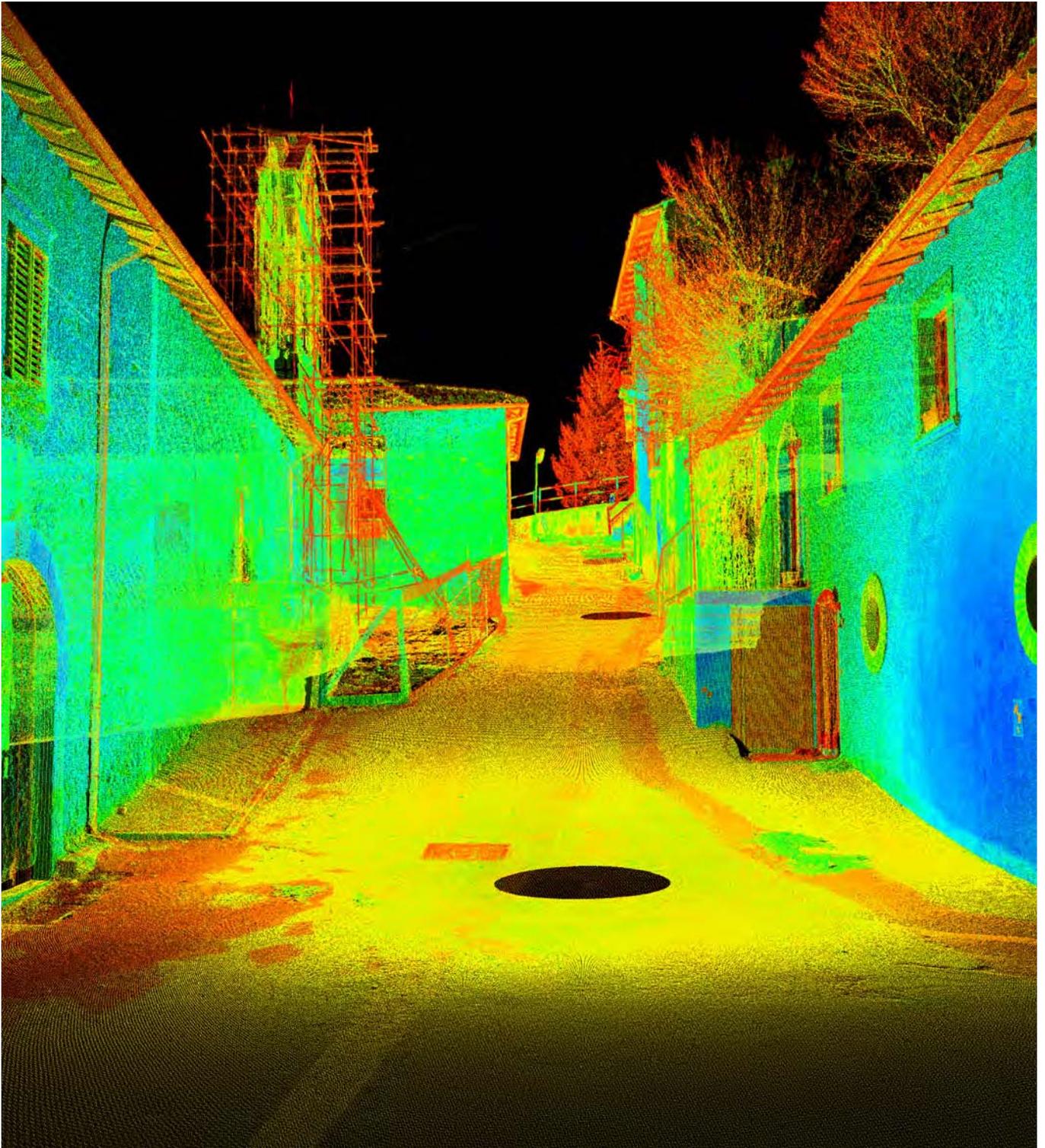
*Nella foto sopra: una lesione passante attraversa il cornicione dell'aula interna della Chiesa di San Lorenzo.*

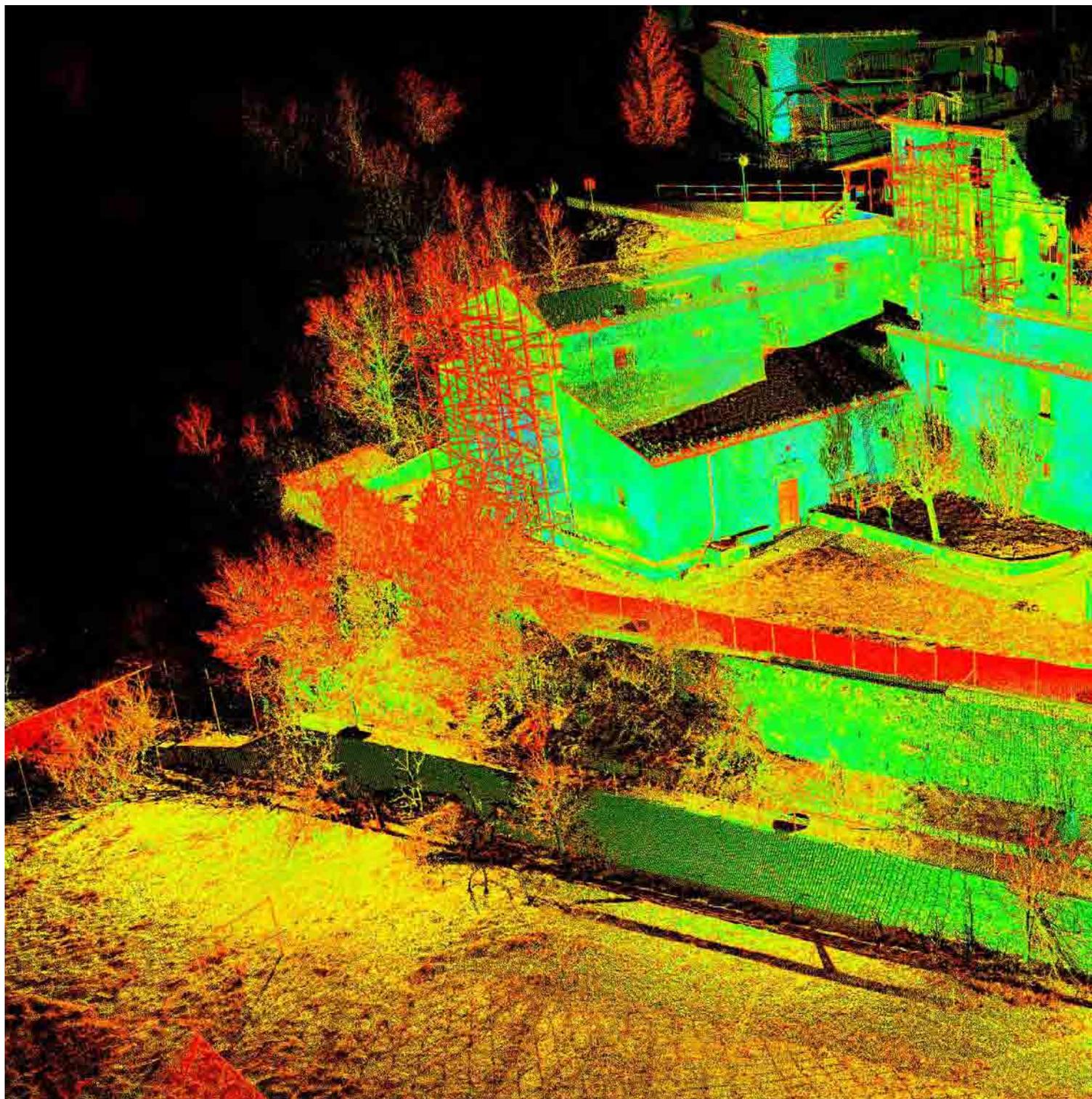
*Nelle pagine seguenti: alcune viste della nuvola di punti prodotta dal rilievo laser scanner del complesso ecclesiastico e i prospetti esterni restituiti dalle orthoimage della nuvola di punti.*

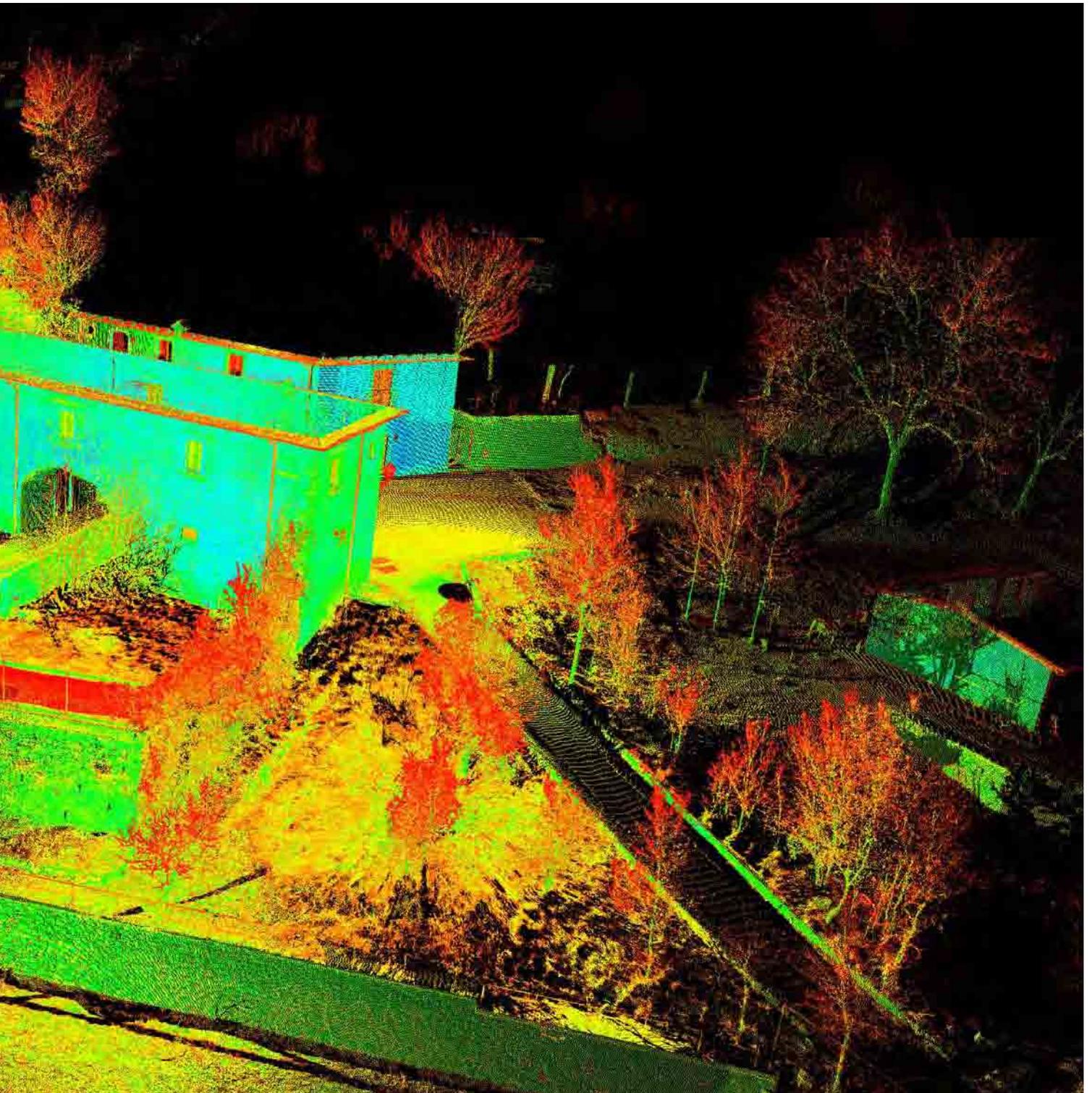




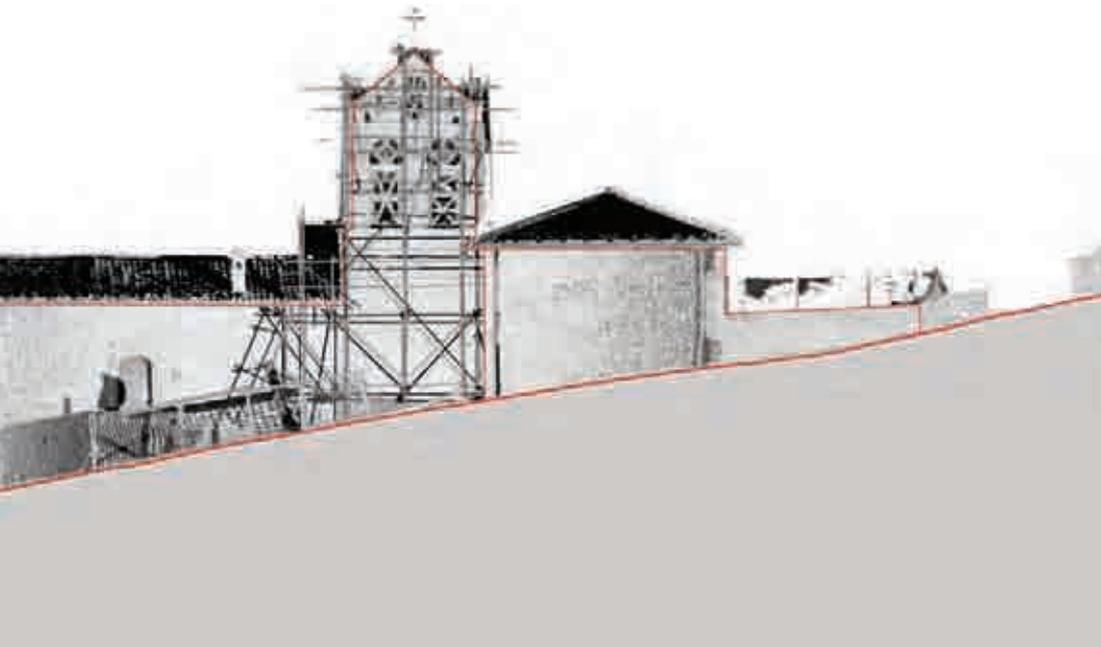












### 3.2 IL PALAZZO DEL PODESTÀ A MANTOVA: SPERIMENTAZIONE PER IL MONITORAGGIO POST-SISMA

Il terremoto dell'Emilia del 20 maggio 2012 ha causato notevoli danni alle abitazioni ma soprattutto ai monumenti che costituiscono il patrimonio artistico e culturale della Regione. Numerosi campanili e torri, simboli caratteristici dei piccoli e grandi paesi distribuiti sul territorio, sono stati danneggiati o comunque interessati da deformazioni. Trattandosi di strutture snelle, spesso caratterizzate da altezze notevoli, rappresentano una priorità negli interventi per la messa in sicurezza in quanto le aree coinvolte da un potenziale crollo in seguito ad altre scosse risultano estese e difficilmente delimitabili.

Le esperienze di rilievo mediante laser scanner maturate negli ambienti di ricerca possono offrire un utile strumento per fornire, in tempi brevissimi e con alti standard qualitativi, il quadro deformativo delle strutture in esame, consentendo valutazioni mirate e specifiche, caso per caso, agli ingegneri strutturisti addetti ai lavori nonché ai VVF nell'ambito delle prime veloci operazioni per la messa in sicurezza o per valutazioni specifiche successive.

In relazione agli interventi di progettazione esecutiva e alla urgente messa in sicurezza del Palazzo del Podestà, appaltati dal Comune di Mantova ad un pool di imprese fra le quali la Società Cooperativa Muratori Sterratori e Affini (CMSA) è emersa la necessità di monitorare lo stato

dei fronti esterni del Palazzo a seguito degli eventi sismici del 2012.

Il Dipartimento di Architettura, Disegno, Storia, Progetto dell'Università di Firenze<sup>1</sup> è stato incaricato di eseguire una campagna di rilievo laser scanner sui fronti esterni del Palazzo, per confrontare lo stato attuale del manufatto con il materiale documentario del rilievo risalente al 2007 e realizzato dal Centro Ricerche D.I.A.P.R.e.M. dell'Università di Ferrara con la stessa metodologia.

L'utilizzo in modo appropriato delle tecnologie laser scanner, ha permesso di svolgere le attività di analisi in modo speditivo, contestualmente agli interventi di cantierizzazione e messa in sicurezza del Palazzo, producendo, un data base tridimensionale relativo alle porzioni esterne del Palazzo paragonabile a quello del precedente rilievo.

La possibilità offerta da questo caso studio, un edificio di prestigio e di notevoli dimensioni come il Palazzo del Podestà di Mantova, è stata quella di poter accedere ad un rilievo laser scanner effettuato pre-sisma e progettare un confronto con l'attuale situazione, consentendo di sperimentare nuove metodologie di monitoraggio che possono essere impiegate sia in contesti post-sisma che per gli aspetti di valutazione e prevenzione sismica.

#### NOTE

1. Il Gruppo di Ricerca è stato così costituito:

Responsabile scientifico - *Prof. Arch. Stefano Bertocci*, Coordinatore tecnico - *Dott. Arch. Carlo Raffaelli*, Analisi diagnostica - *Dott. Arch. Giovanni Minutoli*, Rilievo laser scanner - *Arch. Luca Cosimi*, Rilievo topografico - *Dott. Arch. Francesco Toli*.

Le attività di restituzione grafica hanno visto la collaborazione dell'*Arch. Matteo Pasquini*.



### 3.2.1 Progetto del rilievo digitale per il confronto con il database del rilievo pre-sisma

La ricerca intrapresa è stata finalizzata a verificare possibilità e metodo per un confronto, quanto più corretto possibile dal punto di vista scientifico, tra le banche dati 2007 e quella prodotta nel 2012, lo scopo è stato quello di realizzare una documentazione di monitoraggio attendibile sul comportamento plastico dei fronti presi in esame.

Un primo problema è stato quello relativo alla valutazione delle tecnologie da utilizzare nelle operazioni di rilievo sulla base dei dati forniti dalla Committenza e risalenti al 2007, costituiti da un data base realizzato con strumentazione laser scanner *Leica Geosystems HDS 3000* e stazione totale topografica.

Per mantenere le medesime tolleranze di errore, caratteristiche delle strumentazioni già utilizzate, si è optato in questo caso per la realizzazione di un rilievo integrato laser scanner registrato sulla base di quello topografico. La strumentazione laser scanner utilizzata, *Leica Geosystems HDS ScanStation 2*, presenta tecnologia strumentale e caratteristiche assimilabili a quelle dello strumento utilizzato nel 2007: i due strumenti, infatti, fanno entrambi parte dei sistemi di rilevamento a distanza di tipo LIDAR (*Light Detection And Ranging*) e utilizzano la stessa tecnologia TOF (*Time of Flight*).

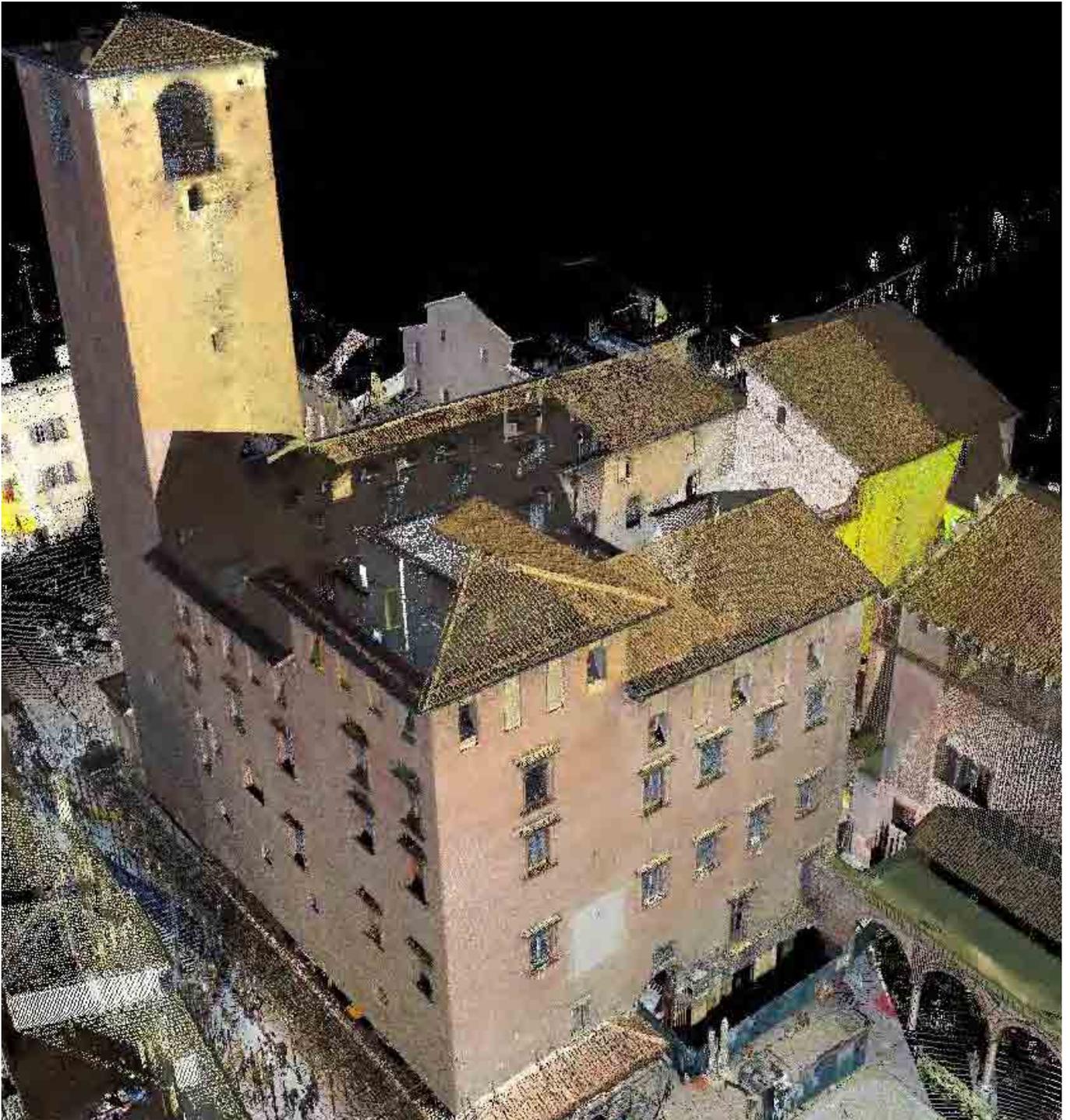


Per definire il metodo di confronto fra i due rilievi digitali, occorre fare alcune scelte metodologiche riguardanti la questione della possibile sovrapposizione dei due data base. Un dato importante è costituito dall'impossibilità di realizzare operazioni di sovrapposizione basate su capisaldi topografici; in linea teorica questo collegamento topografico fra i due rilievi, sulla base di punti noti che sarebbero dovuti essere fisicizzati durante le operazioni del precedente rilievo nell'ottica del monitoraggio futuro. La mancanza, nel rilievo del 2007, di capisaldi, come ad esempio chiodi a terra o dati GPS, che assicurassero il riconoscimento univoco di punti fissi anche dopo un evento sismico e da utilizzare per il collegamento con il nuovo database, ha costretto ad identificare altre metodologie di confronto. La sovrapposizione ottenuta, che assicura comunque una buona affidabilità metrica, è stata quindi necessariamente realizzata attraverso il riconoscimento di punti collimati morfologicamente nel rilievo topografico del 2007 e nel rilievo topografico del 2012.



Nell'immagine a sinistra: lo strumento laser scanner *Leica Geosystems HDS ScanStation 2*.

Sopra: la torre dell'orologio del Palazzo del Podestà a Mantova.



*Una vista della nuvola di punti prodotta dal rilievo laser scanner del 2012 e colorata secondo i colori originali dei materiali grazie all'inserimento delle foto orbitali.*

### 3.2.2 La campagna di rilievo

La strumentazione topografica utilizzata in fase di acquisizione dei dati di rilievo è una stazione totale *Leica Geosystems* pienamente assimilabile per caratteristiche e tolleranze d'errore a quella utilizzata nel 2007. Il rilievo topografico, oltre a costituire la base per il corretto allineamento delle singole scansioni laser scanner, risulta indispensabile per la sovrapposizione dei due rilievi tramite il confronto delle poligoni chiuse dei punti di stazione realizzate nel 2007 e 2012.

La strumentazione laser scanner scelta per l'acquisizione dei dati di rilievo è un *Leica Geosystems HDS ScanStation 2*, strumento capace di acquisire nuvole di punti con elevata affidabilità (accuratezza della singola misurazione stimata dalla casa produttrice in 6mm a una distanza di 50m, identica a quella stimata per lo strumento utilizzato nel 2007) in tempi più ridotti (circa 50.000 punti/secondo)

rispetto allo strumento utilizzato nel 2007 (circa 4.000 punti/secondo).

Nello specifico sono state realizzate complessivamente 21 stazioni di ripresa, (approssimativamente nei medesimi punti di stazione del rilievo 2007) all'esterno del Palazzo (prospetti su P.za Erbe, via Giustiziati, P.za Broletto e via Broletto) e nei due dei cortili interni (cortile dello scalone d'onore e cortile delle volte del Podestà). Le impostazioni e i parametri di acquisizione sono state replicati, per quanto possibile, attingendo dalle schede di scansione a corredo del database D.I.A.P.R.e.M. del 2007. In fase di acquisizione, sia durante il rilevamento topografico sia durante quello laser scanner, eseguiti contestualmente, laddove possibile sono stati rilevati anche quei *targets* (punti univocamente individuati per il collegamento delle singole scansioni e per il controllo delle operazioni di rototraslazione in fase di messa a registro dei dati) risalenti al 2007 e ancora presenti in loco, in modo da avere ulteriori verifiche nel confronto dei due data base.



Come materiale integrativo al rilievo laser scanner sono state realizzate fotografie equirettangolari a 360° ad alta risoluzione tramite fotocamera digitale reflex con ottica *fisheye* e testa panoramica per l'annullamento di problemi di parallasse.

Tali fotografie sono state scattate posizionando la fotocamera con l'apposito braccio adattatore in corrispondenza delle stazioni di ripresa laser scanner, in modo da essere perfettamente sovrapponibili alle nuvole di punti e permetterne la colorazione RGB con colori reali del contesto rilevato. Il rilievo strumentale si è

dovuto inoltre relazionare allo stato di messa in sicurezza e cantierizzazione delle attuali condizioni del sito; la presenza infatti di ponteggi, mantovane e materiali di cantiere presenti in loco durante le fasi di rilievo non ha reso possibile la completa 'copertura' dei fronti oggetto dell'indagine a causa delle inevitabili zone di occlusione nelle nuvole di punti realizzate.

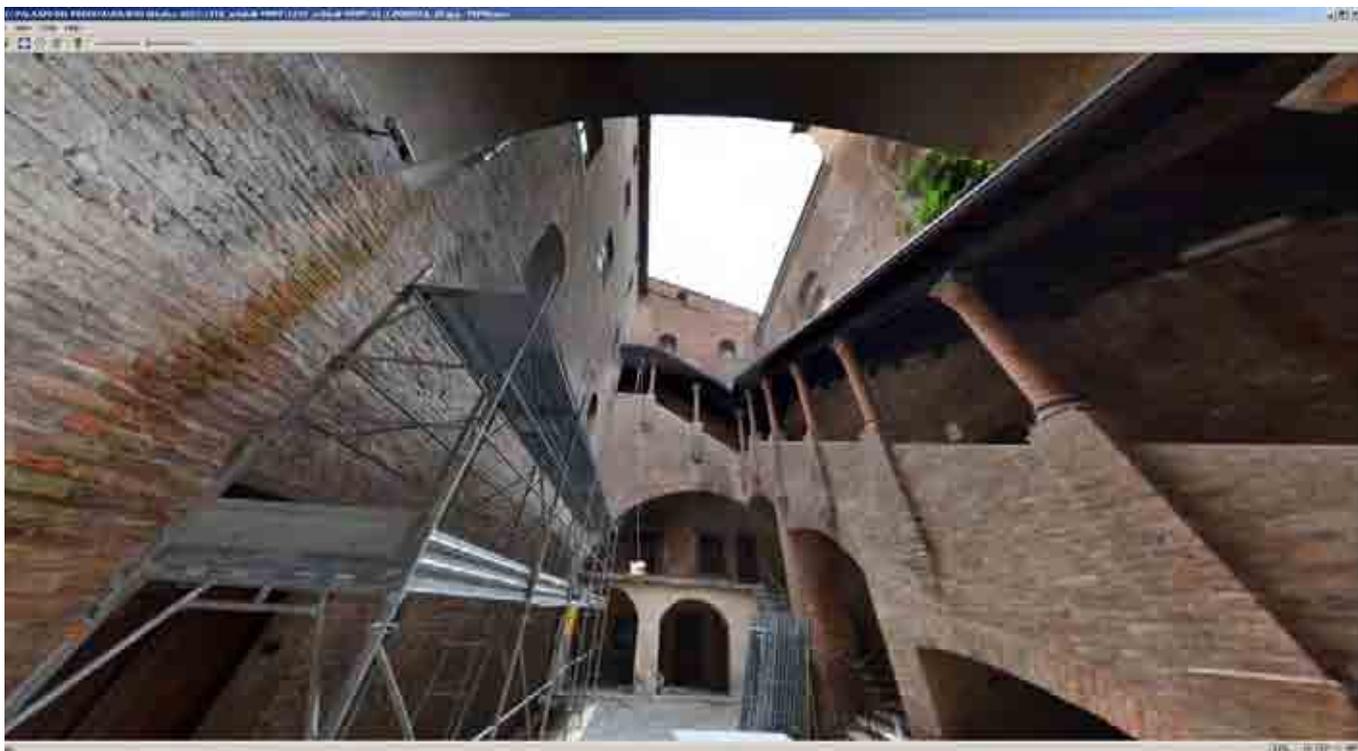
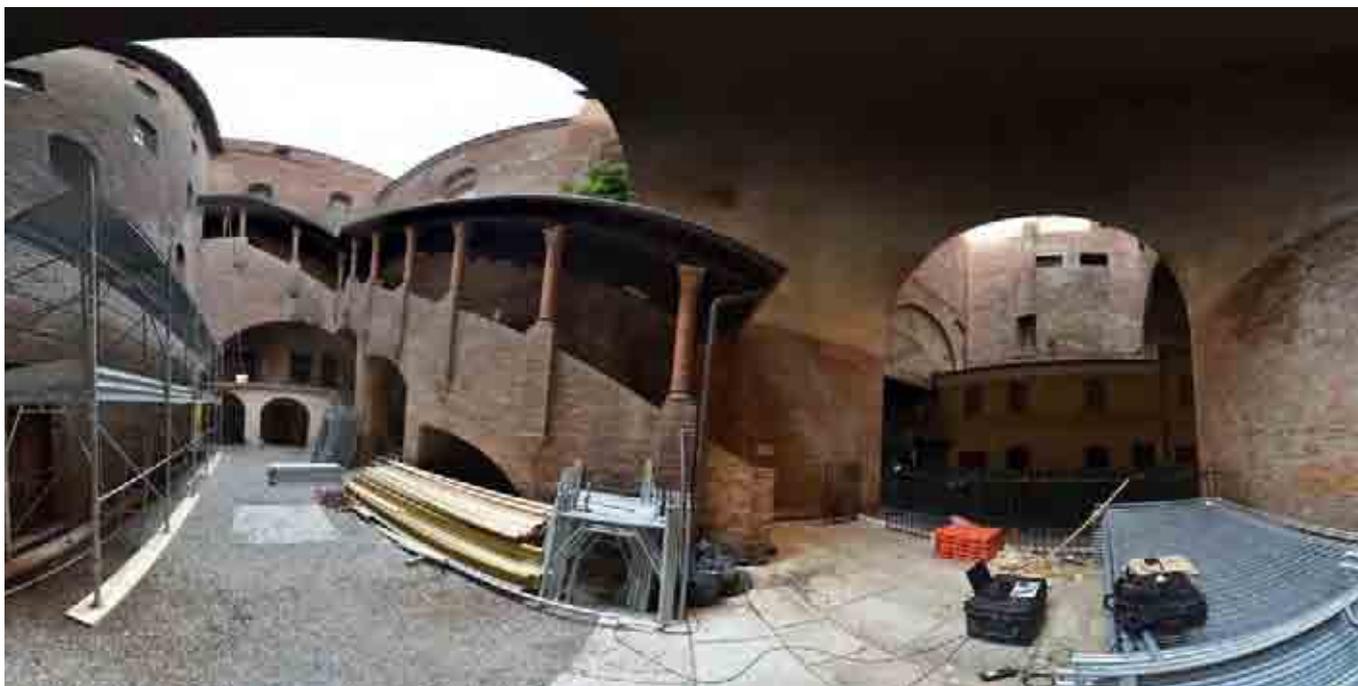
Tali ombre, localizzate sui fronti in corrispondenza della proiezione rispetto al raggio laser dei suddetti elementi, non hanno comunque compromesso l'analisi estesa a tutto il fronte delle deformazioni plastiche subite.



*Nelle immagini della pagina precedente: un momento del rilievo topografico effettuato contestualmente a quello laser scanner del 2012. I target presenti in sito dal rilievo del 2007.*



*In questa pagina: a sinistra un momento del rilievo topografico, a destra, l'acquisizione delle fotografie per la creazione delle foto orbitali.*



*La foto orbitale relativa alla ripresa effettuata dal punto di scansione nel cortile dello scalone d'onore del Palazzo del Podestà a Mantova.*



*Una vista della nuvola di punti relativa al rilievo del 2012. In alto: la versione secondo il dato originale acquisito, in basso: la versione visualizzata con i colori reali dei materiali grazie all'inserimento nella nuvola di punti delle foto orbitali.*

### 3.2.3 Messa a registro del database 2012 e sovrapposizione con il database 2007

La fase di messa a registro del nuovo data base di rilievo ha preso inizio, come di consueto, già durante le operazioni di misurazione sul campo, verificando quotidianamente i dati acquisiti e le corrispondenze con il data base D.I.A.P.R.e.M. del 2007.

In tal modo è stato acquisito con certezza un numero sufficiente di target e punti morfologici, attraverso ulteriori scansioni di raffittimento localizzate su elementi architettonici notevoli, tali da garantire la possibilità di sovrapposizione dei due data base.

La registrazione del nuovo data base è quindi proceduta con l'elaborazione dati acquisiti attraverso un doppio calcolo di rototraslazione, prima applicata ad ogni singola scansione realizzata dallo strumento laser e poi a tutto il rilievo 3D sulla base di quello topografico.

I risultati ottenuti hanno evidenziato un errore medio finale di 3 mm.

Il nuovo data base ottenuto è stato quindi organizzato in modo tale da poterlo sovrapporre al precedente.

La sovrapposizione dei due data base 2007 e 2012 è avvenuta tenendo in considerazione i punti morfologici determinati dal rilievo D.I.A.P.R.e.M. del 2007, rilevando anche i target risalenti al 2007 e ancora presenti in loco, e attraverso il calcolo morfologico dei due database relativo ai punti costituenti la parte basamentale dei fabbricati fino ad un'altezza di 1m. Tale metodologia è stata applicata, come sopra accennato, in mancanza di capisaldi a terra o dati GPS presenti nella campagna di rilievo del 2007.

L'organizzazione delle nuvole di punti 3D per il monitoraggio e il confronto dei rilievi 2007 e 2012 sovrapposte, è quindi proceduto tramite la suddivisione per fronti dell'intero fabbricato, così da agevolare le successive operazioni di elaborazione dei dati che prevedevano appunto, analisi separate per ognuno dei singoli prospetti.

Per consentire una lettura sovrapposta delle due nuvole di punti, i data base 2007 e 2012 sono stati posti su due *layer* indipendenti con colori diversi all'interno del *software* di gestione *Cyclone Leica*, in modo da poter evidenziare, dopo opportune elaborazioni, eventuali spostamenti o differenze in fase di analisi.



Va comunque evidenziato il fatto che, se di norma rilievi condotti con metodologie e strumentazioni simili al caso in esame possano comportare una tolleranza di errore al di sotto del centimetro, nel caso specifico di confronto dei due database è necessario considerare un incremento dell'errore imputabile alla mancanze dei capisaldi comuni sopra citati. Tale tolleranza può essere stimata, ad esempio, in riferimento agli eventuali spostamenti subiti anche dai manufatti limitrofi al Palazzo del Podestà, sui quali sono stati considerati alcuni allineamenti morfologici.

In conclusione, nel caso in esame, si dovrà tener conto prudenzialmente di una tolleranza d'errore relativo di circa 2 cm. Inoltre, dopo un'attenta analisi del database

D.I.A.P.R.e.M. del 2007, va sottolineata la presenza di un elevato "rumore" sulla nuvola di punti (effettuando una sezione del fronte sulla nuvola di punti, per una sottile porzione larga pochi centimetri, è stato rilevato un rumore strumentale in profondità, rispetto alla superficie del prospetto, di circa 2 cm), soprattutto nelle porzioni sommitali dei fabbricati, nelle aree cioè più distanti dai punti di scansione. Questo provoca evidentemente un fattore di incertezza da tenere in considerazione, al pari delle tolleranze d'errore sopra descritte, nella valutazione finale degli spostamenti puntuali individuati.

*Una vista della nuvola di punti relativa al rilievo del 2012.*



### 3.2.4 Post-processing dei dati ed elaborazioni per il monitoraggio

L'intento della sperimentazione, finalizzata alla realizzazione di elaborati che consentono di documentare graficamente il monitoraggio dei fronti esterni e dei due cortili interni del Palazzo del Podestà è stato mirato a valutazioni congiunte di tipo macroscopico (comportamento generale dei fronti) e microscopico (valutazione puntuale degli eventuali spostamenti).

La strategia di ispezione e analisi dati utilizzata consiste nella definizione di una procedura basata sulla creazione di mappe morfologiche ottenute calcolando le distanze tra ogni punto misurato ed un opportuno piano (o primitiva) di riferimento. Le analisi morfologiche rappresentano una grande opportunità di indagine soprattutto quando esistono modelli precedenti, permettendo di effettuare confronti diretti. Le mappe delle differenze punto-piano sono considerate mappe di deformazione, intendendo con questo termine tutto ciò che si discosta dalla regolarità, in pura accezione architettonica.

Questo ha spinto la ricerca a sperimentare l'utilizzo della visualizzazione ad *elevation map*, un'opportunità di utilizzo del *software* di gestione *Leica Cyclone*, per ottenere grazie a questo trattamento delle nuvole di punti, valutazioni generali e di dettaglio.

La visualizzazione cosiddetta *elevation map*, consiste nella colorazione della nuvola di punti con falsi colori in riferimento a schemi predefiniti riguardanti scale colorimetriche e parametri metrici da settare caso per caso. Tale colorazione avviene rispetto ad un piano di riferimento scelto a discrezione dell'operatore. Viene specificato dall'operatore un delta metrico, che nel caso di questo studio è sempre di 5mm per tutti i fronti, in base al quale colorare i punti posizionati a diverse distanze rispetto al suddetto piano. Il numero di colori scelto determina il *range* di copertura (Esempio: parametri scelti delta 5 mm, 50 colori - il *range* coperto dalla colorazione sarà di 25 cm dal piano di riferimento). Lo schema colorimetrico utilizzato è quello *Blue-Green-Yellow-Red* per avere la lettura standard delle deformazioni-spostamenti tipica dei rilievi strutturali con le aree più critiche (nel caso specifico le aree più distanti dal piano di riferimento) colorate di rosso. Gli elaborati finali prevedono una colorazione

dei fronti dal verde al rosso, avendo eliminato i punti colorati di blu relativi a quelli coincidenti con lo 0.00 ed i successivi 5 mm lungo la coordinata di riferimento parallela alla normale del piano. Il piano virtuale a cui riferire gli spostamenti è stato posizionato arretrandolo al livello degli infissi delle aperture sui prospetti, tale da essere al di sotto della superficie del fronte e consentire di leggere gli spostamenti relativi solo nel senso positivo rispetto al piano inserito.

Tale visualizzazione, usata largamente per la creazione di tradizionali curve di livello altimetriche in visualizzazioni aeree, ultimamente viene sperimentata nel campo del rilievo architettonico per la valutazione delle deformazioni e degli spostamenti di fronti esterni di fabbricati. Nel caso specifico il trattamento ad *elevation map* dei prospetti in esame è stato utilizzato in una prima fase per indagare circa lo stato deformativo plastico dei piani di facciata, in seconda istanza per confrontare i due database al fine di individuare aree soggette a spostamenti relativi rispetto alla situazione pre-sisma.



I primi elaborati prodotti e divisi per fronte, sia per quelli esterni che per quelli delle due corti interne, individuano il posizionamento del piano di riferimento scelto per la visualizzazione *elevation map*. Il controllo vettoriale, in fase di restituzione grafica, per questa operazione è stato possibile grazie a disegni CAD in pianta, prospetto e sezione del rilievo D.I.A.P.R.e.M. del 2007, che hanno costituito la base grafica a “filo di ferro” sulla quale sovrapporre gli elaborati prodotti, costituiti da immagini *raster* per la visualizzazione delle suddette colorazioni.

Il piano di riferimento rispetto al quale determinare la colorazione degli spostamenti è stato di volta in volta impostato dall'operatore rispetto ad ogni prospetto, in modo da risultare quanto più parallelo al fronte indagato, ma restando comune ai due data base sovrapposti. La creazione di tale piano è partita dalla selezione di punti appartenenti alla superficie del fronte, successivamente spostato in posizione arretrata rispetto alla superficie esterna del fronte stesso in modo da avere una lettura 'in positivo di tutti i punti da colorare.



*In questo elaborato grafico si individua il piano di riferimento scelto per la visualizzazione *elevation map* rispetto agli elaborati CAD in pianta, prospetto e sezione del rilievo D.I.A.P.R.e.M. del 2007. Il processo di analisi è stato eseguito su tutti i fronti esterni e su quelli riferiti alle due corti interne del Palazzo del Podestà. La presentazione degli elaborati grafici finali viene qui proposta solo sul fronte che si affaccia su piazza Broletto a Mantova analizzato separatamente nei due piani aggettanti riferiti uno al prospetto del Palazzo e l'altro a quello della torre.*

Grazie alla visualizzazione *elevation map* dei fronti indagati, è stato possibile effettuare una valutazione macroscopica del comportamento plastico della superficie di facciata rispetto al piano di riferimento scelto, sia allo stato del 2007 che a quello del 2012, fornendo un'idea complessiva dello stato deformativo del fronte nei due diversi periodi di indagine, al netto di evidenti discontinuità quali infissi, ingombri estranei all'architettura, modanature, etc.

È infatti grazie alla sovrapposizione morfologica delle due nuvole di punti, relative ai due diversi rilievi, ma inserite su *layers* distinti dello stesso ambiente virtuale

all'interno del *software* di gestione, che è possibile riferire gli spostamenti degli stessi fronti, nelle condizioni dei due rilievi, ad un unico piano di riferimento relativo ai due data base, permettendone il confronto diretto.

Una volta definite sui vari fronti le aree di non complanarità evidenziate dalla diversa colorazione, si è potuto graficizzare lo stacco dei vari incrementi di deformazione, con variazione ogni 5 mm, delineando una sorta di curve di livello che si sviluppano su tutta l'estensione del fronte in corrispondenza di tali spostamenti e relativamente allo stato dei due rilievi.



Visualizzazione *elevation map* del fronte su piazza Broletto per una valutazione macroscopica del comportamento del piano di facciata rispetto al piano di riferimento scelto e relativa al rilievo D.I.A.P.R.e.M. eseguito pre-sisma nel 2007.

Tale visualizzazione viene realizzata diminuendo il numero di colori (abbassando, in tal modo, il *range* coperto dalla colorimetria). Questo di norma renderebbe il comportamento della colorazione sul fronte meno comprensibile, lasciando una buona parte di punti fuori dal *range* considerato; la possibilità però, di ripetere la gamma colorimetrica fuori dal *range* definito in modo sistematico, crea una visualizzazione più dettagliata e utile per l'individuazione di curve di livello. L'evidenziazione di tali curve è stata realizzata con *software* di gestione di immagini digitali attraverso l'individuazione selettiva per colorazione di aree omogenee, mantenendo la possibilità

di sviluppare gli elaborati grafici solo a livello *raster* senza la necessità di un ripasso vettoriale.

Il confronto degli elaborati prodotti fino a questo punto sui prospetti rilevati e relativi alle due condizioni pre e post-sisma, è stato possibile mediante comparazione e sovrapposizione delle curve di livello individuando così aree critiche più soggette a spostamenti relativi.

Lo scostamento delle curve di livello, elaborate a partire dal trattamento a *elevation map* dei data base 2007 e 2012 rispetto a uno stesso piano di riferimento, indica infatti in modo inequivocabile l'avvenuto spostamento di quelle determinate aree di facciata.



Visualizzazione *elevation map* del fronte su piazza Broletto per una valutazione macroscopica del comportamento del piano di facciata rispetto al piano di riferimento scelto e relativa al rilievo del Dipartimento di Architettura di Firenze eseguito post-sisma nel 2012.



*Visualizzazione elevation map del fronte su piazza Broletto per una valutazione macroscopica più dettagliata del comportamento del piano di facciata rispetto al piano di riferimento scelto. L'individuazione delle curve di livello è possibile grazie alla diminuzione dei colori all'interno del range e alla loro ripetizione una volta che questo si esaurisce nella colorazione dei punti che fuoriescono dall'intervallo millimetrico stabilito in direzione ortogonale al piano di riferimento. L'evidenziazione di tali curve è stata realizzata con software di gestione di immagini digitali attraverso individuazione selettiva per colorazione di aree omogenee. In questo elaborato viene graficizzata la situazione plastica del prospetto relativo al data base D.I.A.P.R.e.M. eseguito pre-sisma nel 2007.*



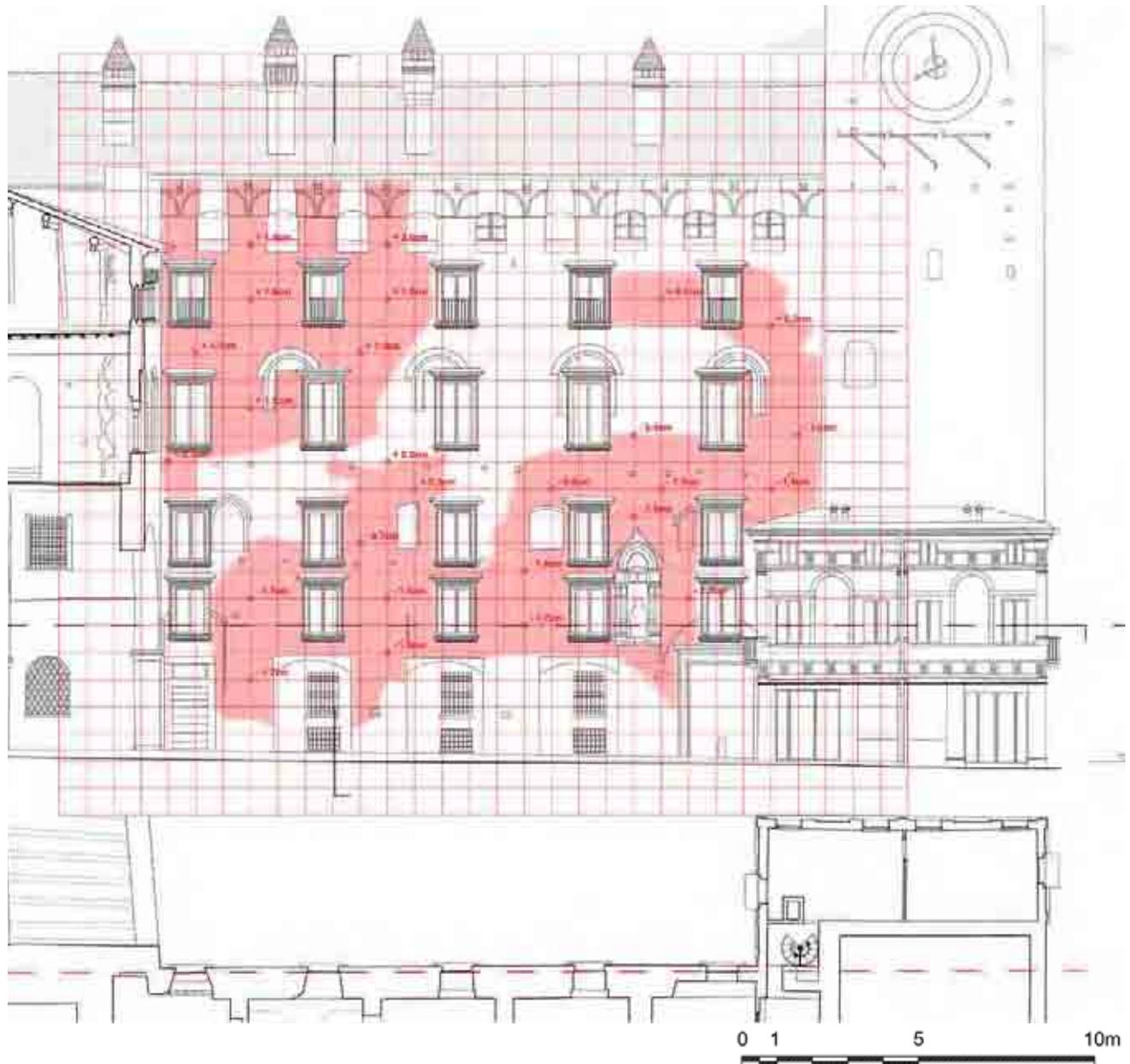
*Visualizzazione elevation map del fronte su piazza Broletto per una valutazione macroscopica più dettagliata del comportamento del piano di facciata rispetto al piano di riferimento scelto. In questo elaborato viene graficizzata la situazione plastica del prospetto relativo al data base del Dipartimento di Architettura di Firenze eseguito post-sisma nel 2012.*

All'interno di queste aree, isolate come porzioni di fronte che hanno subito una maggiore deformazione, è stata riportata l'indicazione metrica puntuale a campione dell'entità degli spostamenti relativi nelle aree critiche sulla base di una griglia di riferimento.

L'indicazione dell'entità metrica degli spostamenti avvenuti è stata restituita seguendo la griglia di riferimento (maglia di 1x1m) fissa sui data base 2007 e 2012 per punti

omologhi. Tali punti, scelti a campione all'interno delle aree critiche sopra descritte, sono stati analizzati attraverso le loro coordinate riferite al sistema cartesiano impostato sul piano di riferimento creato per ogni fronte relativo ai due data base. I valori individuati sono da considerarsi attendibili in relazione alle tolleranze d'errore complessive precedentemente specificate.





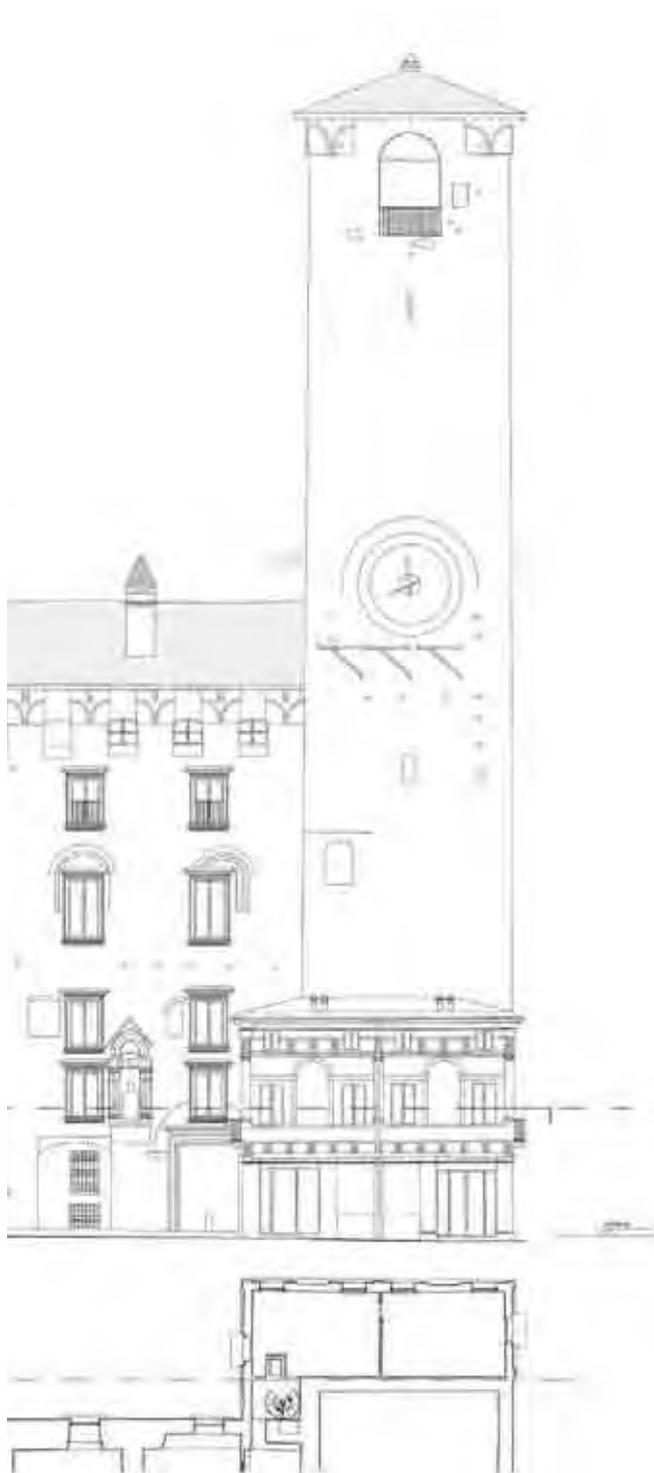
*Nella pagina precedente: l'elaborato grafico propone un confronto degli elaborati descritti dalle immagini delle due pagine precedenti mediante comparazione e sovrapposizione delle curve di livello con individuazione delle aree critiche più soggette a spostamenti relativi. Tale confronto rende possibile l'individuazione di aree critiche soggette a spostamenti relativi sul fronte di piazza Broletto. Lo scostamento delle curve di livello, elaborate a partire da elevation map dei database 2007 e 2012 rispetto a uno stesso piano di riferimento, indica infatti in modo inequivocabile l'avvenuto spostamento di determinate aree di facciata.*

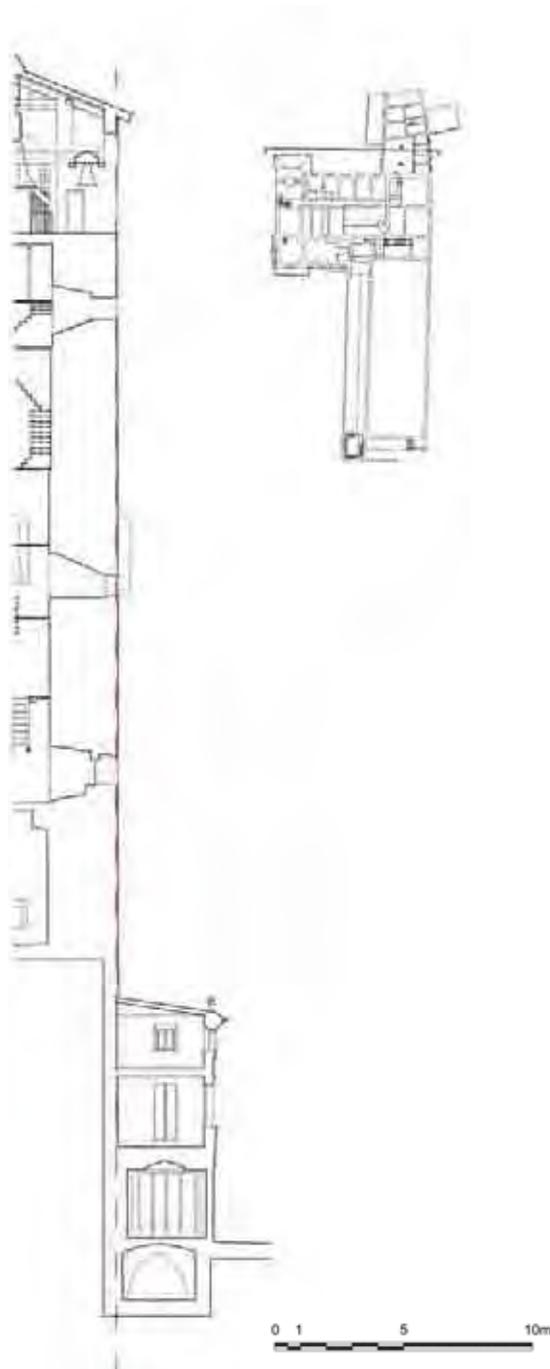
*In questa pagina: l'elaborato grafico propone l'indicazione metrica puntuale a campione dell'entità degli spostamenti relativi nelle aree critiche sulla base di una griglia di riferimento. L'indicazione dell'entità metrica degli spostamenti avvenuti è stata restituita su una griglia di riferimento (maglia di 1x1m) fissa sui database 2007 e 2012 per punti omologhi. Tali punti, scelti a campione all'interno delle aree critiche sopra descritte, sono stati analizzati attraverso le loro coordinate sui due database.*

Infine è stato sperimentato un elaborato aggiuntivo sul prospetto di Via Broletto, nel caso specifico dell'area riguardante la torre.

La visualizzazione *elevation map* è stata qui utilizzata anche per la valutazione del fuori piombo del fronte rispetto al piano stradale. Il piano verticale utilizzato è stato posto in corrispondenza della sezione della torre, alta oltre 46 m, da un'altezza da terra di 3.9 m, per ovviare al disturbo creato da elementi estranei all'architettura nella parte basamentale.

Tale elaborato ha evidenziato un fuori piombo massimo di circa 7 cm in un'area individuata nella parte sommitale del fabbricato.





*In questi elaborati grafici si individua il piano di riferimento scelto per la visualizzazione elevation map rispetto agli elaborati CAD in pianta, prospetto e sezione del rilievo D.I.A.P.R.e.M. del 2007. Le elaborazioni proposte sono riferite al fronte che si affaccia su piazza Broletto relativo alla torre dell'orologio.*

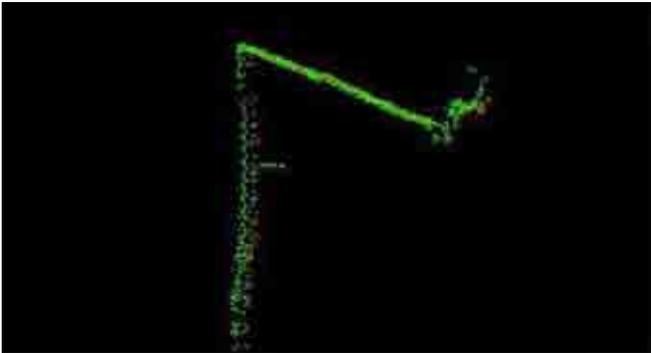




Visualizzazione elevation map del fronte su piazza Broletto, relativo alla torre, per una valutazione macroscopica dettagliata del comportamento del piano di facciata rispetto al piano di riferimento scelto. In questo elaborato viene graficizzata la situazione plastica del prospetto relativo alla condizione pre-sisma, 2007 (le figure di sinistra in entrambe le pagine) e a quella post-sisma, 2012 (le figure a destra). Lo stesso tipo di analisi è stata condotta anche sugli altri fronti del Palazzo, secondo la sovrapposizione ed il confronto degli elaborati relativi ai due distinti rilievi.

La sovrapposizione e la quotatura puntuale degli spostamenti plastici del fronte relativo alla torre rispetto al precedente rilievo è illustrata nelle immagini della pagina successiva.





*Il taglio della nuvola di punti in prossimità della parte sommitale della torre evidenzia lo scostamento dei due data base e il relativo fuoripiombo del fronte.*



### 3.2.5 Valutazioni conclusive sulla sperimentazione condotta

Una volta completati gli elaborati di comparazione dei due data base, e tenuto conto dei valori di tolleranza d'errore e di tutti gli elementi di incertezza già descritti, è stato possibile valutare i risultati ottenuti.

Il confronto tra le due nuvole di punti ha evidenziato spostamenti relativi 2007-2012, in particolare nei fronti esterni del fabbricato; nei cortili interni infatti gli spostamenti rilevati sono del tutto trascurabili per entità e circoscrizione su aree molto limitate.

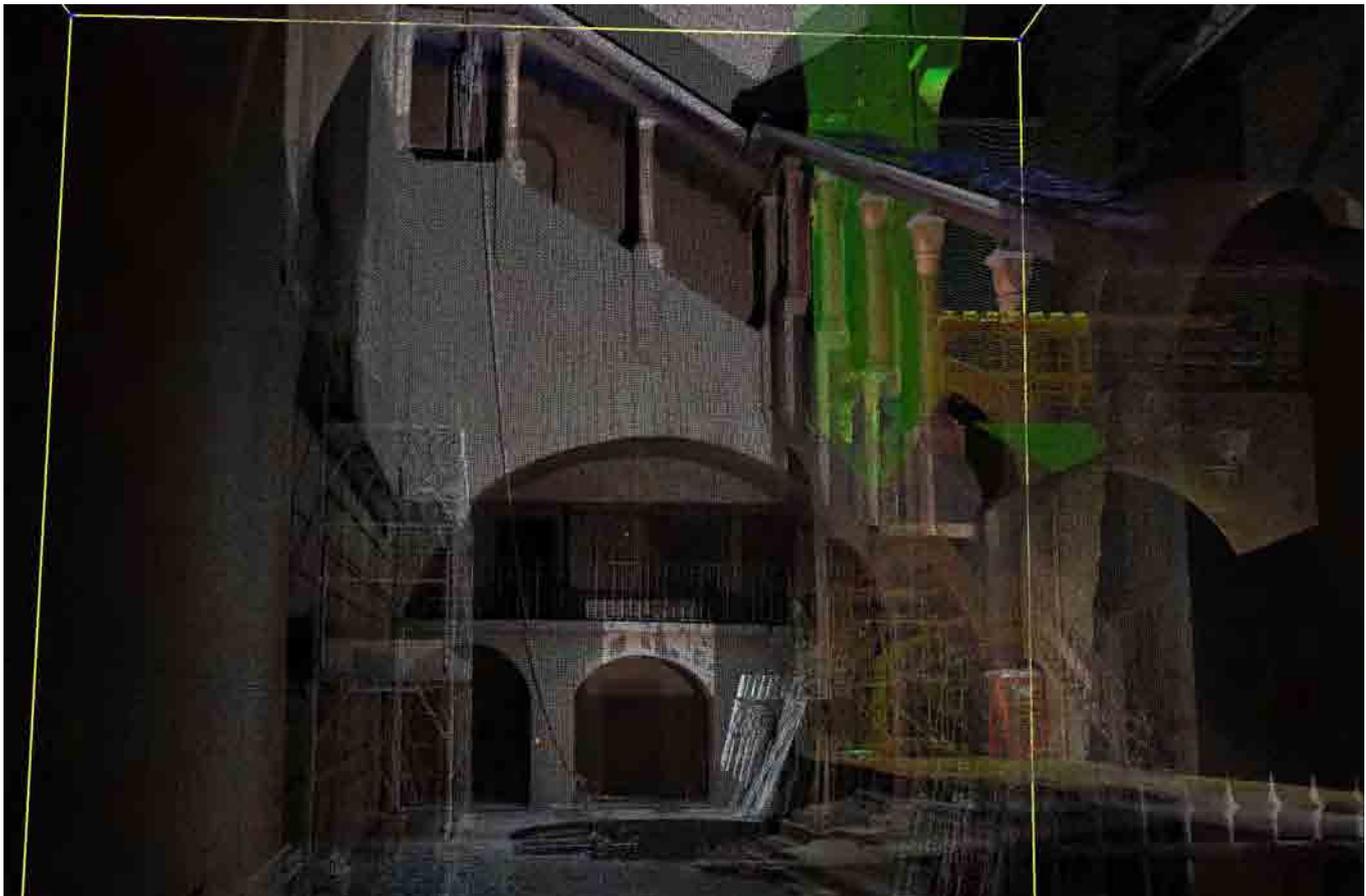
Sui fronti esterni invece, in alcuni casi, gli spostamenti sono stati diffusi, ma comunque di entità nominale mai superiore ai 4cm.

Il fronte più soggetto a spostamenti diffusi è quello su P.za Erbe, dove il piano di facciata ha subito un arretramento di

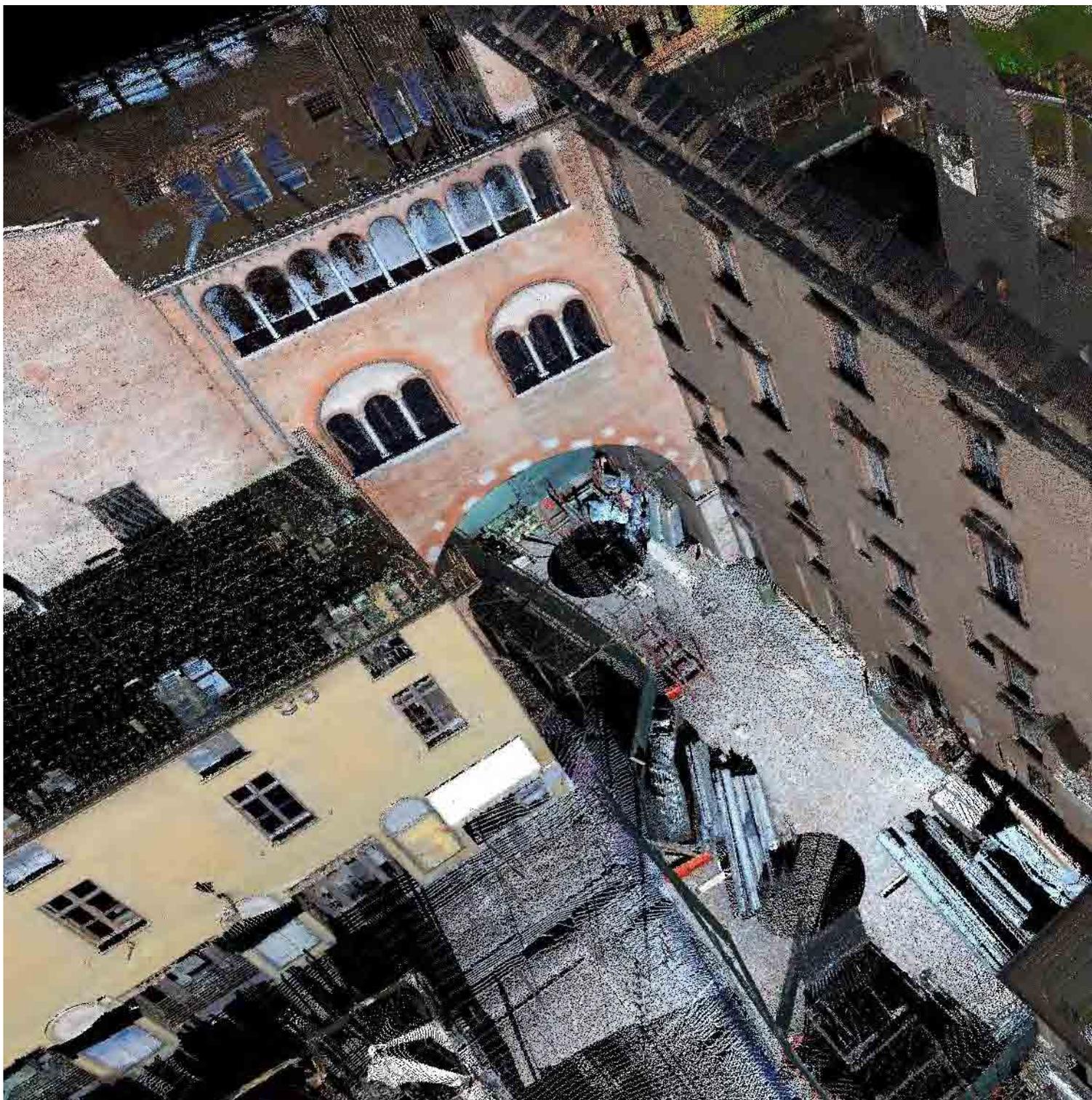
tutta la parte superiore. Altre aree soggette a spostamenti sono state individuate soprattutto sui prospetti di Via Broletto e P.za Broletto, con particolare riferimento alla parte sommitale della torre che ha subito una rototraslazione verso l'esterno dei due fronti.

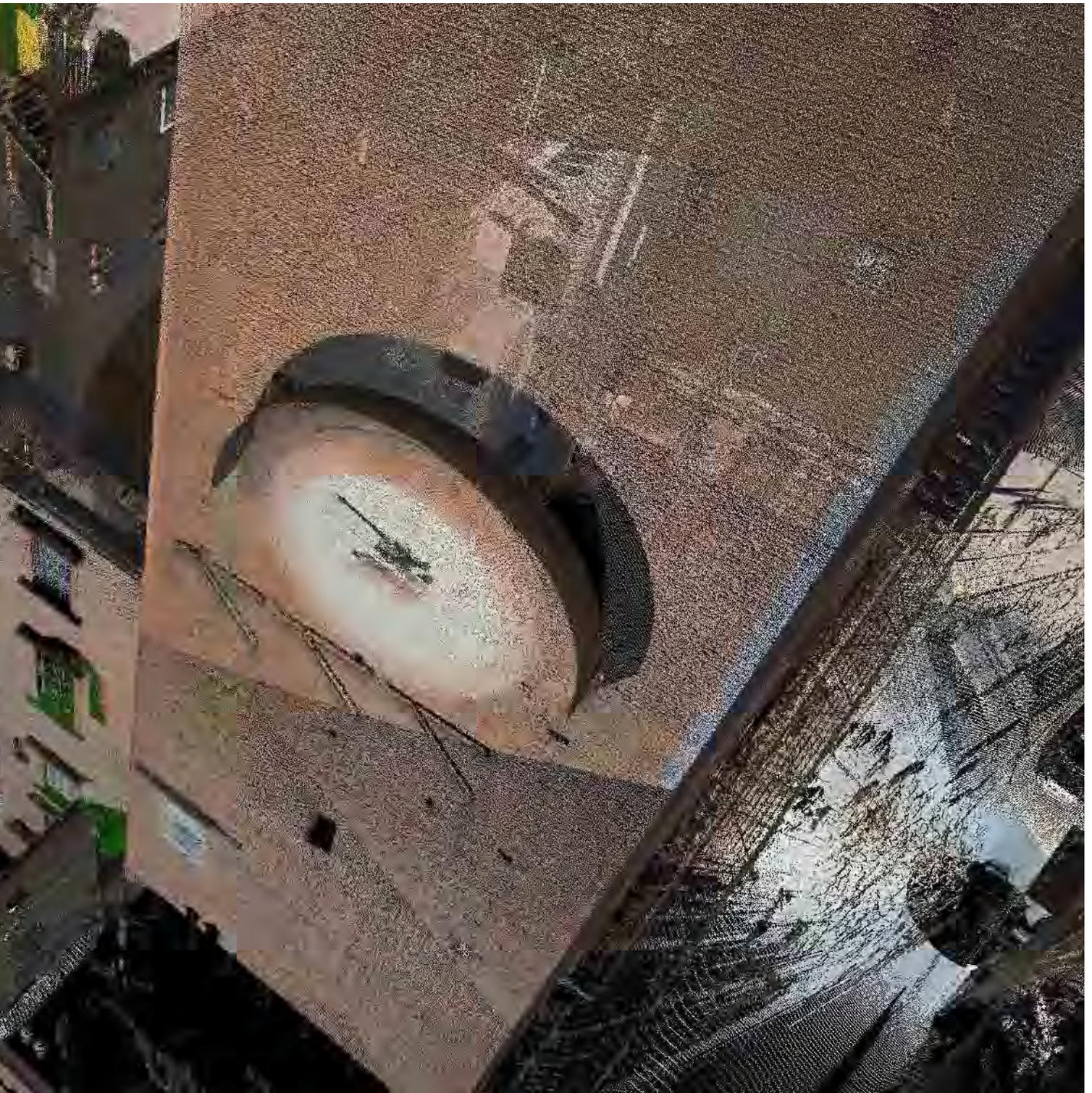
La ricerca condotta ha permesso una sperimentazione basata sul confronto diretto di dati in formato digitale di due diverse condizioni dello stesso manufatto, possibile soltanto grazie alle strumentazioni messe in campo oggi e nel precedente rilievo del 2007.

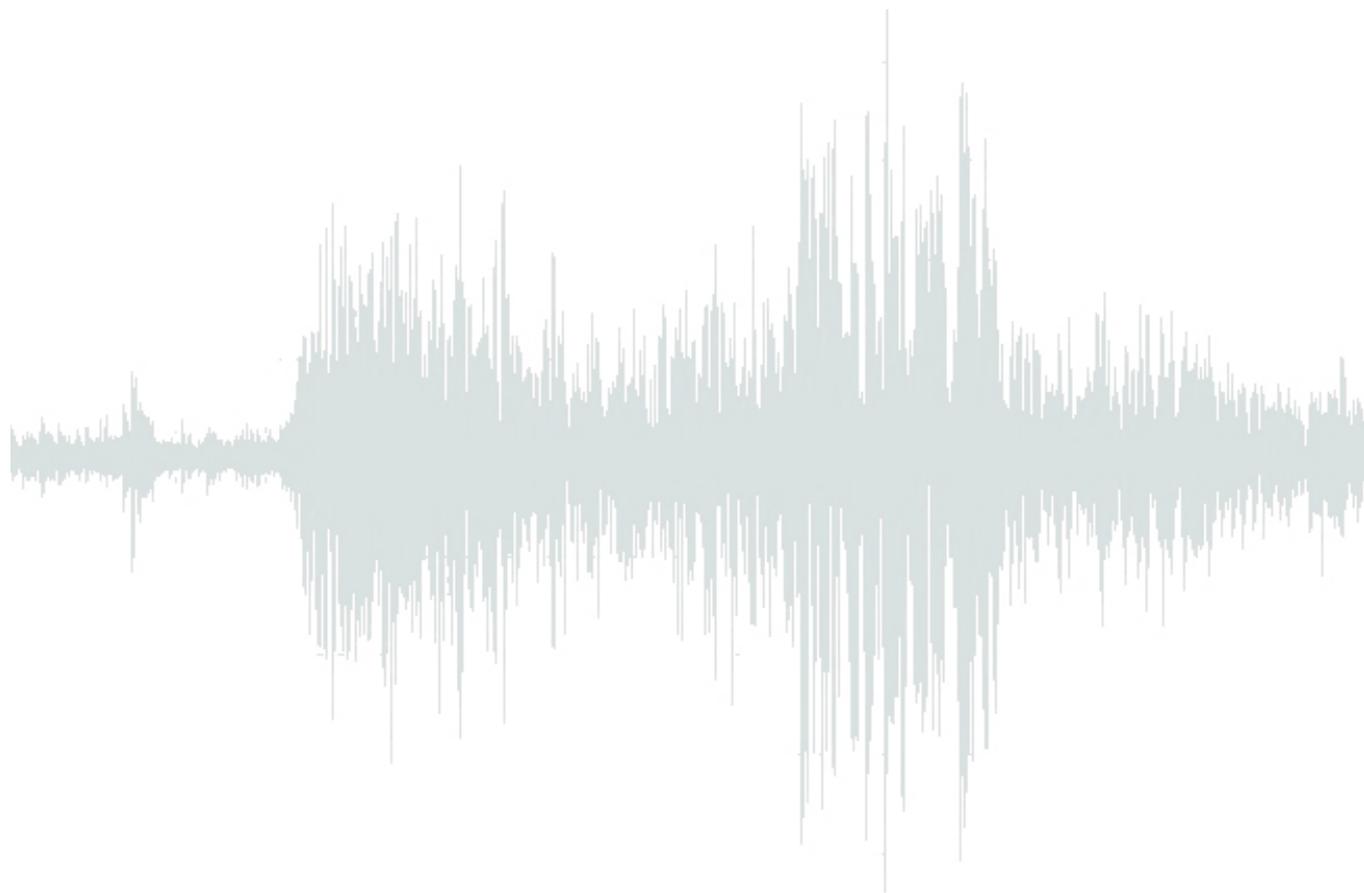
Anche in questo caso risulta evidente e ancor più fondamentale l'impiego di tecnologie digitali per il rilevamento architettonico integrate ad altre metodologie che vanno a costituire una banca dati digitale tale da poter essere consultata, rielaborata ed aggiornata anche a distanza di anni, proprio nell'ottica di un monitoraggio futuro sui beni rilevati.











## *CAPITOLO 4*

*Il rilievo urbano post-sisma dei centri storici: il caso del Comune di Acciano  
(Attività di rilievo per l'elaborazione della base cartografica necessaria alla redazione del  
Piano di Ricostruzione di Acciano)*

## CAPITOLO 4

### **Il rilievo urbano post-sisma dei centri storici: il caso del Comune di Acciano.**

*(Attività di rilievo per l'elaborazione della base cartografica necessaria alla redazione del Piano di Ricostruzione di Acciano)*

#### **Premessa**

Il rilievo laser scanner esteso a livello urbano, viene qui presentato grazie al caso studio offerto dall'analisi di alcuni centri storici situati all'interno del cratere sismico abruzzese interessato dalle scosse dell'aprile 2009. La ricerca si è interfacciata in questo caso anche alla disciplina urbanistica, prevedendo i rilevamenti dell'edificato per la definizione di uno strumento urbanistico, è stata infatti connessa, con il contributo scientifico della Facoltà di Architettura di Firenze, alla redazione del Piano di Ricostruzione<sup>1</sup> del Comune di Acciano (AQ). Il Piano, come è noto, nasce dalla necessità di governare il previsto processo di ricostruzione e di prevedere un complesso di operazioni e previsioni urbanistiche per il recupero e la riqualificazione dei piccoli centri storici che fanno parte del territorio comunale e del centro storico del Capoluogo. Acciano si sviluppa in un contesto territoriale di grande rilevanza paesaggistica e ambientale ed estende il suo comune per un'area che comprende cinque centri storici dislocati principalmente lungo la strada statale che lo attraversa. Questi, caratterizzati da un prezioso tessuto urbano storico costituito da una edilizia minore principalmente connessa alle attività agricole e di pastorizia che costituivano le maggiori fonti economiche di questo territorio, includono anche edifici di culto e di una particolare rilevanza storica come castelli e sistemi difensivi di varie epoche che, sparsi su tutta l'area, rappresentano emergenze architettoniche da recuperare e valorizzare.

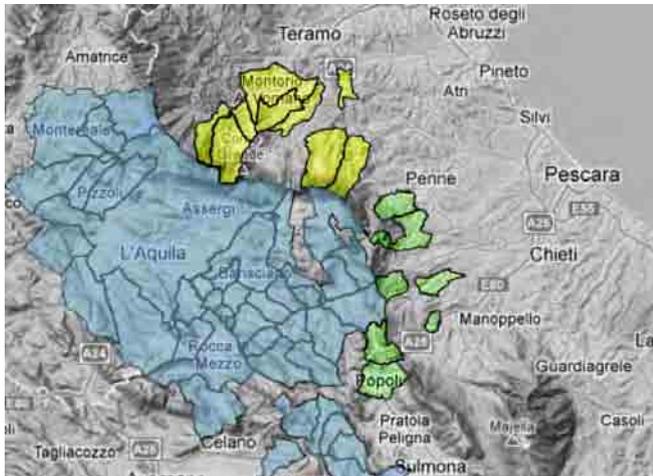
Dall'amministrazione comunale è stato individuato il Dipartimento di Architettura, Disegno, Storia, Progetto, dell'Università degli Studi di Firenze<sup>2</sup> per lo svolgimento delle attività di supporto all'Ufficio Tecnico Comunale di Acciano, d'intesa con la STM (Struttura Tecnica di Missione), alla redazione del Piano stesso con convenzione

del 23 luglio 2011<sup>3</sup>. Scopo del Piano è l'individuazione delle azioni necessarie per dare inizio ad un processo di recupero degli alloggi e di messa in sicurezza dei centri storici interessati dal sisma, oltre che di dotare la locale struttura comunale di strumenti normativi e metodologie operative che possano dare inizio ad un processo virtuoso di rigenerazione e riqualificazione dei nuclei storici abitati a partire dalla constatazione dei danni provocati dal sisma del 6 aprile 2009. La scossa principale, verificatasi alle ore 3:32, ha avuto una magnitudo momento (Mw) pari a 6,3(5,9 sulla scala della magnitudo locale)<sup>4</sup>, con epicentro alle coordinate geografiche 42°20'51.36"N 13°22'48.4"E, ovvero nella zona compresa tra le località di Roio Colle, Genzano e Collefracido, (AQ), interessando in misura variabile buona parte dell'Italia Centrale, con un bilancio definitivo di 308 vittime oltre a 1500 feriti.

Il programma di lavoro ha inoltre avuto come obiettivo quello di favorire, tramite appropriati strumenti di programmazione urbanistica, il faticoso processo di ripresa economica e di evoluzione socioculturale che, a partire dalla ricostruzione e dal recupero dell'edilizia storica, possa generare nuove economie sostenibili e di sviluppo compatibile con l'ambiente e il tessuto sociale.

A seguito degli eventi tellurici che hanno colpito l'Abruzzo nella primavera del 2009 e del sisma che ha interessato la città di L'Aquila, ed altri 57 comuni del cratere, la notte del 6 aprile 2009 sopra citato, il territorio interessato è stato diviso in 9 aree omogenee con decreto del Commissario Delegato per la Ricostruzione del 9 marzo 2010 n. 3. Acciano rientra nell'VIII area omogenea insieme ai comuni di Ocre, Barisciano, Fagnano Alto, Fontecchio, Fossa, Poggio Picenze, San Demetrio ne' Vestini, Sant'Eusebio Forconese, Tione degli Abruzzi, Villa Sant'Angelo.

Le problematiche interne al Comune di Acciano sono principalmente quelle legate alla dislocazione in contesti diversi dei cinque centri storici che caratterizzano il paese,



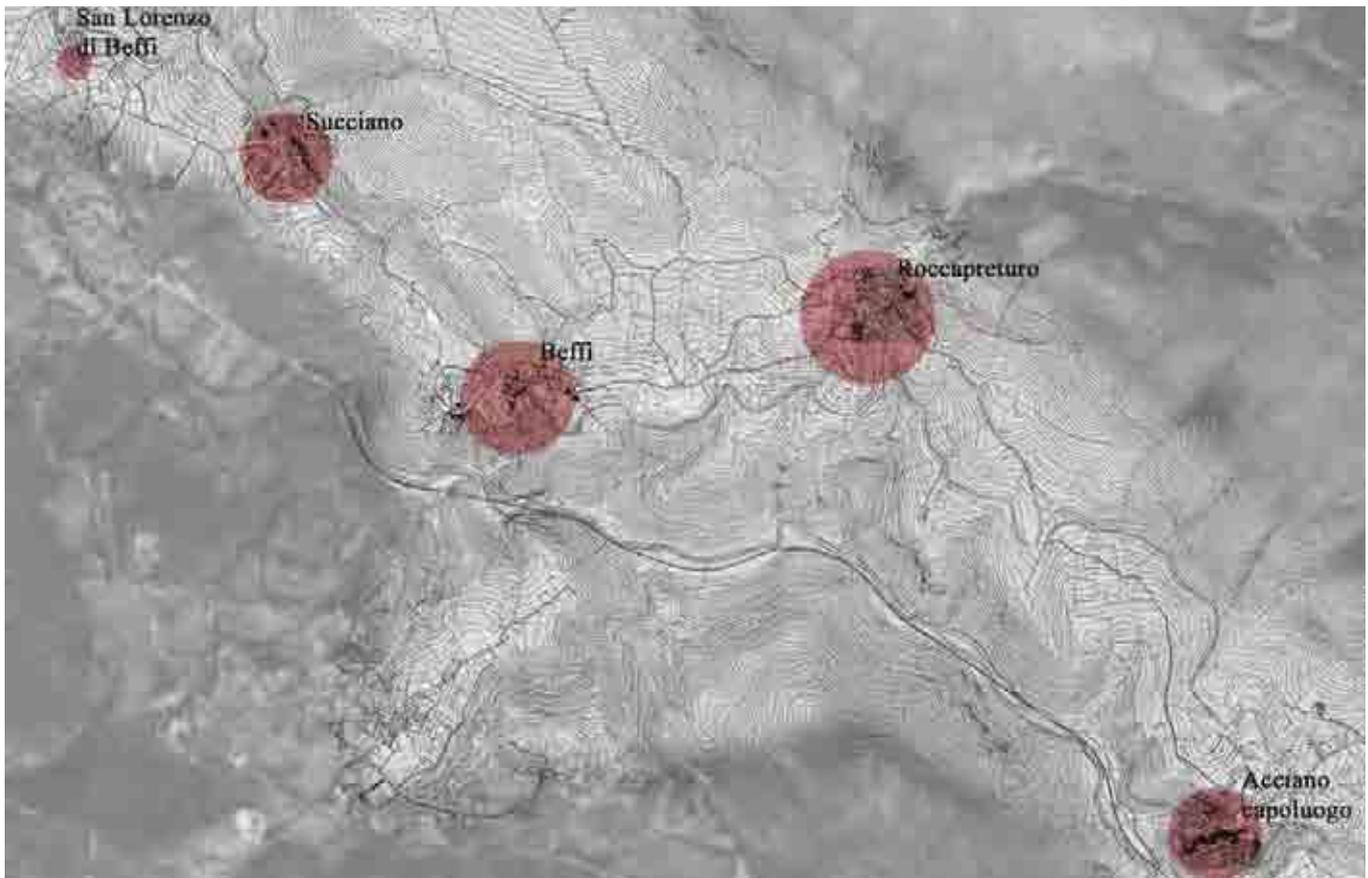
Legenda

Teramo Pescara L'Aquila



A sinistra: individuazione dei cinquantasette Comuni all'interno del cratere sismico abruzzese divisi fra le Province di L'Aquila, Teramo e Pescara.

A destra: l'area colpita dal sisma del 6 Aprile 2009.



Inquadramento territoriale dei cinque centri storici rilevati all'interno del Comune di Acciano.

infatti se nella maggior parte dei casi si trova all'interno dei territori comunali un solo centro storico posizionato, per lo più al centro dell'abitato, il Comune di Acciano si caratterizza per la presenza di cinque centri storici distinti e con diverse caratteristiche urbanistiche e storiche.

Il centro storico di Acciano Capoluogo è costituito da un borgo murato con sistema difensivo caratterizzato dal castello, non più esistente, dal torrione, oggi scapicollato, e dalla cinta muraria realizzata con case mura. Il centro è di chiara impostazione medievale e al suo interno sono presenti tutti gli elementi tipici delle città con spiccate predisposizioni difensive.

Roccapreturo è posizionata su un altopiano distante dalle vie principali di comunicazione, nel suo nome è probabilmente riscontrabile la fondazione romana; non presenta cinta muraria e il sistema di difesa con torre di avvistamento è posizionato nella parte alta al di fuori dell'abitato.

Beffi si estende su un percorso di collegamento antico e presenta uno sviluppo differenziato: nella parte più a valle si trova l'antico castello con il piccolo borgo annesso, il resto dell'abitato si trova nella parte pedemontana a ridosso della viabilità e realizzato intorno a due chiese. A coronare, sulla collina, si sviluppano due zone residenziali con un gruppo di case-masserie di matrice agricola con rare emergenze architettoniche.

Succiano come Beffi si sviluppa lungo il percorso di collegamento principale. La parte antica dell'abitato si trova a mezza costa sulla collina mentre la parte nuova si stende nell'altopiano sottostante; l'edificato di chiara impostazione agricola ha come unico sistema difensivo una torre posizionata nella parte alta lontana dall'abitato.

San Lorenzo di Beffi, l'abitato costruito ai margini dei terreni agricoli dove già si trovava la chiesa di San Lorenzo, è di probabile risistemazione tardo rinascimentale; l'urbano compatto caratterizzato da edifici signorili che chiudono l'abitato denota una certa ricercatezza.

Le aree interessate dal Piano di Ricostruzione (ambiti) sono interne ai centri storici, per una precisa scelta dell'Amministrazione Comunale mirata a velocizzare il rientro di almeno una parte della popolazione nel centro<sup>5</sup>.

La necessità di redigere questo strumento urbanistico nasce anche dall'esigenza di riqualificare i centri storici interessati, che, nonostante abbiano subito dal sisma

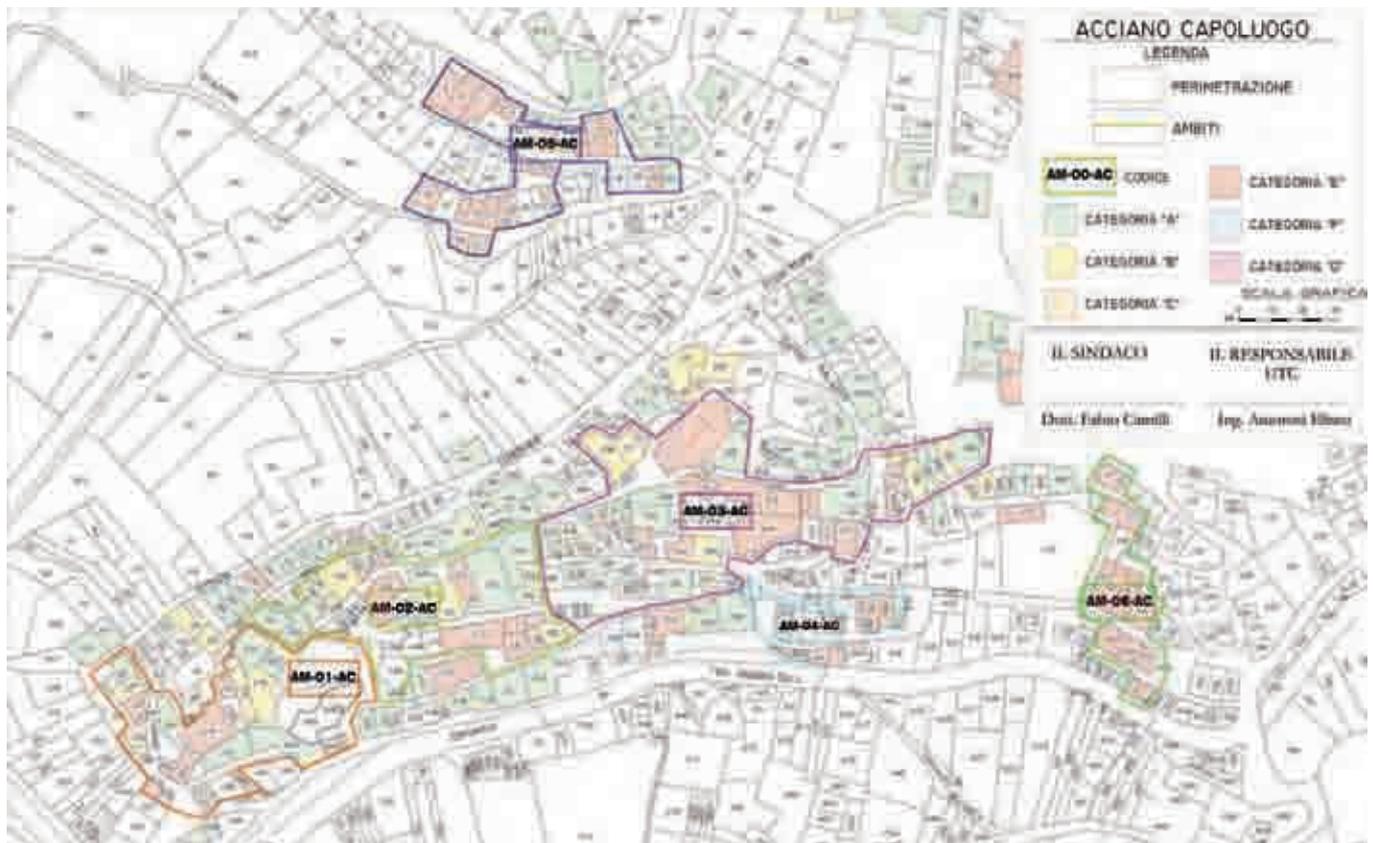


*Aree in stato di danneggiamento e di abbandono presenti nei centri storici prima del sisma e che con questo hanno aggravato le loro condizioni.*

numerosi danni diffusi su gran parte del patrimonio edilizio, anche se non in modo particolarmente distruttivo come nel caso di altri comuni del cratere, si trovavano già da decenni in uno stato di abbandono. Il sisma ha amplificato le condizioni fatiscenti in cui versavano gran parte degli edifici e ha posto le condizioni per un necessario intervento di monitoraggio sul reale stato di fatto dei centri interessati.

Uno dei fini del Piano, oltre alla individuazione dei danni prodotti dal sisma per una stima economica e la programmazione degli interventi da effettuare, è quello di agevolare il rientro della popolazione nelle proprie residenze, e visto il basso tasso di residenti interni ai centri storici la volontà è quella di innescare un meccanismo di ritorno degli abitanti all'interno delle case abbandonate adattandole dove possibile alle esigenze

della vita moderna. Il Piano di Ricostruzione deve quindi prevedere una riqualificazione anche delle aree in stato di danneggiamento e di abbandono presenti nei centri storici prima del sisma e aggravate da quest'ultimo. Un rilievo digitale integrato ed una documentazione puntuale rappresentano quindi lo specifico contributo della ricerca e costituiscono la base di dati necessaria a sviluppare conoscenze specifiche dei contesti urbani per una analisi che permetta la stesura del Piano di Ricostruzione e della nuova cartografia di riferimento. Tale cartografia risulta infine essere un prezioso strumento digitale che permette di verificare e aggiornare la reale presenza sul territorio di tutti i fabbricati, fissando allo stato attuale un contesto urbanizzato che era fino ad oggi controllato solo su cartografie catastali non aggiornate.



Perimetrazione degli ambiti di intervento del Piano di Ricostruzione - Sisma 2009 - all'interno del Centro storico di Acciano Capoluogo.

## 4.1 PROGETTO DI RILIEVO URBANO E QUADRO METODOLOGICO

Vi è grande differenza tra rilievo architettonico e rilievo urbano, anche se comune è il termine che li designa e simili possono apparire le operazioni di rilevamento. Un rilievo urbano è più riduttivo di quello architettonico e nello stesso tempo più complesso ed astratto. Con esso si riducono le qualità espressive dell'architettura per far emergere i dati strutturali dell'insieme urbano che possiede livelli di articolazione ben più stratificati di quelli d'un singolo edificio. Il rilievo urbano è notazione della forma urbis e non mosaico dei rilievi delle singole architetture. È quindi meno rappresentativo e più presentativo, nel senso che è meno icona e più simbolo. La forma urbis non è l'immagine della città ma la sua forma-struttura, cioè una notazione grafica che, pur mantenendo un alto quoziente della forma architettonica, rimane legato allo stato della notazione diagrammatica e simbolica. Teoricamente, però, il rilievo urbano dovrebbe raggiungere la qualità del rilievo architettonico, sia nello spessore delle operazioni di rilevamento, sia nel livello della resa grafica. Il rilievo delle strutture edilizie, anche se schematico e diagrammatico, è necessario per la conoscenza analitica degli elementi che strutturano la forma della città ma ancor più necessario è nel campo degli strumenti urbanistici (Piano Particolareggiato, Piano di Recupero, Piano di Ricostruzione, progetto urbano) nei quali si pone come strumento grafico di base per l'indicazione degli interventi ammissibili. La progettazione urbana non può essere prevista sulla tessitura delle unità edilizie catastali ma deve riguardare la reale configurazione delle strutture edilizie. Il rilevamento esteso a tutti i piani del costruito o soltanto ad alcuni di essi, i più significativi per la comprensione dello specifico tessuto urbano, può fornire l'adeguata trama degli elementi strutturanti. In questo modo tra elemento rilevato e suo trattamento nel progetto o nel piano deve esservi una piena corrispondenza, limitando l'indeterminatezza delle scelte fatte sulla base della tessitura delle mappe catastali o sulla base dell'indistinto costruito delle carte aerofotogrammetriche. In tal modo il rilievo analitico si pone come carta base vincolante nella

trascrizione della realtà edilizia, come simulacro urbano di guida all'urbanista nella progettazione e quindi come strumento di controllo per le istituzioni coinvolte nelle operazioni di trasformazione o di recupero urbano<sup>5</sup>.

Le informazioni contenute in un centro storico restituiscono notizie su di un insieme variegato e complesso di stratificazioni, dovute alla attività antropica che si è sviluppata nel corso del tempo, delle quali, spesso, si sono perse le ragioni costitutive; l'evento sismico del 2009 non costituisce che l'ultimo atto di violenta modificazione di un prezioso e fragilissimo tessuto edilizio quale quello dei piccoli centri storici abruzzesi.

L'obiettivo primario del lavoro di ricerca che sta alla base del Piano di Ricostruzione è stato la costruzione di un accurato quadro conoscitivo per la lettura e la decodifica degli elementi necessari alla strutturazione del Piano, in grado di restituire una realtà ancora viva, scritta sulle mura, raccontata dalle pietre stesse che costituiscono le case, i palazzi e le chiese del capoluogo di Acciano e dalle frazioni di Beffi, Roccapreturo, Succiano e San Lorenzo di Beffi.

Studiare, catalogare, conservare accuratamente queste tracce del passato significa rendere accessibili informazioni relative a momenti storici diversi, mettere a disposizione del visitatore, ma anche ripresentare agli abitanti ed ai frequentatori abituali delle vie della città, un quadro consolidato del valore storico non solo del monumento ma di tutto il tessuto urbano e sociale dell'intero centro storico. Nella fase di analisi è stato rilevato, con stazione laser scanner e con l'ausilio di una stazione topografica, l'esterno di tutti gli edifici presenti negli ambiti di intervento del Piano di Ricostruzione, contestualmente sono state individuate e schedate le unità edilizie che li compongono, creando per ogni edificio o porzione di esso una carta di identità che permetta di archiviarne non solo i dati geometrici ma anche le informazioni sullo stato di conservazione, sulla destinazione d'uso, e tutte le loro qualità peculiari rilevabili dai sopralluoghi. All'analisi delle tecniche costruttive con cui gli abitati sono stati

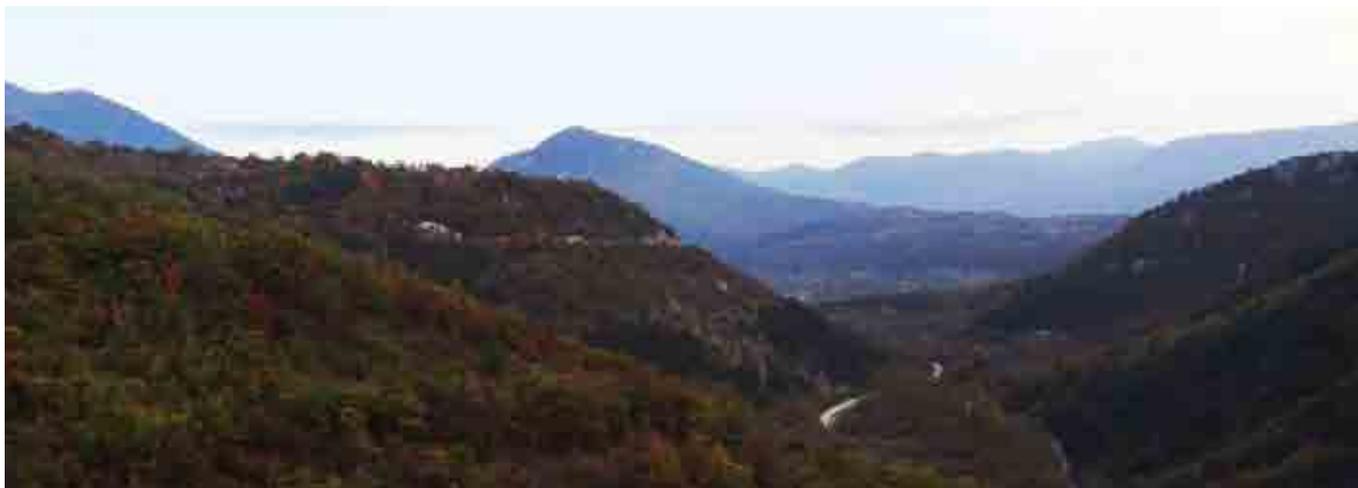
realizzati, sono seguiti gli studi sulle criticità intrinseche a ogni centro urbano accostate a una breve storia sismica al fine di individuare all'interno degli ambiti le zone più soggette ai sismi, sono stati inoltre definiti e individuati dei valori comuni capaci di rendere leggibili le significatività e le caratteristiche che contraddistinguono i singoli centri storici al fine di creare una carta dei valori. È stato inoltre analizzato lo stato in cui versano i sottoservizi per valutare la necessità di interventi sugli impianti, indispensabili alla ripresa delle attività all'interno delle aree perimetrate. Il progetto di rilievo urbano riguardante il Comune di Acciano, finalizzato alla conoscenza e alla documentazione dello stato di fatto relativamente ai danni prodotti dal sisma del 6 aprile del 2009, è stato appositamente predisposto con metodologie integrate per analizzare, secondo le richieste determinate dalla Struttura Tecnica di Missione, i dati necessari a supportare le specifiche priorità e le prospettive di lavoro assunte dalla Facoltà di Architettura di Firenze. Il rilievo integrato è stato quindi pianificato secondo le specifiche esigenze, organizzato in fasi e livelli di approfondimento differenziato, stabiliti in funzione delle urgenze delle prime azioni di intervento delle "fasi emergenziali" e dei successivi stadi decretati dalle politiche di ricostruzione.

Premesso che, a proposito del rilievo dei siti danneggiati, si sta rendendo evidente la necessità di impiegare le più avanzate tecniche di rilievo, quali l'impiego di laser scanner a terra e/o sistemi di rilevamento fotogrammetrici aerei a bassa quota, che possono produrre cartografie altamente

affidabili, completate da rappresentazioni digitali, realtà virtuale e applicazioni sistemi GIS. L'approfondita funzionalità della costruzione di un sistema integrato delle conoscenze, delle strutture urbane e degli aggregati sia sotto il profilo della valutazione del valore architettonico ed ambientale, oltre che della conoscenza degli effetti del sisma, risulta essenziale ai fini della pianificazione e della progettazione della ricostruzione. L'utilizzo delle tecnologie sopra citate costituisce inoltre una efficace base dati per il monitoraggio futuro dei complessi edilizi e dei centri storici documentati.

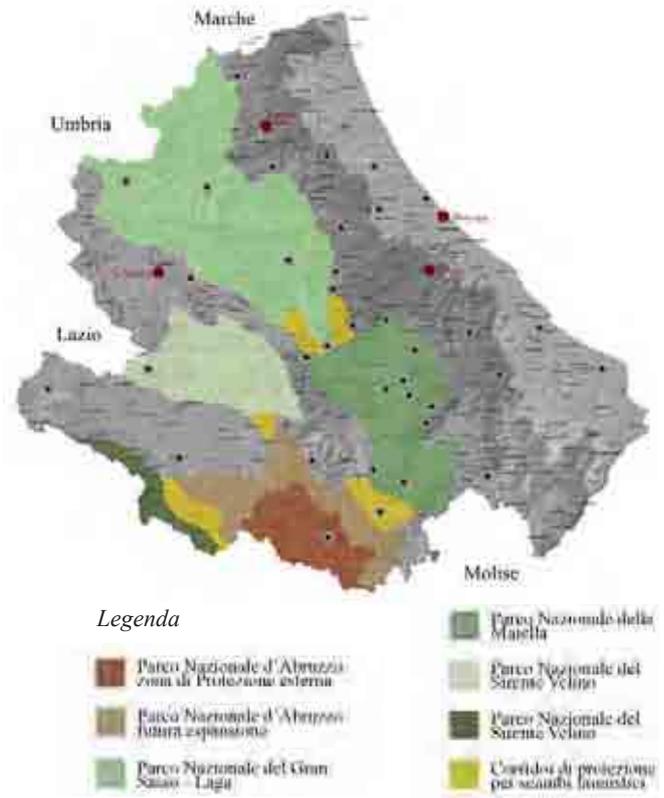
I rilievi, forniti in formato digitale, sono arricchiti da una banca dati (costituita da planimetrie, disegni, schizzi, fotografie oltre che dai dati tecnici metrici di rilievo) per la restituzione delle volumetrie edilizie esterne, dei prospetti sui fronti strada. Sono rimandati invece alle schede di rilevamento delle singole unità edilizie e degli aggregati le considerazioni strutturali, la descrizione delle strutture verticali, degli orizzontamenti e delle aperture, oltre alla documentazione dei principali elementi architettonici. Vengono inoltre documentate, dalle riprese laser scanner, le principali sezioni longitudinali e trasversali del centro storico in maniera da fornire un modello tridimensionale, con resa dei vuoti pregressi e crolli.

Il data base *WebGIS* viene georeferenziato grazie ad una specifica campagna in sito tramite DGPS (*Differential Global Positioning System*), in modo da poter fornire mappe, planimetrie, ed altri elaborati grafici di grande accuratezza.



### 4.1.1 Inquadramento geografico territoriale

Il territorio comunale di Acciano è collocato nella valle Subequana, all'interno del Parco Regionale Sirente Velino. Tre dei cinque centri storici si sviluppano ai margini della strada statale, mentre due Roccapreturo e San Lorenzo di Beffi si trovano a qualche chilometro di distanza da essa. L'unità morfologica di appartenenza, la conca Subequana, è una delle macro componenti della struttura dello stesso Parco Regionale, insieme alla Valle dell'Aterno, al risalto dell'Anti-Sirente orientale, agli altipiani, alle strutture sommitali del Velino, del Magnola e del Sirente, alle grandi valli montane ed allo zoccolo fucense meridionale. Il sistema ambientale in cui è collocato Acciano è dominato dalla presenza del gruppo Sirente-Velino, sistema montuoso secondario della dorsale appenninica abruzzese, che dai Monti Sibillini prosegue con i Monti della Laga, il Gran Sasso d'Italia e la Majella. Il gruppo montuoso riveste una particolare importanza in quanto costituisce un sistema di raccordo tra i monti del Reatino, i Simbruini settentrionali, l'area del Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise (a sud-est) e il Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga a nord. Da quanto riportato si evince che Acciano appartiene a più sistemi territoriali locali, questi ultimi intesi come aggregazioni di comuni su basi sia istituzionali sia culturali che sociali. Tali aggregazioni rappresentano un aspetto rilevante ai fini della programmazione dello sviluppo post-sisma e della definizione di strategie di rilancio economico alle quali il Piano di Ricostruzione si



Nella figura in alto è individuato il sistema dei Parchi Nazionali presenti in Abruzzo.

Nella figura a sinistra un estratto della Carta Topografica Militare del 1853 che inquadra la Valle Subequana.

In basso un inquadramento del Parco Sirente Velino.



propone di contribuire. Un primo sistema territoriale su base storico-culturale, oltre che morfologico ambientale, è la Valle Subequana, un territorio prevalentemente collinare i cui confini sono segnati dai centri storici di crinale e sommitali. Nei Comuni della Valle Subequana è par altro in atto un dibattito relativamente all'opportunità di costituire un Comune Unico Subequano (Castelvecchio Subequo, Galliano Aterno, Secinaro e Molina, Goriano Sicoli ed Acciano), ciò nella piena consapevolezza della maggiore efficacia di un'azione condivisa ed unitaria nell'affrontare problemi comuni che si presentano ai centri della valle. Un secondo sistema territoriale di appartenenza è rappresentato dalla Comunità Montana Sirentina che riunisce i comuni di Acciano, Castel di Ieri, Castelvecchio Subequo, Fagnano Alto, Fontecchio, Gagliano Aterno, Goriano Sicoli, Molina Aterno, Ovindoli, Rocca di Cambio, Rocca di Mezzo, Secinaro e Tione degli Abruzzi. Il terzo sistema di appartenenza è rappresentato dal Parco Regionale Sirente Velino le cui risorse fisico-naturalistiche sono il fattore che riunisce realtà sociali ed economiche che presentano marcate differenze, laddove alcuni centri come Rocca di Mezzo mostrano maggiore dinamismo e capacità di generare, dall'appartenenza al Parco, incrementi di risorse economiche. Da considerare

anche il fenomeno dell'abbandono, che ha colpito, per note dinamiche di marginalizzazione socio-economica, molti dei centri dell'Abruzzo montano e che ha interessato Acciano, fin dalla fase post-unitaria. Molti abitanti, infatti, hanno lasciato Acciano e sono migrati verso paesi europei ed extraeuropei. A riguardo la proposta è quella di un rilancio economico dei centri storici di Acciano, considerandoli non come centri autosufficienti, ma come un nodo significativo all'interno di una complessa rete di relazioni esistenti e da instaurare, con altre entità geografiche, territoriali e sociali. Il Comune di Acciano si trova al centro di un sistema territoriale, paesaggistico e culturale di grande suggestione e valore, ed è idoneo ad ospitare strutture e residenze legate al turismo culturale/ambientale non di massa. I sistemi di difesa, le città fortificate descritti in seguito e il grande patrimonio ecclesiastico permetterebbero la creazione di itinerari alternativi a quelli più noti e maggiormente inflazionati.

Il territorio regionale abruzzese è caratterizzato da diversi livelli ambientali che, dall'importante spina montuosa dell'Appennino Centrale fino alla costa adriatica, individuano fasce territoriali e sistemi ambientali dove il fenomeno dell'incastellamento ha organizzato nella storia una densa rete di centri e nuclei fortificati<sup>6</sup>.



*Il Castello di Bominaco del XIII secolo con torre di avvistamento del XV secolo, collocato sulla cresta della montagna al di sopra del borgo di Caporciano (AQ).*

#### 4.1.2 Cenni storici per la comprensione dell'assetto urbano

Castelli e torri sono parte integrante di un complesso sistema difensivo a livello territoriale e costituiscono gli elementi attraverso i quali è possibile oggi leggere il disegno di un paesaggio storico del quale si è persa memoria della sua integrità e del quale restano evidenti tracce nei resti di mura, di ruderi e dei nuclei più strutturati che nel tempo sono divenuti centri storici.

Analizzando i diversi centri urbani è possibile ritrovare svariate tipologie di strutture difensive, ciascuna appartenente ad un nucleo, ma strategicamente inserita nel sistema di relazioni e connessioni, che connetteva, tra le diverse valli, questi centri contribuendo allo sviluppo di un processo di strutturazione del territorio. Si contano oltre un centinaio di architetture riconducibili a questo sistema tra veri e propri castelli, torri di avvistamento, fortezze, castelli-recinto, rocche e palazzi fortificati.

La scelta dei punti strategici sui quali insediare le roccaforti era legata alla necessità di sorvegliare l'intero territorio solcato dai millenari "tratturi", percorsi utilizzati dagli armenti transumanti per i periodici spostamenti dai pascoli dall'Appennino al Tavoliere delle Puglie e viceversa, garantendo la possibilità di un rapido sistema di comunicazione sul territorio, qualora si presentasse

un aggressore intenzionato a minacciare l'integrità del sistema.

Ancora oggi, ripercorrendo i crocevia dei principali "percorsi erbosi" della conca aquilana è possibile apprezzare con uno sguardo ad ampio raggio i numerosi castelli e recinti di difesa che sovrastano i borghi medievali. In particolar modo è possibile individuare due tipologie ricorrenti: l'uso delle casemura per quanto riguarda i borghi arroccati, mentre nelle aree collinari si individuano veri e propri castelli residenziali e rocche di altura.

Il territorio abruzzese, a partire dal XIV-XV secolo, è attraversato da importanti vie di pellegrinaggio che, sull'onda delle crociate, collegavano i principali luoghi legati alla cristianità. In particolare, tra le vie francigene, la rotta adriatica che attraversava la regione da nord a sud e quella tirrenica costituita invece dall'asse perpendicolare di collegamento con Roma. Da queste direttrici dipende la maglia della rete di fortificazioni del territorio, appartenente ad un sistema che non può essere riconducibile ad un unico periodo e che pertanto necessita una lettura stratigrafica su scala territoriale tesa a considerare gli sviluppi dei modelli compositivi e funzionali, delle tecnologie militari, che manifestano la presenza in questo territorio di modelli culturali appartenenti a civiltà e periodi storici diversi e ben delineabili<sup>7</sup>.

Uno studio sistematico che partendo dal rilievo sia in



grado di produrre elaborati grafici e modelli interrogabili sui quali possano essere fatte delle letture critiche e delle analisi approfondite sui segni di tali episodi, può essere sintetizzato in carte tematiche utili per la comprensione delle relazioni culturali, sociali e politiche intrecciate nel corso della storia.

Acciano e il suo territorio si pone in diretto contatto con questa struttura culturale e conserva al suo interno le diverse tipologie di sistemi difensivi che caratterizzano l'intero territorio. Acciano capoluogo è un piccolo paese, probabilmente di origine longobarda, che si è sviluppato su di un crinale calcareo morfologicamente complesso, in modo fortemente condizionato dall'orografia del territorio, su ripidi pendii a sinistra del fiume Aterno. Il centro storico di Acciano, che conserva ancora case fortificate di origine medioevale racchiuso entro le mura perimetrali tuttora esistenti, denota la sua condizione originaria di borgo fortificato dotato di tre porte: Porta Torrinese sul lato nord-ovest in prossimità del torrione di difesa di forma circolare con evidenti interventi di metà Cinquecento, ad est Porta Martino, al di fuori della quale si trovava lo Spedale e Porta dell'Aia alle pendici del castello in direzione sud. La cronologia dell'intero borgo parte dal XIV secolo, data della sistemazione delle mura, stratificandosi nel tempo con numerosi interventi di ricostruzione e riadattamento di molti edifici.



*Nella pagina precedente la fotografia aerea di Acciano Capoluogo.*

*Alcune viste dei vicoli che percorrono il centro storico di Acciano Capoluogo.*



L'assetto urbano dell'abitato di Acciano è organizzato secondo un tessuto urbano ramificato e continuo caratterizzato da vie strette e da numerosi sottopassi. Il crinale roccioso su cui si sviluppa il paese risulta essere un punto privilegiato per la difesa del borgo aprendosi alla vista sia a destra che a sinistra di profonde vallate. Il sistema difensivo oltre che dalla posizione strategica era costituito da mura, torri e casemura, mentre nella parte tergoale uno "pseudo fossato" difendeva il castello (detto successivamente anche palazzo, probabilmente dalla presenza prima del palazzo feudale e poi del palazzo comunale) e la porta dell'Aia da possibili invasori. Tutto

l'abitato è costruito per facilitarne la difesa, infatti, strade, sovrappassi e vie senza uscita, insieme a decine di fuciliere nascoste un po' ovunque, permettevano agli accianesi di difendersi. Interessante notare come la strada principale su cui si sviluppa il centro storico non abbia vie d'uscita dirette; infatti al termine della strada si aprono tre varchi: il primo sulla sinistra, chiuso da una porta a formare un compartimento stagno, conduce ad uno spazio cintato all'interno del quale si notano diverse fuciliere, il sottopasso in testata, anch'esso chiuso da una porta, si apre su uno spazio a strapiombo sulla vallata, solo il terzo percorso, quello destro, permette di arrivare al torrione,

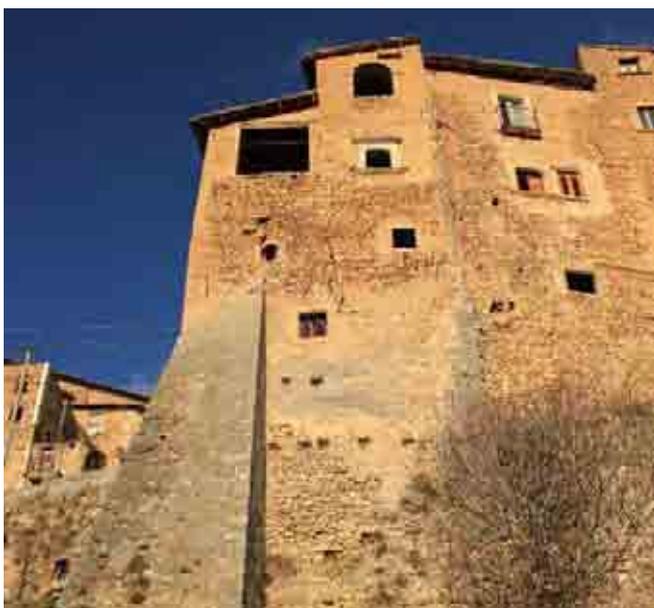


*In alto: due viste panoramiche di Acciano Capoluogo che ne denotano il carattere compatto dell'assetto urbano sviluppatosi sulla sommità del crinale roccioso.*

*Nella pagina successiva: in alto, alcuni esempi di sovrappassi, in basso esempi di casemura e case torri che costituivano parte del sistema difensivo di Acciano Capoluogo.*

probabile secondo punto, dopo il castello, per importanza difensiva della cittadina. Il collegamento tra il castello e il torrione avviene tramite una strada parallela alla principale e ben mimetizzata permettendo di passare da un punto all'altro senza essere visti da chi percorre il percorso apparentemente principale. Il sistema a compartimenti è presente e ben conservato in tutto l'abitato ed è caratteristico dei centri di impianto medievale.

Sulla via di collegamento che interessa il percorso tra L'Aquila, Acciano e Sulmona a difesa della strada di fondovalle che costeggia il fiume Aterno, si sono sviluppate una serie di emergenze architettoniche difensive

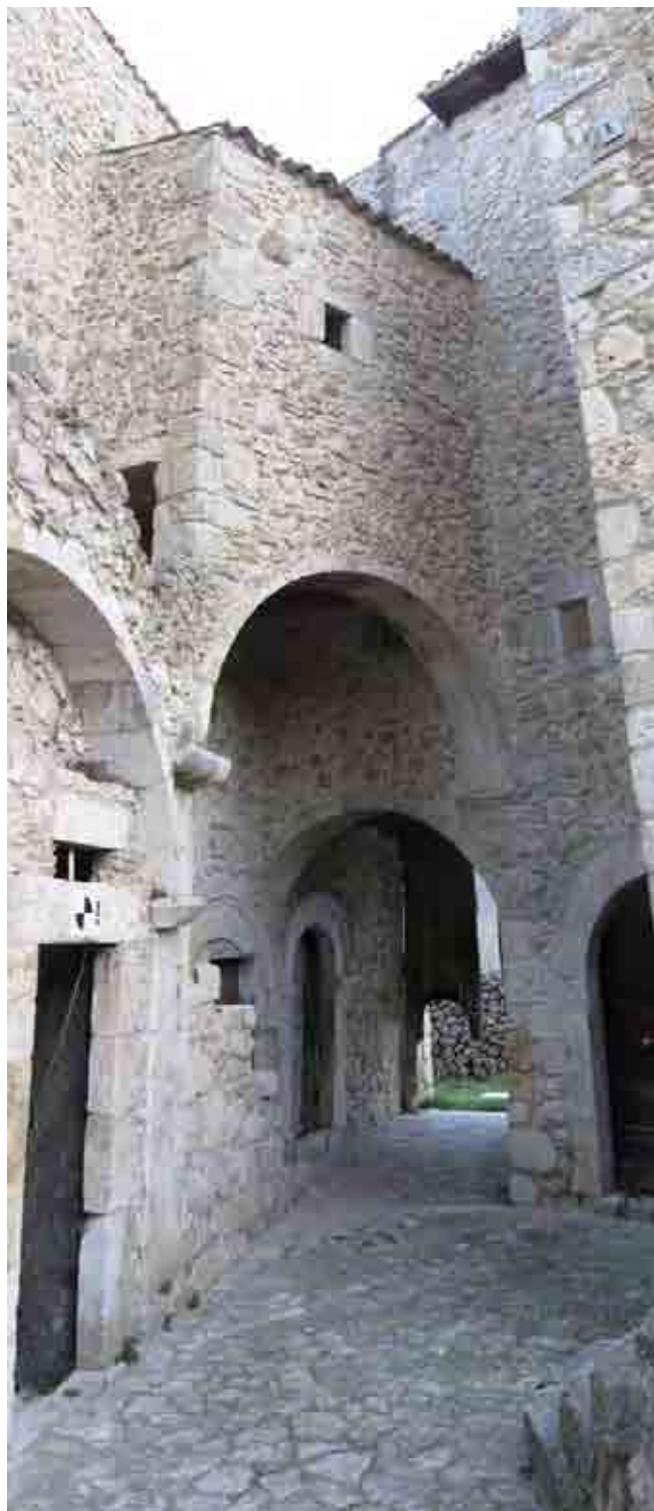


che hanno dato il via allo sviluppo di centri storici minori; Beffi, uno dei più rilevanti, si sviluppa in una prima fase intorno all'antico castello per poi ramificarsi nella pianura retrostante fino a ricollegarsi al percorso viario principale. Il castello con le tre chiese rappresentano la memoria storica di un passato in cui la cultura agricola e le rotte commerciali mettevano Beffi al centro degli interessi economici locali. Sempre sulla medesima via di collegamento si trova l'abitato di Succiano, che diversamente da Beffi, si contraddistingue per le case di chiaro richiamo agricolo. La torre soprastante l'abitato è stata collocata verosimilmente dopo che il centro abitato si era sviluppato e a difesa di esso, l'impianto urbano e le tipologie abitative risentono delle funzioni agricole poste al centro dell'economia locale, mantenendo comunque quegli elementi caratteristici dell'architettura storica che nel suo complesso è da conservare.

Roccapreturo si distingue dagli altri centri storici per non essere posizionato ai margini del percorso viario principale. Le notizie documentarie che la riguardano partono dal 1185 ma sia il nome che la collocazione orografica rimandano al mondo romano.

La presenza su tutto il territorio accianese di reperti archeologici conferma il fatto che tutto il territorio sin dall'epoca classica si trovasse al centro dei percorsi commerciali abruzzesi. Il paese, difeso dalla torre cintata

*Dettaglio e vista interna al Castello di Beffi.*

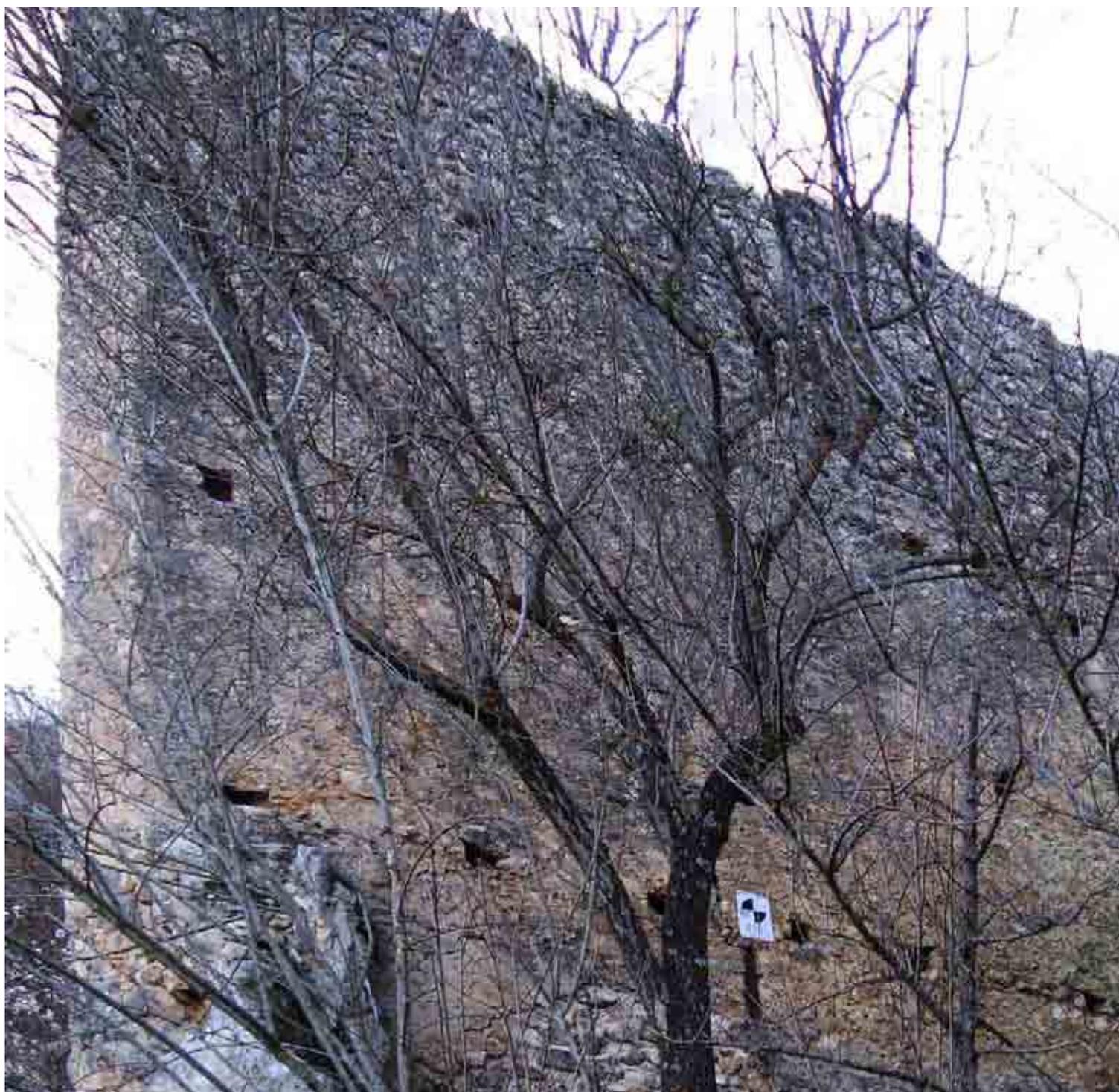


retrostante e arroccata su di uno sperone roccioso, si sviluppa sfruttando un altopiano aperto sulla vallata; l'assenza di mura e il più lineare assetto urbano fa presupporre che in epoca medievale il centro non sia mai stato interessato dalle dinamiche di protezione della vallata.

L'abitato di San Lorenzo di Beffi si sviluppa lateralmente all'omonima chiesa, si può presumere che l'edificio religioso con l'annesso monastero/convento sia stato realizzato precedentemente all'abitato attiguo probabilmente per il controllo da parte della chiesa del latifondo circostante. Quando i poderi limitrofi vengono acquistati dalla borghesia locale si sviluppa il nuovo centro di impianto quadrangolare che nell'alternarsi di "palazzetti" e case "minori" scandisce le gerarchie della vita contadina.

*La porta del borgo fortificato e la torre del castello di Beffi.*





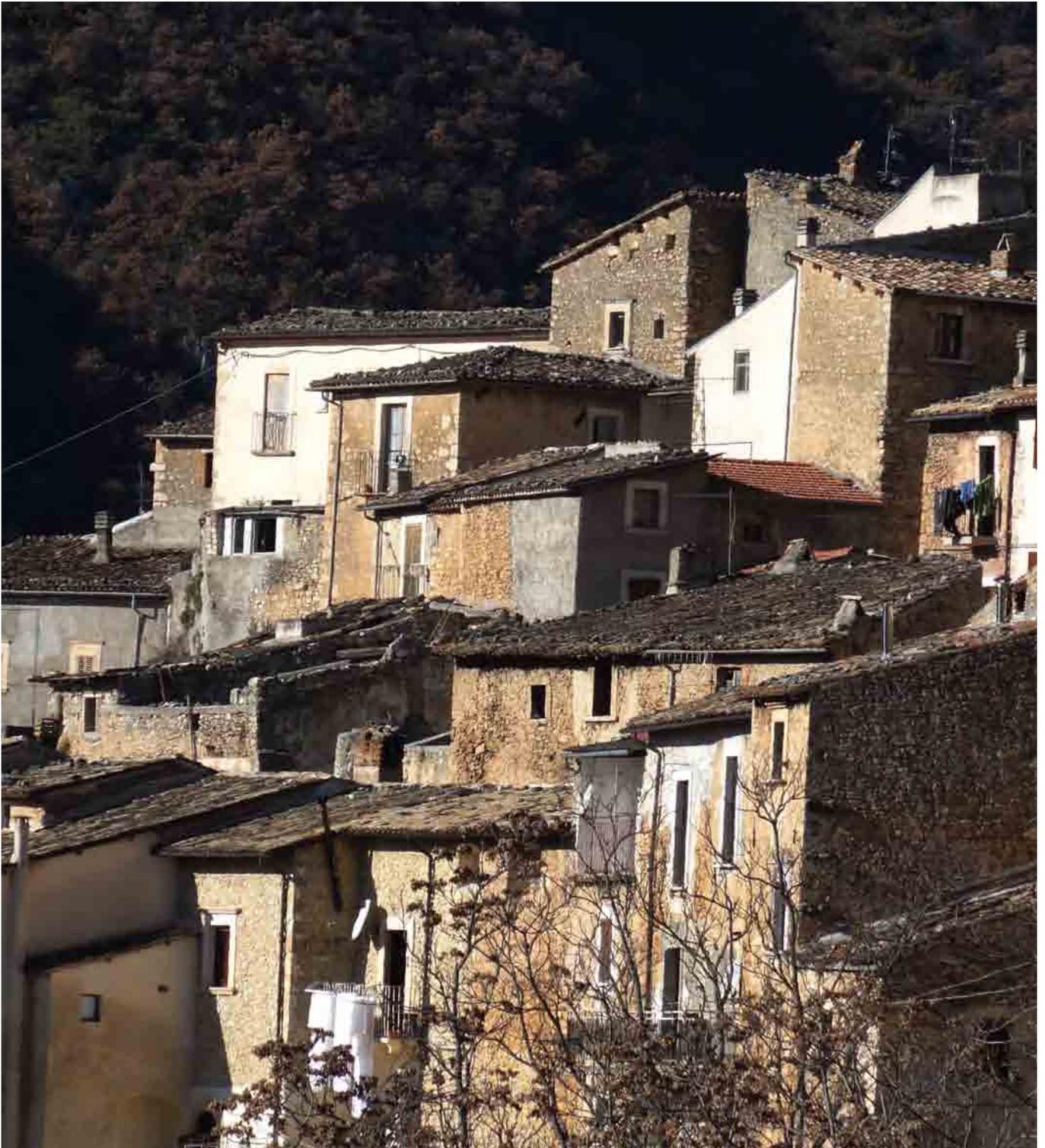
*Una fotografia panoramica di un tratto di mura del Castello di Beffi.*





*Alcune viste dei centri storici oggetto di studio del Comune di Acciano, a sinistra Roccapreturo, in basso Succiano ed il complesso ecclesiastico di San Lorenzo di Beffi, nella pagina successiva una vista di Acciano Capoluogo.*





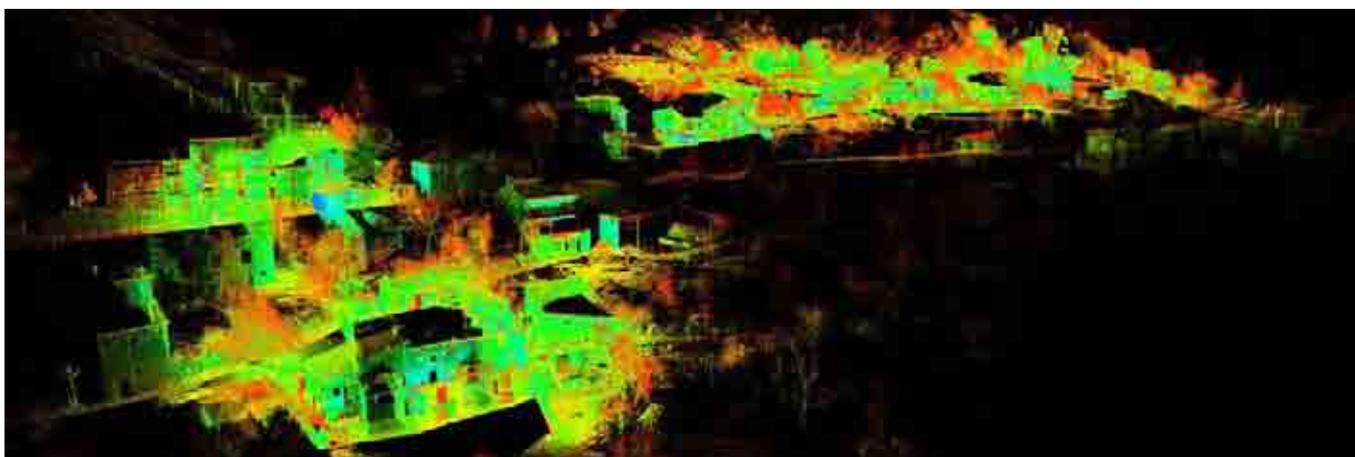
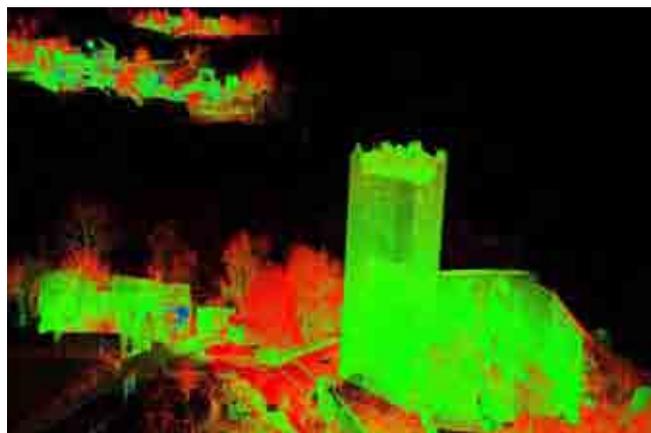
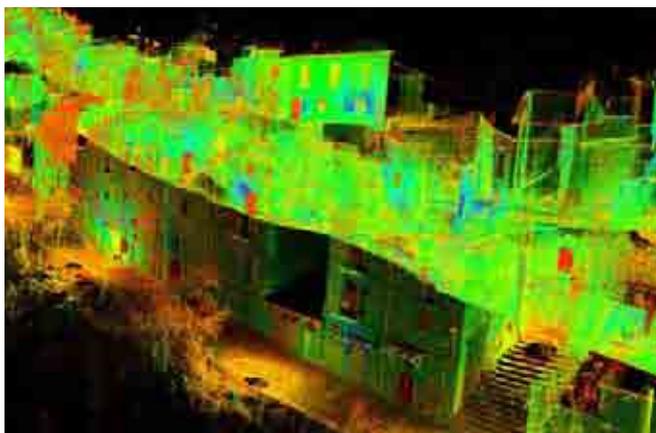
## 4.2 RILIEVO DIGITALE INTEGRATO DEI CENTRI STORICI DEL COMUNE DI ACCIANO

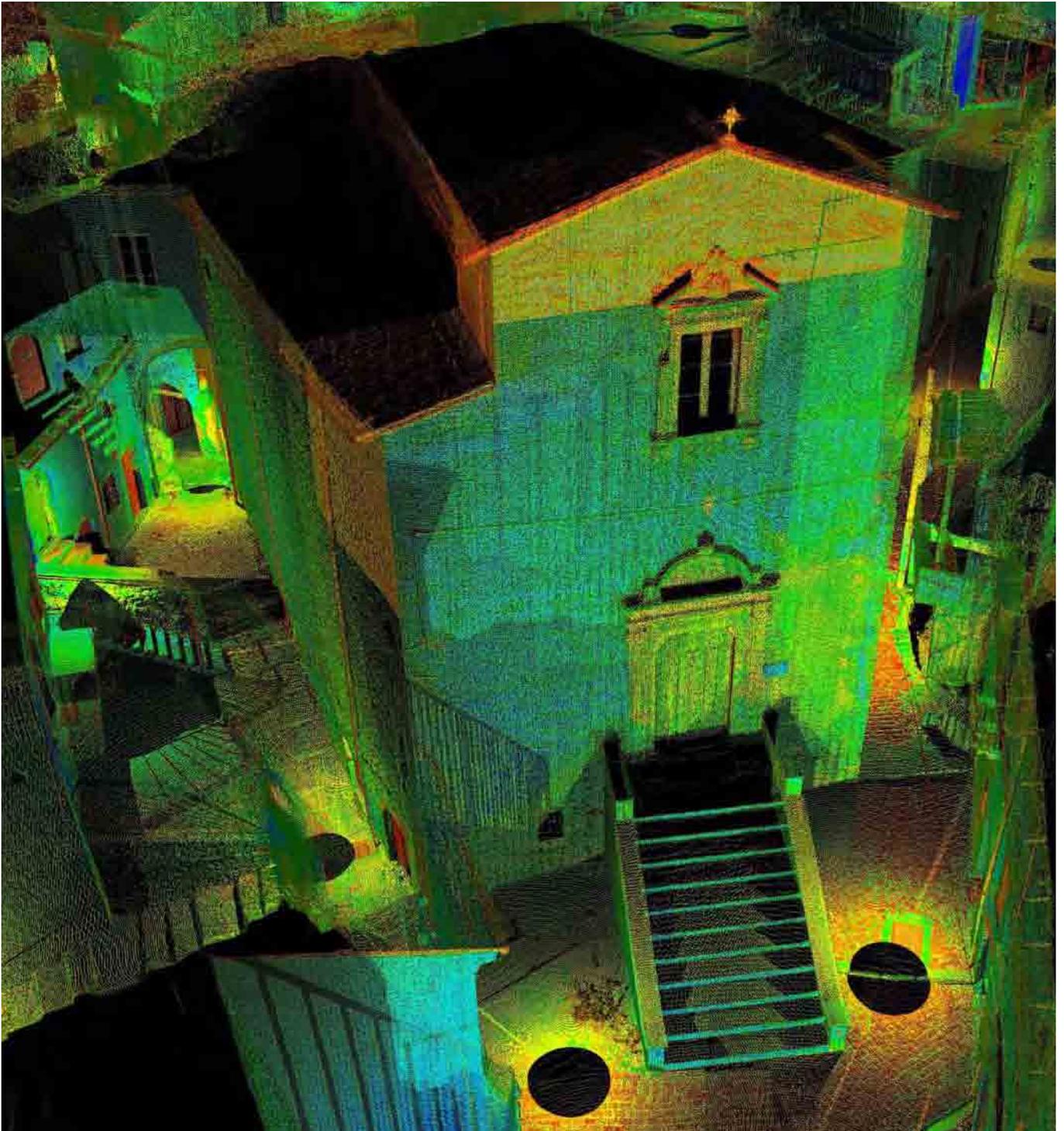
Il progetto di rilievo urbano integrato dei centri storici del Comune di Acciano è stato realizzato per costruire una nuova base cartografica alla scala architettonica dei suddetti insediamenti urbani all'interno del territorio comunale, restituita in scala 1:500, con sezioni ambientali in scala 1:200, è stato pianificato in funzione degli obiettivi e delle finalità preposte, organizzato in fasi e livelli di approfondimento differenziato.

Le operazioni di rilevamento, attraverso la realizzazione di riprese laser scanner dei singoli centri del Comune, hanno previsto il supporto di una base topografica di riferimento.

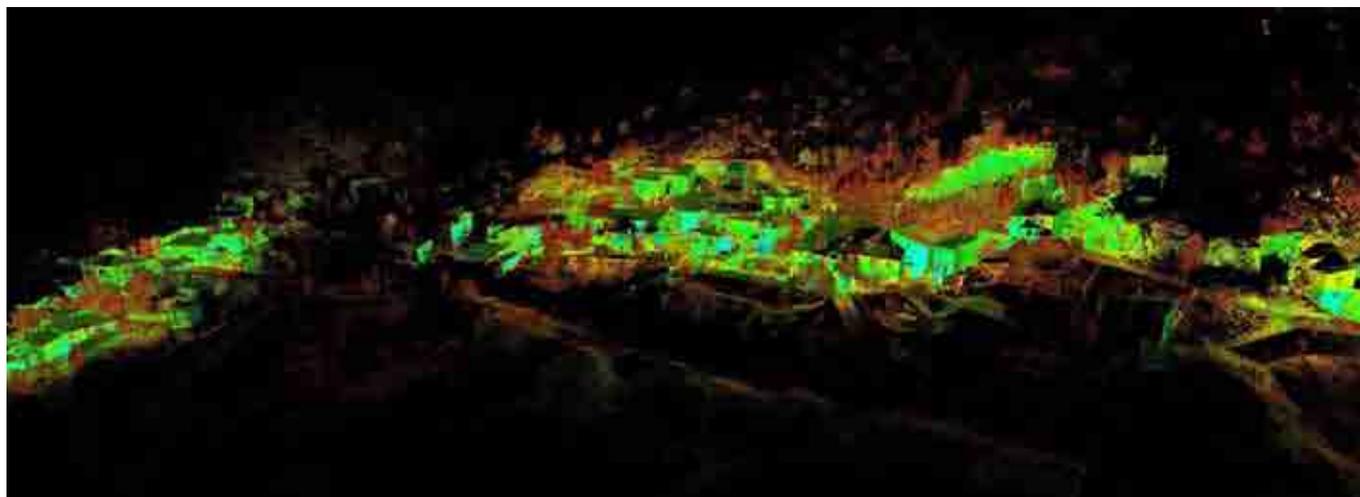
Gli obiettivi del rilievo integrato dei centri storici del Comune di Acciano sono stati i seguenti:

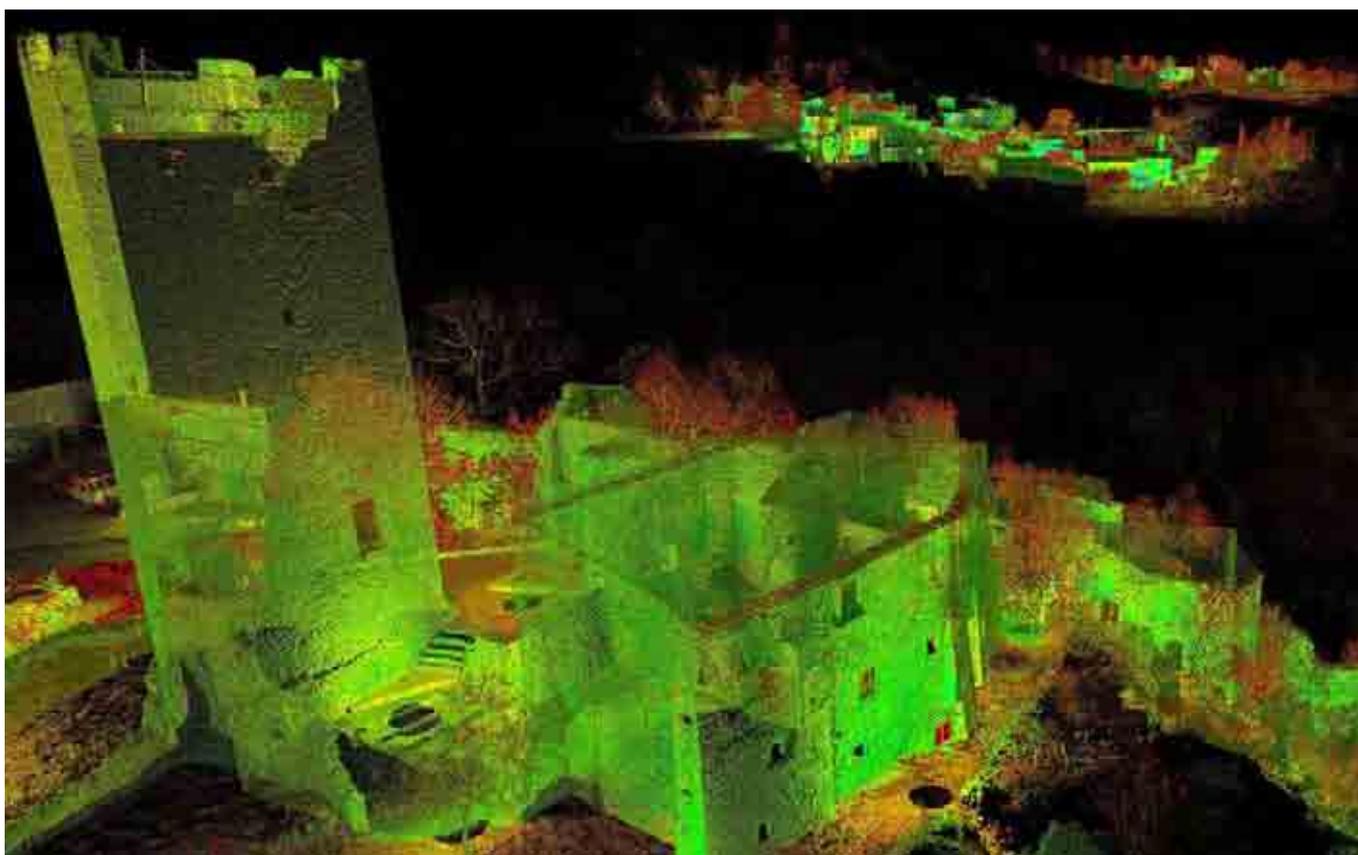
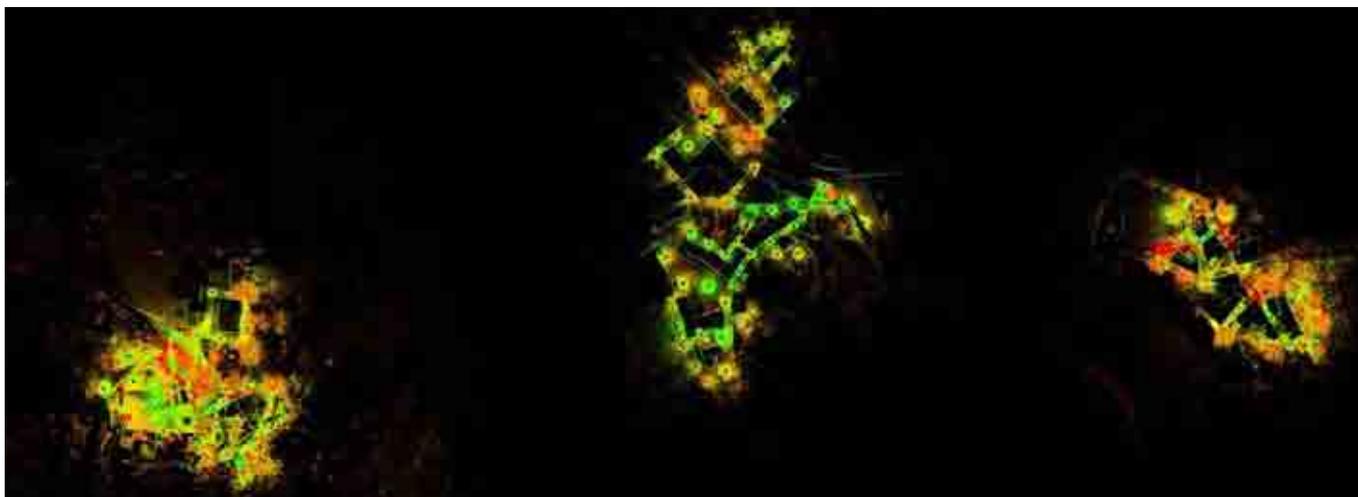
- fornire una base cartografica affidabile e attendibile per la redazione del Piano di Ricostruzione;
- fornire le dimensioni in pianta e in alzato degli edifici e degli aggregati per la stima dei costi di ricostruzione;
- fornire i capisaldi in pianta (spigoli dei fabbricati) e in alzato (altezze dei fabbricati) per la redazione del rilievo di dettaglio. Si precisa che il rilievo degli edifici e degli aggregati (rilievi architettonici, rilievi strutturali e particolari misurazioni) rientra nelle prestazioni di competenza dei tecnici che si occuperanno del progetto di “riparazione e di miglioramento sismico”.





*La porzione di nuvola di punti relativa alla Chiesa Madre dei Santi Pietro e Lorenzo nel centro storico di Acciano Capoluogo.*





*Immagini relative alle nuvole di punti elaborate per i centri storici del Comune di Acciano attraverso metodologia di rilievo con tecnologia laser scanner: In alto a sinistra: vista generale della frazione di Succiano. In basso a sinistra: Acciano Capoluogo. Particolare relativo all'aggregato nel quale si trova Palazzo Galli. In alto a destra: vista dall'alto in proiezione ortometrica delle nuvole di punti dei tre ambiti di intervento del P.d.R. della frazione di Beffi. In basso a destra: vista panoramica della nuvola di punti dei tre ambiti della frazione di Beffi con il castello in primo piano.*

#### 4.2.1 Rilievo laser scanner su appoggio topografico per l'analisi urbana

Per il rilievo dei siti danneggiati dal sisma, che nell'area di Acciano avevano solamente una rappresentazione catastale, scala 1:2000 e 1:1000, è stato necessario adoperare le più avanzate tecniche di rilievo per produrre cartografie affidabili, completate da rappresentazioni digitali.

La pianificazione delle attività di rilevamento, succeduta a numerosi sopralluoghi e ad analisi preliminari, ha individuato una metodologia integrata di rilievo digitale laser scanner su base topografica come la più idonea a soddisfare le esigenze del rilievo. Il livello di supporto delle operazioni topografiche al rilievo laser scanner si è differenziato secondo le diverse caratteristiche di assetto urbano e geografico dei cinque centri.

In un contesto urbano compatto e denso come il centro storico di Acciano Capoluogo, dove gli ambiti di intervento del Piano sono tutti confinanti fra loro, il rilievo topografico è servito ad individuare una poligonale chiusa esterna che circonda l'abitato, garantendo il controllo dell'errore su tutta la "scatola" esterna dell'intero centro storico chiuso all'interno del sistema di casemura. Le oltre 340 scansioni laser effettuate con strumenti *Leica HDS 7000* e *ScanStation C 10<sup>s</sup>*, per la copertura esterna di tutti gli edifici del solo centro storico di Acciano Capoluogo, sono state registrate fra loro seguendo il metodo dei target comuni fra coppie di scansioni<sup>9</sup>, oltre ad affidarsi a quelli inclusi nella poligonale topografica esterna di controllo, pertanto il posizionamento dei target è stato pianificato ed eseguito secondo le esigenze previste da questa metodologia di post produzione, sfruttando visuali il più possibile frontali dei target rispetto allo strumento nelle varie posizioni delle scansioni progressive con eventuali raffittimenti e ulteriori scansioni puntuali sui target.

Contestualmente, di supporto a queste operazioni, è stato strutturato un data base di eidotipi dei vari comparti urbani e tabelle, dove sono state riportate le posizioni delle stazioni laser scanner e dei target annotando in tabella le rispettive corrispondenze.

Questi elaborati, digitalizzati e archiviati, costituiscono la banca dati di rilievo a cui riferirsi per la registrazione di tutte le scansioni.

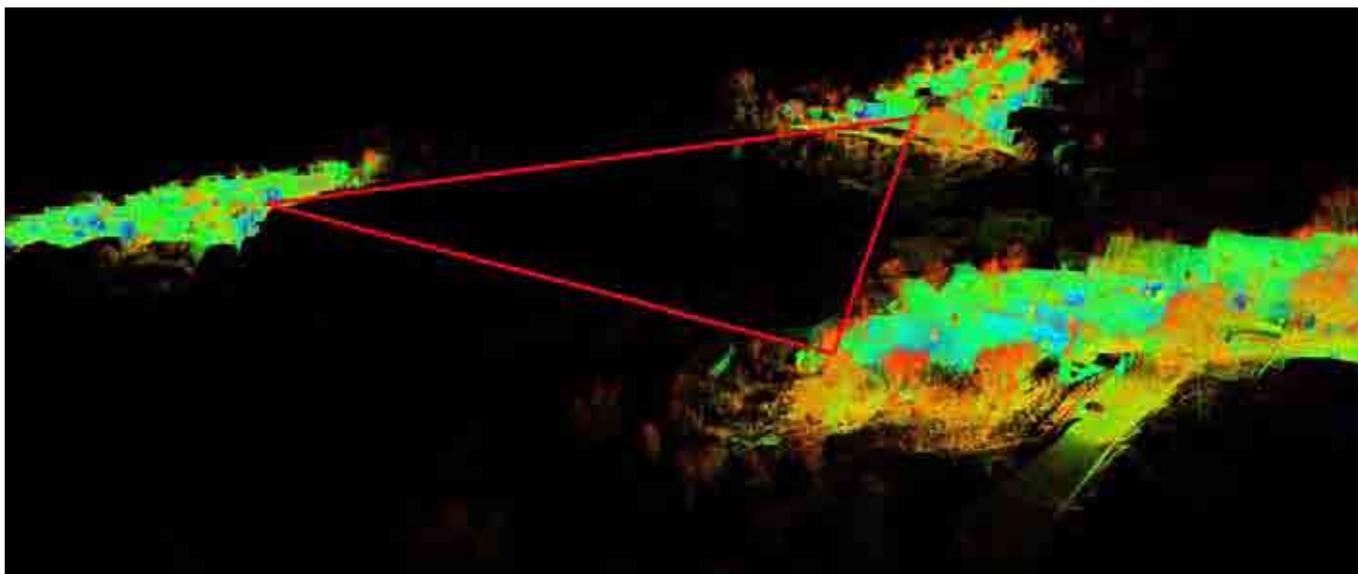


*Gli strumenti utilizzati durante i rilievi dei centri storici del Comune di Acciano, in alto Leica HDS 7000 per il rilievo laser scanner; in basso la stazione totale Leica per il rilievo topografico.*

Diverso è stato invece il progetto del rilievo topografico dei centri di Beffi, Succiano, e Roccapreturo, dove la perimetrazione dei centri storici e degli ambiti di intervento del Piano di Ricostruzione ha coinvolto porzioni urbane distanti fra loro e sviluppatesi secondo assetti geografici diversi. Nel caso di Roccapreturo, le tre porzioni di abitato rilevate sono disposte in una valle minore dove due di queste si posizionano una a destra e l'altra a sinistra delle due emergenze rocciose che formano la valle, l'altro insediamento è invece a fondovalle al di sopra di un altopiano. Il rilievo laser scanner di queste diverse porzioni di centro storico, sia per Roccapreturo che per i centri di Beffi e Succiano, anch'essi sviluppati secondo un assetto frammentato, è stato eseguito in modo indipendente per ognuno dei singoli insediamenti, avvalendosi del supporto topografico solo sul controllo esterno del comparto urbano e affidando al posizionamento dei target (accuratamente pianificato) ed al loro riconoscimento nel *software* di gestione la registrazione delle scansioni effettuate lungo i vicoli interni agli ambiti. I diversi insediamenti di ogni centro storico sono stati collegati topograficamente con una poligonale triangolare di raccordo fra le tre diverse poligonali topografiche relative ad ogni ambito, entro le quali, sono state registrate le nuvole di punti delle varie

scansioni laser; dalle stazioni topografiche di raccordo di questa poligonale triangolare sono stati battuti più punti di dettaglio comuni ai rilievi topografici dei singoli comparti per evitare problemi di rototraslazione dei tre distinti ambiti rispetto al sistema di riferimento della nuvola di punti così costituita.

Successivamente ad eventi sismici, sia nel caso del rilievo strumentale a scala urbana di un intero centro storico, che in quella architettonica di un singolo aggregato, la pianificazione delle operazioni di acquisizione dati deve confrontarsi con il contesto post-sisma e quindi con la presenza di strutture di messa in sicurezza, possibili macerie e aree non agibili, inoltre, come nei centri del Comune di Acciano vi è la necessità di investigare e rilevare zone di edificato in stato di abbandono o di rudere da vari decenni e per questo infestate dalla vegetazione. È stato pertanto necessario, oltre ad una pianificazione delle attività di rilievo strumentale che tenesse conto degli elementi sopra citati, un adeguamento preventivo del sito alle esigenze delle operazioni strumentali ed alla fruizione incolume degli operatori e dei tecnici che hanno effettuato i rilievi, rimuovendo la vegetazione più folta e consentendo la completa scansione dei fronti relativi ai vari aggregati urbani.



*In questa immagine della nuvola di punti delle porzioni di centro storico di Roccapreturo è possibile vedere come i tre ambiti di intervento del P.d.R., che sono distanti fra loro, siano stati collegati topograficamente con una poligonale chiusa triangolare.*

Le attività di rilievo strumentale in sito relative ai cinque centri del Comune di Acciano, che hanno prodotto una banca dati composta da un dato “grezzo” originale di oltre 730 scansioni laser scanner ognuna di queste corredata da ripresa fotografica ad alta risoluzione a 360° per la creazione delle foto orbitali, sono state eseguite durante il periodo trascorso fra novembre 2011 e febbraio 2012 per un totale di giornate lavorative effettivo di circa due mesi, da una squadra di quattro rilevatori, di cui tre dedicati allo strumento laser ed al relativo posizionamento dei target ed un topografo.

Le fasi di lavoro necessarie al rilievo integrato a scala urbana sono sintetizzabili nelle seguenti:

- rilevamento con laser scanner e relativo posizionamento target (scansioni laser di esterni, vicoli, fronti strada, cortili accessibili ed aree aperte accessibili).;
- scatti fotografici a 360° da ogni stazione di rilievo laser scanner;
- rilievo topografico e controllo plano-altimetrico delle stazioni topografiche con strumentazione GPS per la georeferenziazione della rete, compilazione delle relative monografie;
- Elaborazione dei dati e ricostruzione del “modello 3D” (nuvola di punti);
- Formazione di piani quotati e di sezioni ambientali dell'intero centro storico per le elaborazioni grafiche di postproduzione.



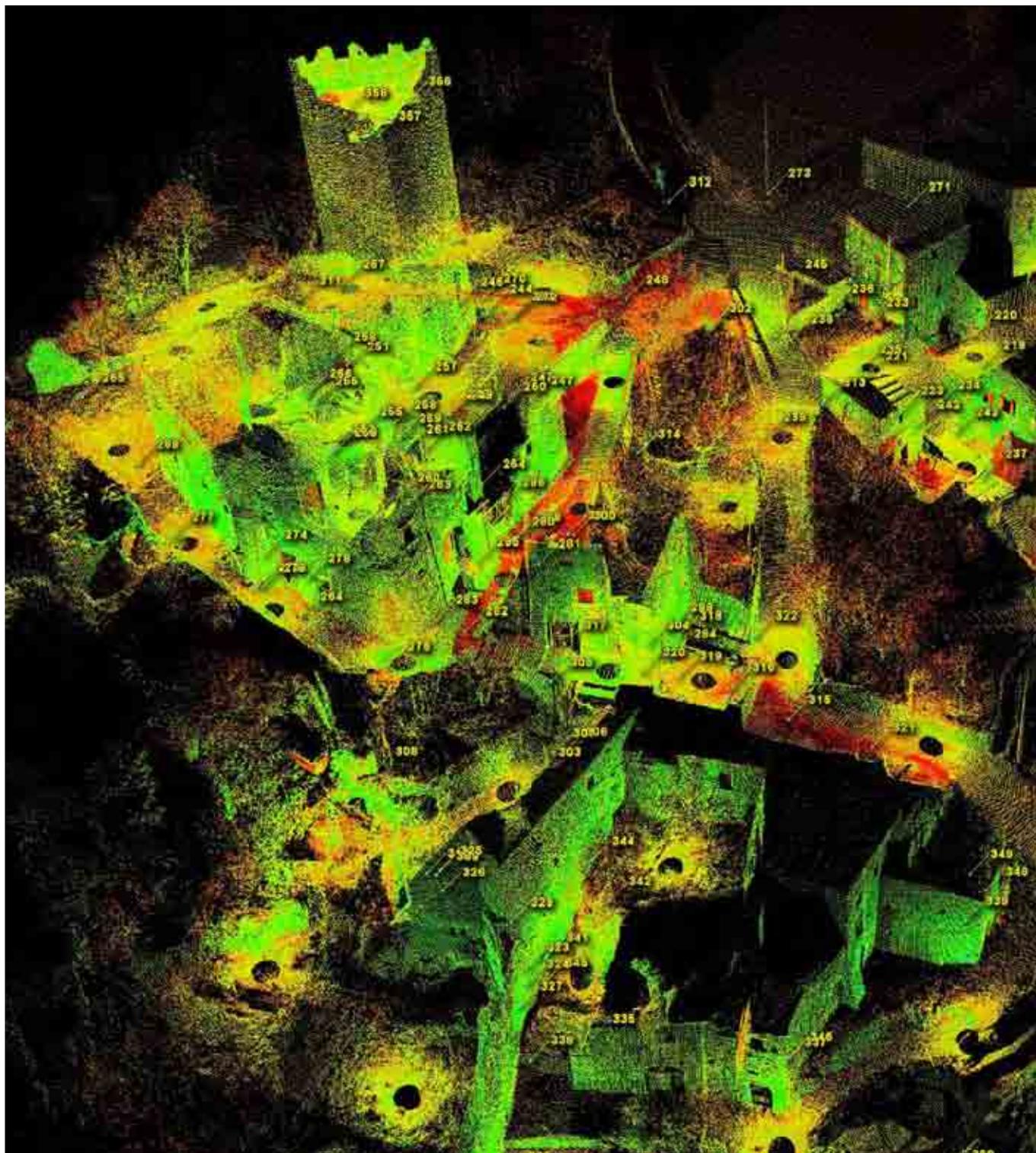


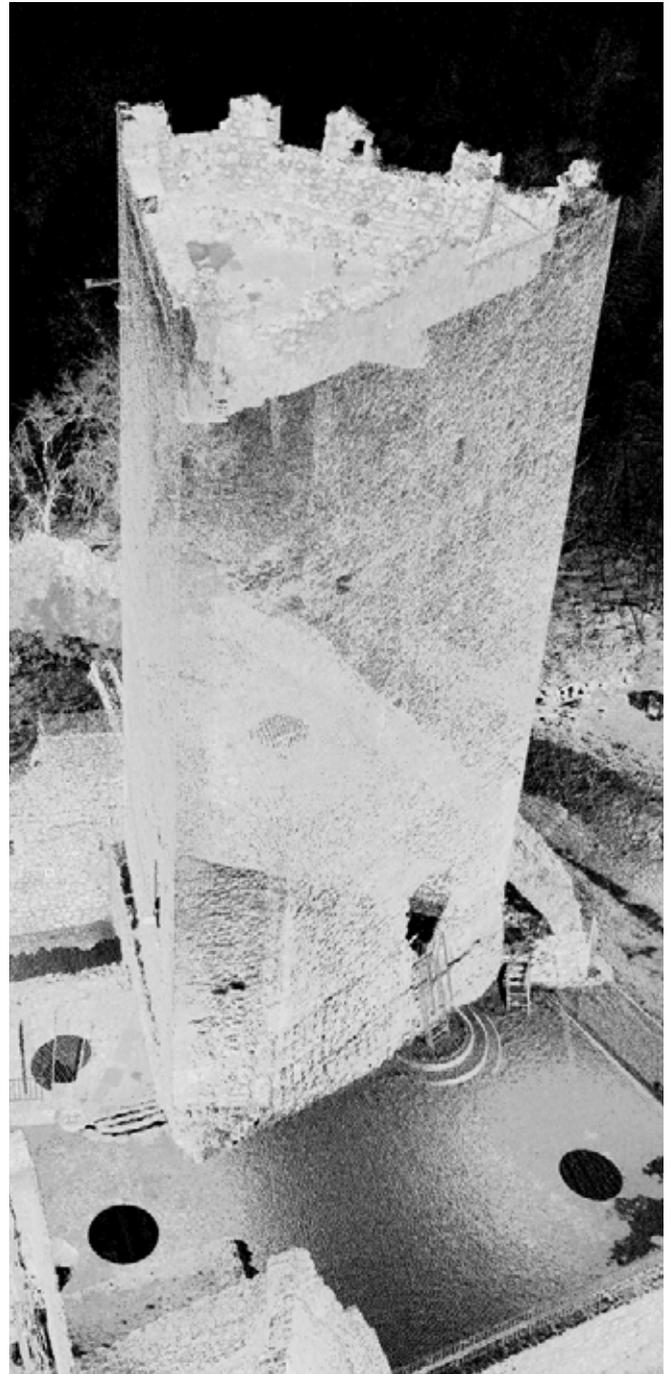
*Nella pagina precedente: in alto, due viste di due dei tre ambiti del centro storico di Roccapreturo, in basso alcuni momenti dei rilievi strumentali.*

*In alto: è possibile vedere come vengono posizionati i target di riferimento per la registrazione delle singole scansioni sulle architetture da rilevare.*

*Nell'immagine a destra: sono visualizzate alcune delle singole riprese laser scanner relative al Castello di Beffi.*

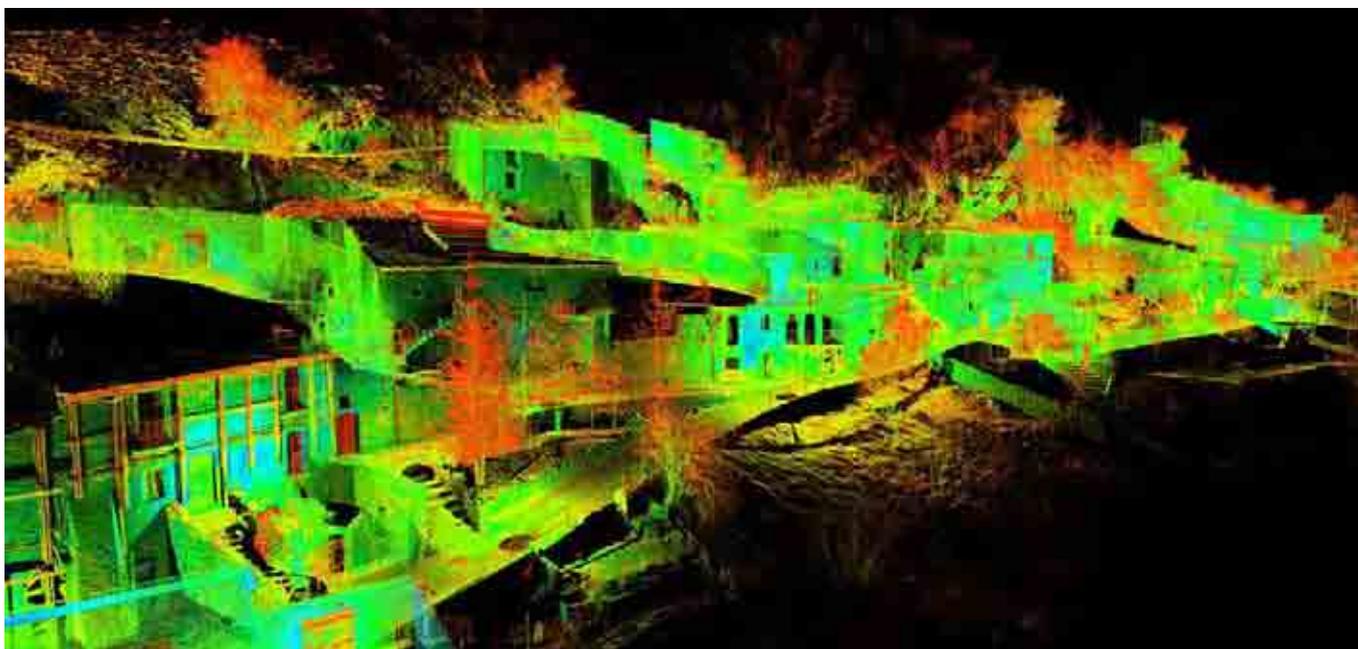
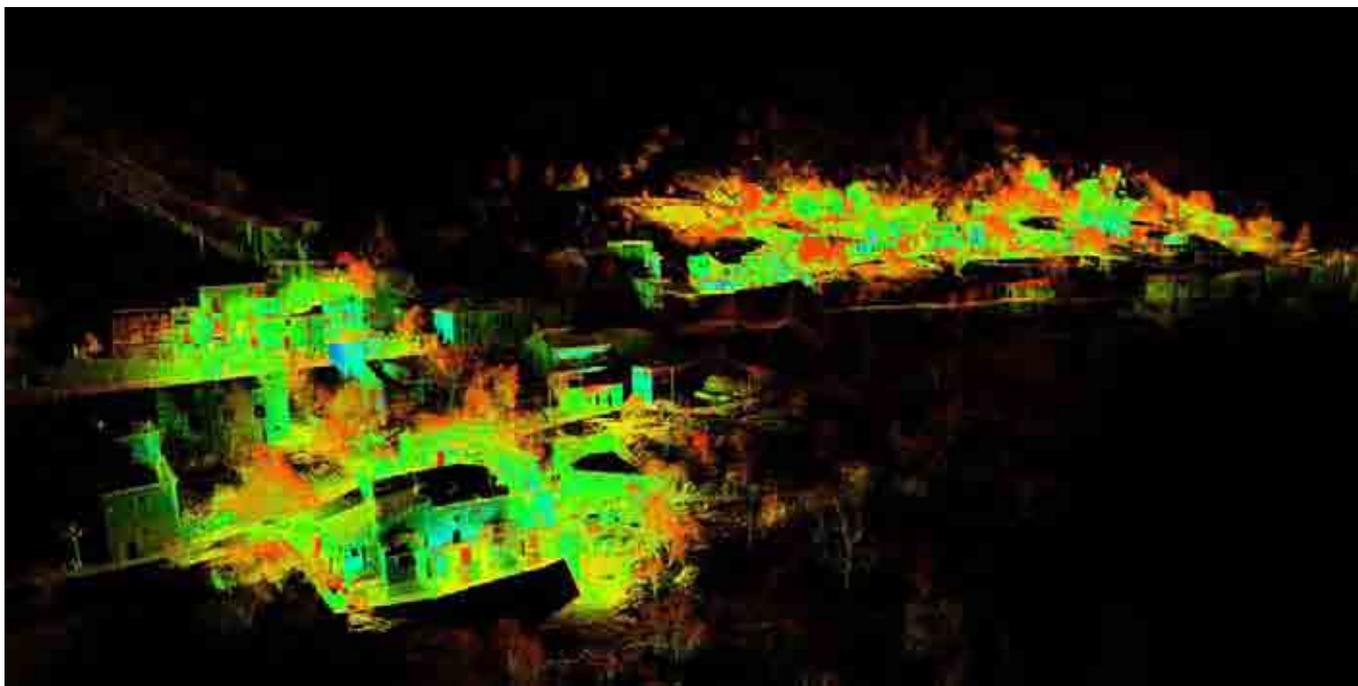




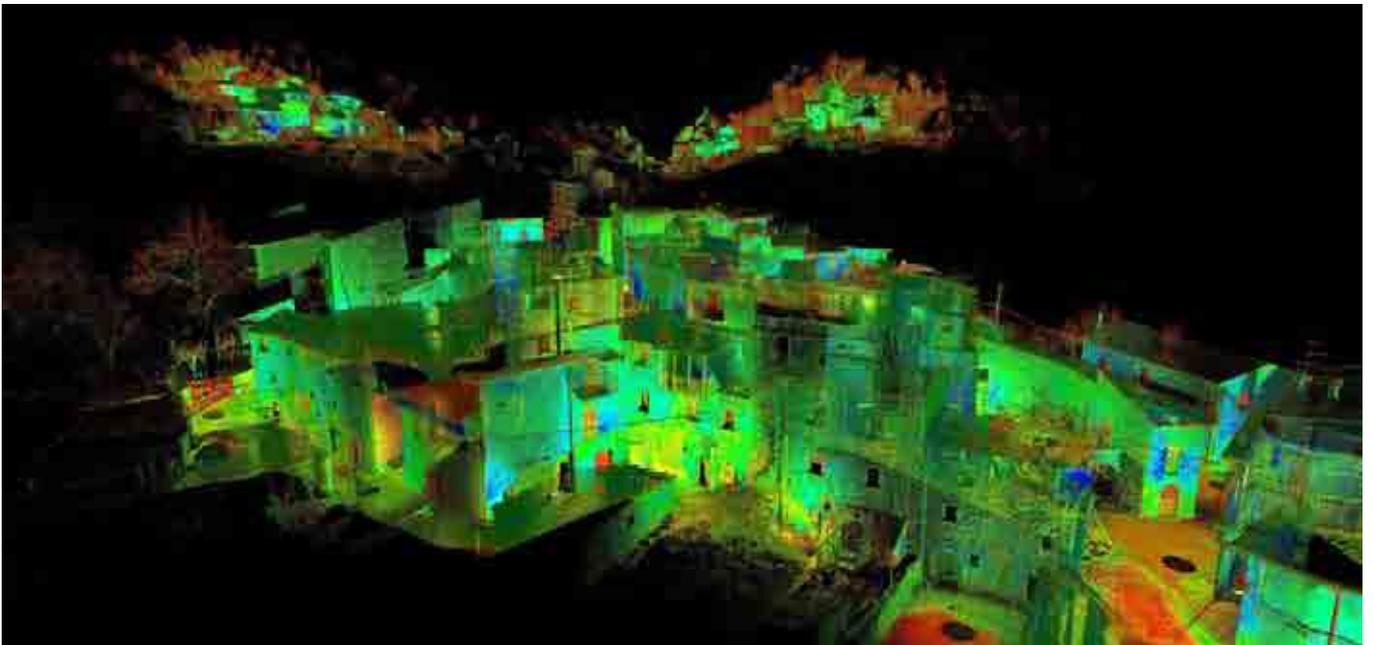
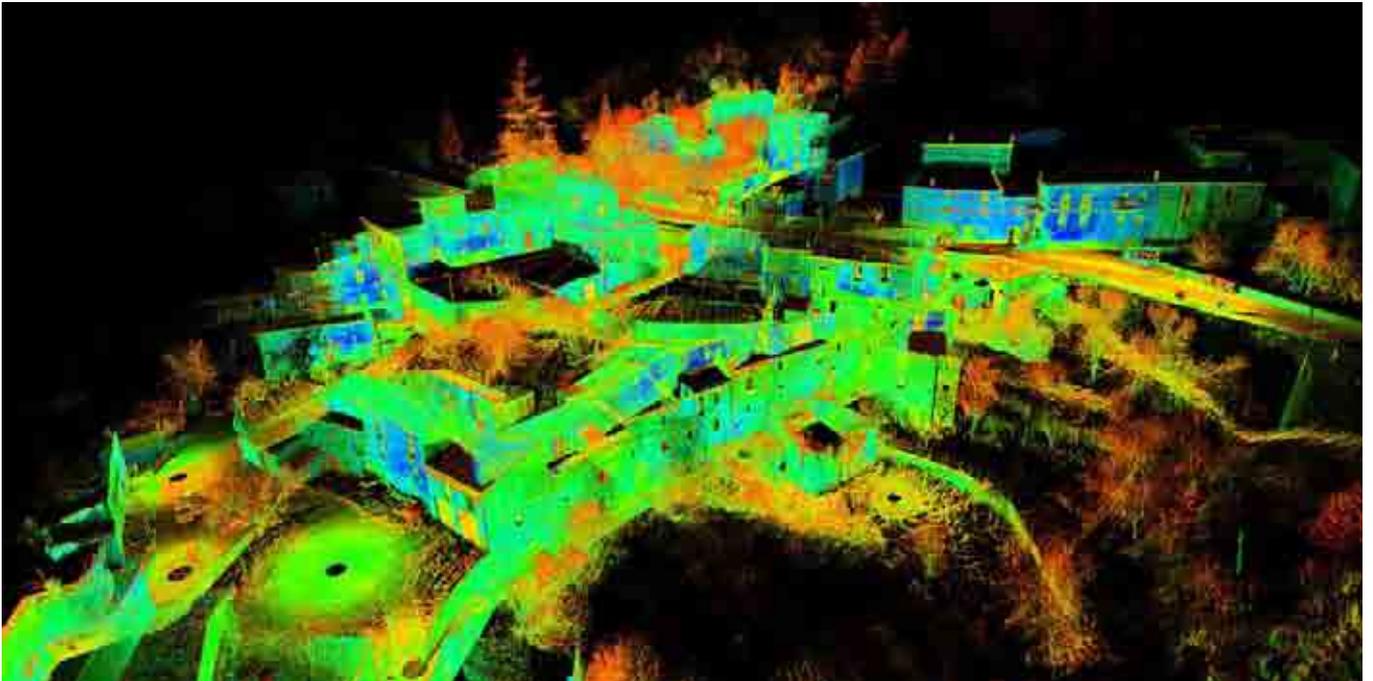


*L'immagine della pagina precedente è riferita alla nuvola di punti del castello di Beffi ricomposta dalle singole scansioni. Queste vengono registrate grazie ai punti comuni (target) che qui sono visualizzati attraverso i numeri progressivi con cui sono stati nominati e identificati dal software di gestione.*

*Sopra; due viste della nuvola di punti relativa al rilievo laser scanner della torre del Castello di Beffi.*



*Due viste della nuvola di punti degli ambiti di intervento del P.d.R. del centro storico di Succiano.*

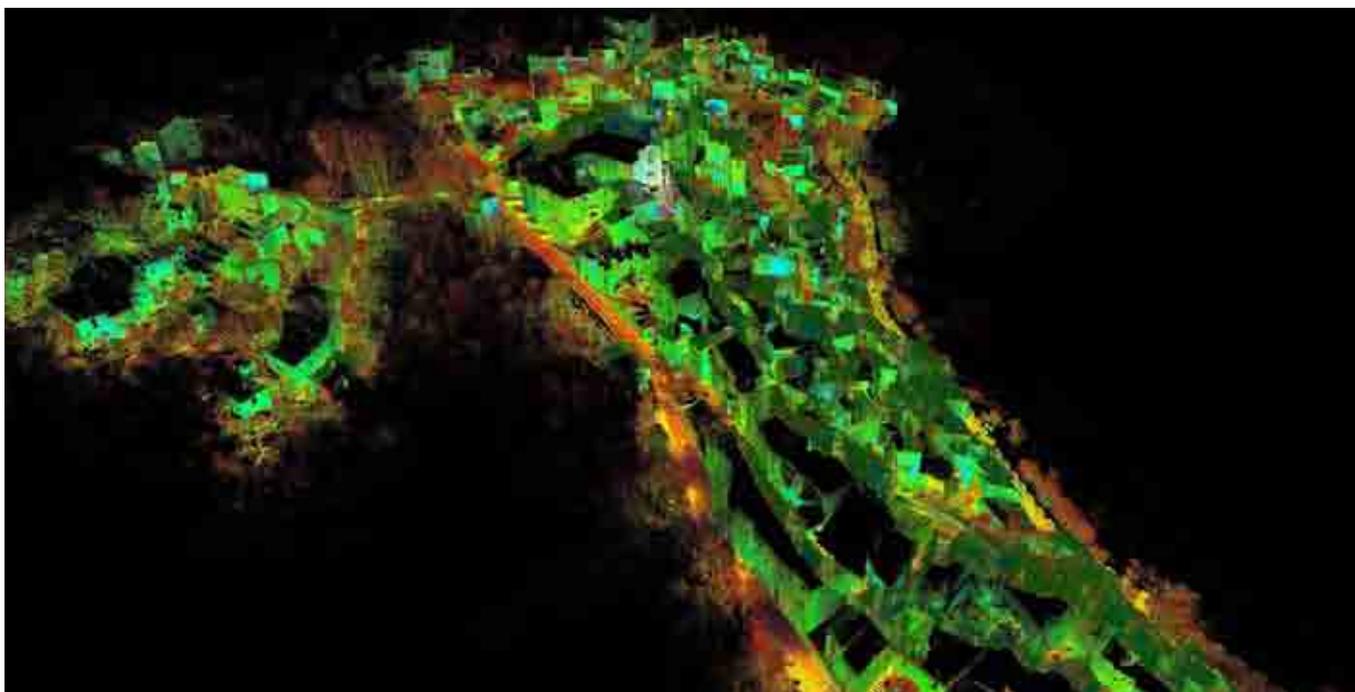


*In alto: una vista della nuvola di punti relativa ad una parte di edificato in un ambito di intervento del P.d.R. all'interno del centro storico di Beffi.*

*In basso: una vista della nuvola di punti del centro storico di Roccapreturo nella quale è possibile vedere la posizione dei tre ambiti rilevati.*



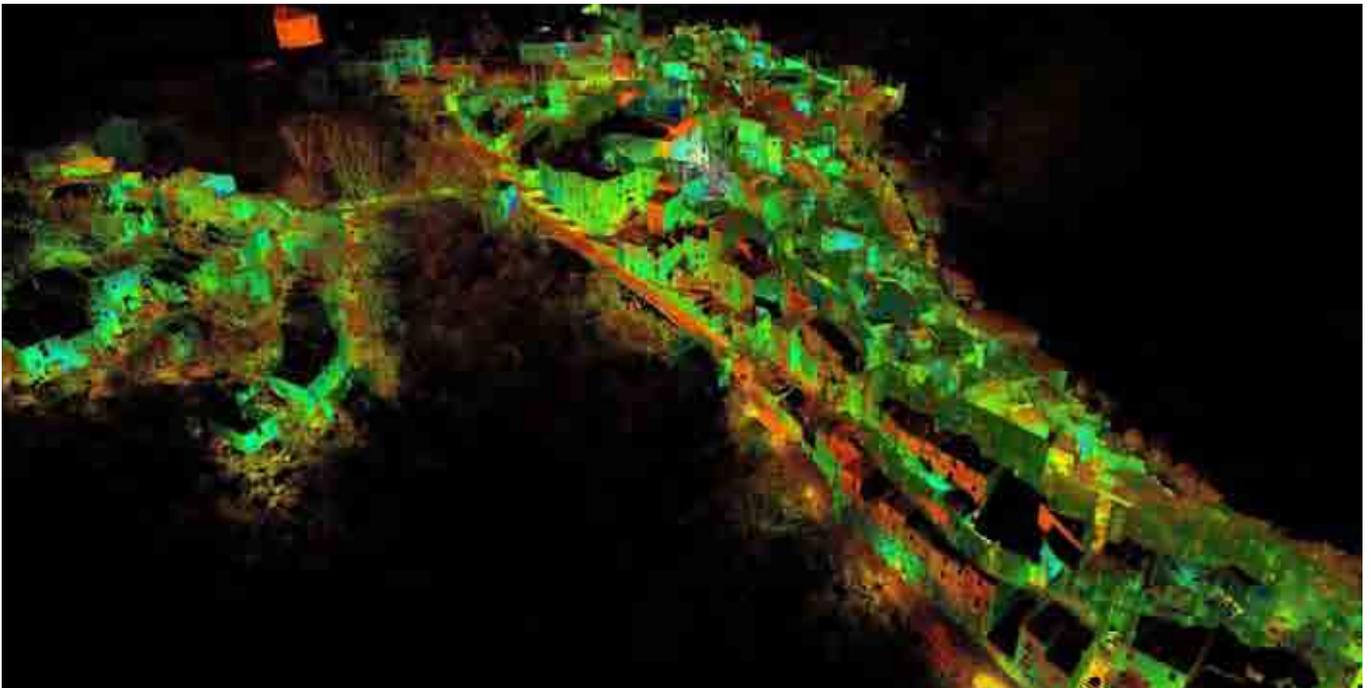
*In questa sequenza di immagini della nuvola di punti relativa al rilievo laser scanner del Capaluogo di Acciano vengono visualizzate le scansioni effettuate da due diversi strumenti laser. Nell'immagine in alto una vista delle scansioni relative a quelle dello strumento con tecnologia a "tempo di volo" Leica ScanStation C10 che ha un range di ripresa intorno ai 300 m.*



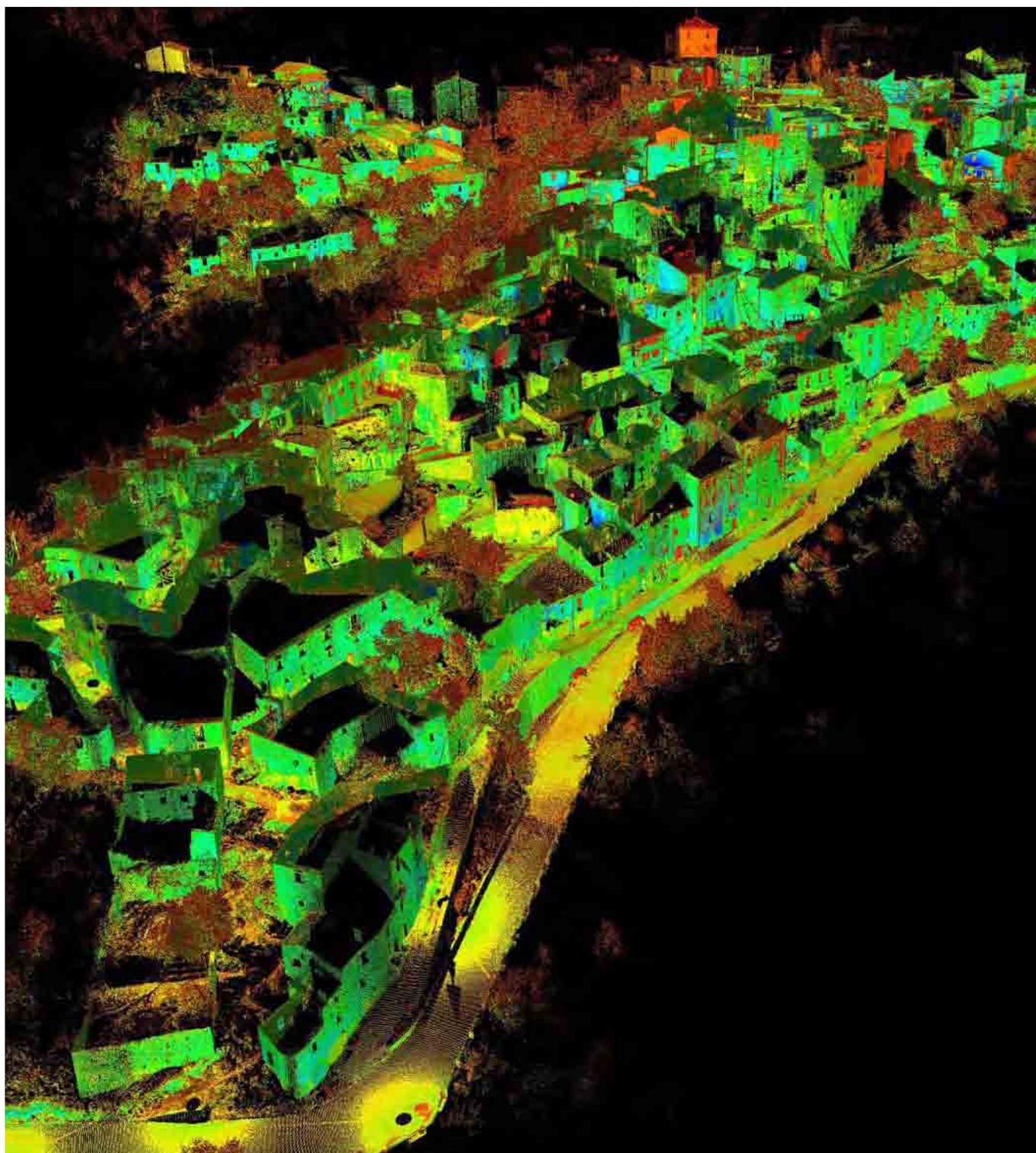
*Nell'immagine sopra: la nuvola di punti ottenuta dalle sole scansioni dello strumento "Leica HDS 7000" da punti di ripresa posizionati sul piano stradale lungo i vicoli del centro storico*



*Nell'immagine in alto: una vista delle scansioni relative a quelle dello strumento laser " Leica ScanStation C10". Per poter effettuare il rilievo delle coperture è stato necessario utilizzare uno strumento con tecnologia a tempo di volo che, con un range di ripresa intorno ai 300 m, ha permesso di rilevare porzioni dell'edificato da punti di ripresa sopraelevati.*



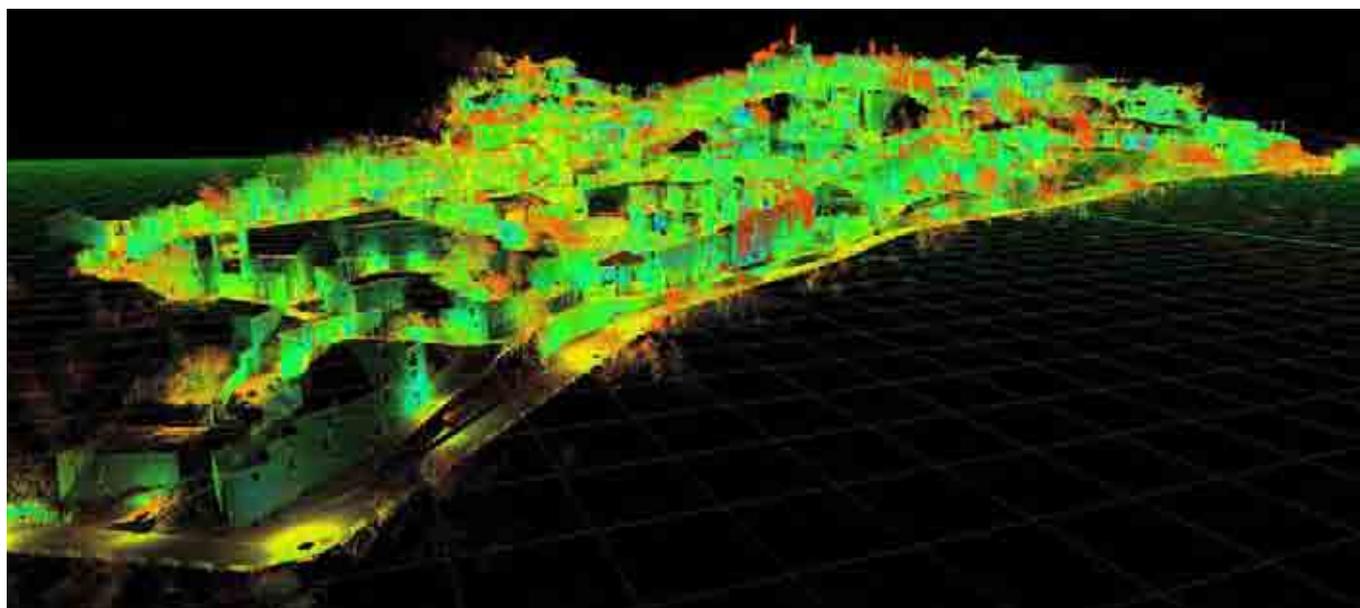
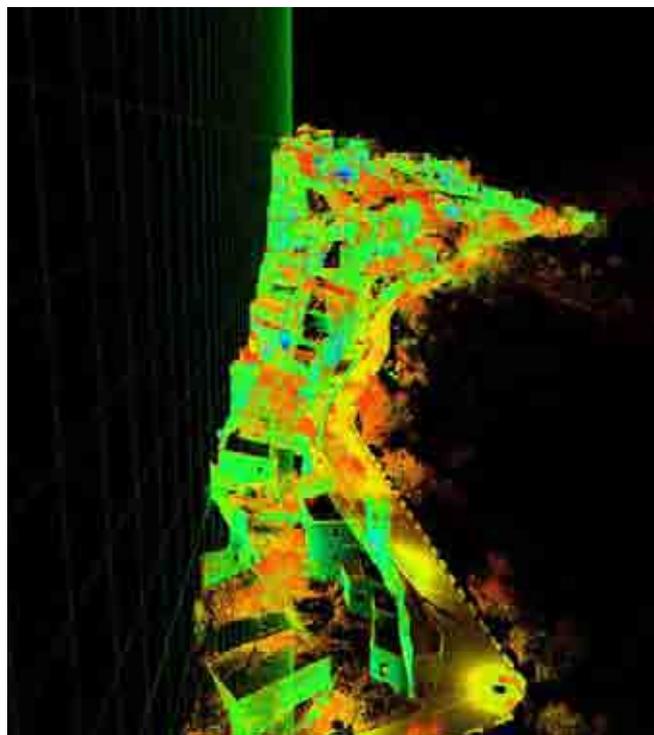
*Nell'immagine sopra: la nuvola di punti completa di tutte le scansioni effettuate dai due strumenti laser, "Leica HDS 7000" e " Leica ScanStation C10".*



#### 4.2.2 Restituzione grafica e creazione della cartografia di riferimento

I rilievi degli esterni degli aggregati e dei vicoli che compongono i centri storici presi in esame, realizzati con tecnologie laser scanner, sono stati restituiti in formato digitale e sono corredati da una banca dati di foto orbitali realizzate nei singoli punti di stazione laser, dato utile non solo alla colorizzazione delle nuvole di punti con i colori reali dei materiali, ma anche al controllo dei dettagli in fase di restituzione grafica.

Una volta effettuata la registrazione delle nuvole di punti su base topografica e costituito il data base tridimensionale completo di ogni frazione del comune, è stato avviato il processo di restituzione grafica e vettorializzazione per la creazione della cartografia in scala 1:500 delle planimetrie dei centri storici. Secondo procedure di lucidatura 2D in ambiente CAD dei dati tridimensionali delle nuvole di punti, già descritte nel *sottoparagrafo 2.2.5. dedicato alla “restituzione grafica 2D”*, è stato possibile individuare e disegnare le impronte a terra “reali” dei vari aggregati,



*Nella pagina precedente: una vista generale della nuvola di punti del centro storico di Acciano Capoluogo.*

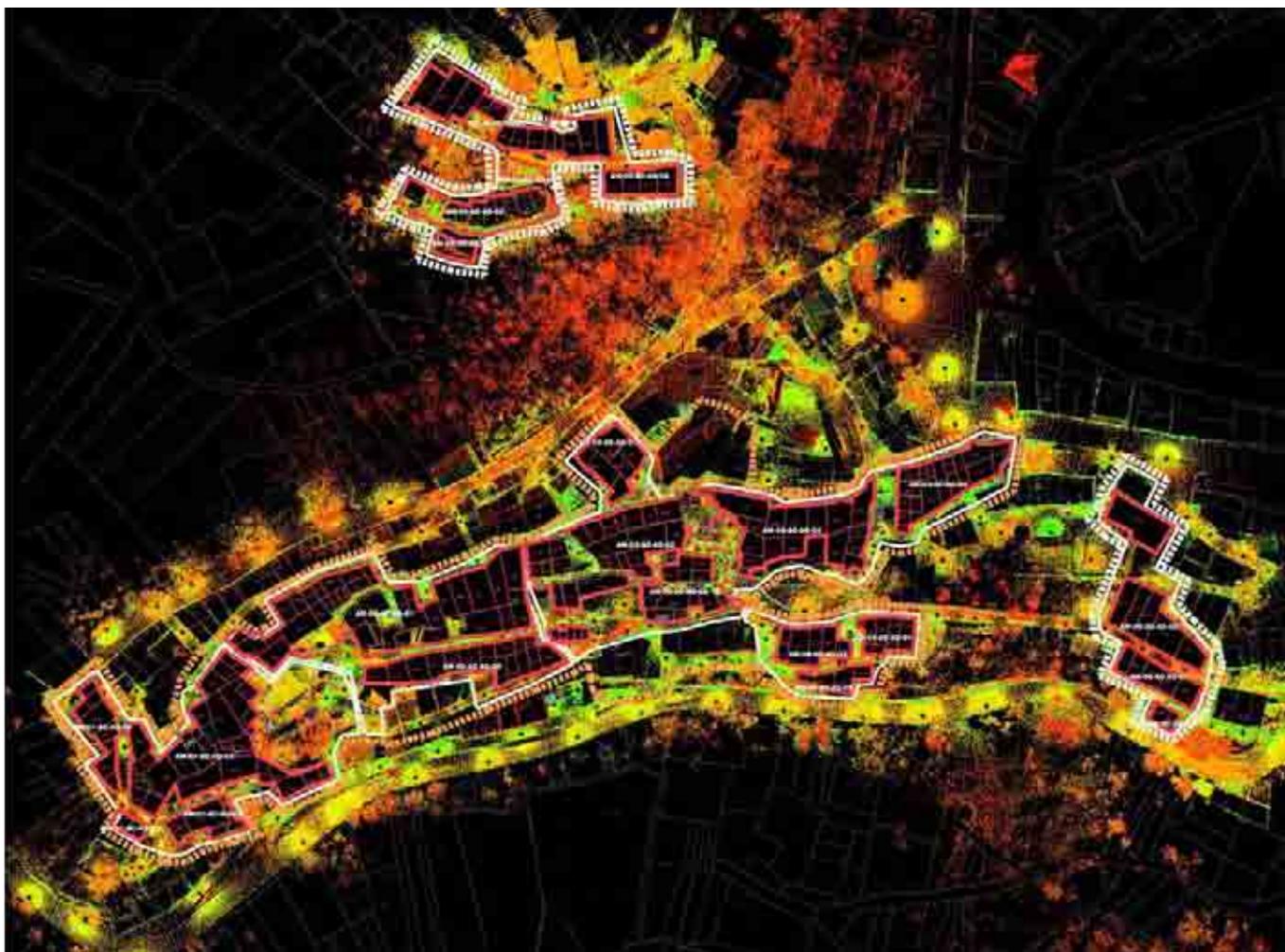
*Sopra: due immagini della stessa nuvola di punti dove è possibile visualizzare l’inserimento, all’interno dell’ambiente virtuale del software di gestione Cyclone Leica Geosystems, del piano di taglio orizzontale per la definizione della planimetria in scala 1:500 del centro storico di Acciano Capoluogo e del piano verticale per la realizzazione delle sezioni ambientali lungo i vicoli dello stesso in scala 1:200.*

la proiezione delle gronde, e tutti gli elementi propri alla viabilità interna dei centri storici quali gradonate, rampe, muretti di recinzione, pavimentazioni e marciapiedi.

Questo tipo di operazione si è sviluppata grazie al posizionamento di piani orizzontali sezionanti la nuvola di punti all'interno del suo ambiente virtuale di gestione, che spostati progressivamente lungo l'asse verticale Z del sistema di riferimento cartesiano, hanno definito i profili in pianta degli edifici e le curve di livello del terreno. La semplice visualizzazione ortometrica dall'alto (*top view*)

ha consentito invece di individuare le linee di gronda e le falde di copertura dell'intero sistema urbano dei centri storici.

Il file CAD, in formato *.dwg*, è stato costituito da diversi livelli o *layers* sui quali sono stati disegnati i differenti elementi che compongono la cartografia. Dalle nuvole di punti è stato inoltre possibile, individuando un punto di riferimento come quota di partenza uguale a 0.00 m, riferire ad ogni punto di stazione laser scanner una quota altimetrica relativa, corredando la cartografia di un dato



*In questa immagine viene visualizzata la sovrapposizione della nuvola di punti, vista dall'alto (top view) in proiezione ortogonale, con il disegno vettorializzato della stessa, definendo l'impronta a terra degli aggregati urbani e la loro divisione in unità edilizie. (Acciano Capoluogo).*



Attraverso il ripasso vettoriale in ambiente CAD della vista illustrata nella pagina precedente, si arriva a definire la cartografia di riferimento per la stesura del P.d.R.. In questa immagine vengono campiti gli edifici all'intero degli ambiti di intervento del Piano ed evidenziate le posizioni dello strumento laser nei punti dove sono state effettuate le scansioni, indicando di questi ultimi la quota altimetrica relativa.

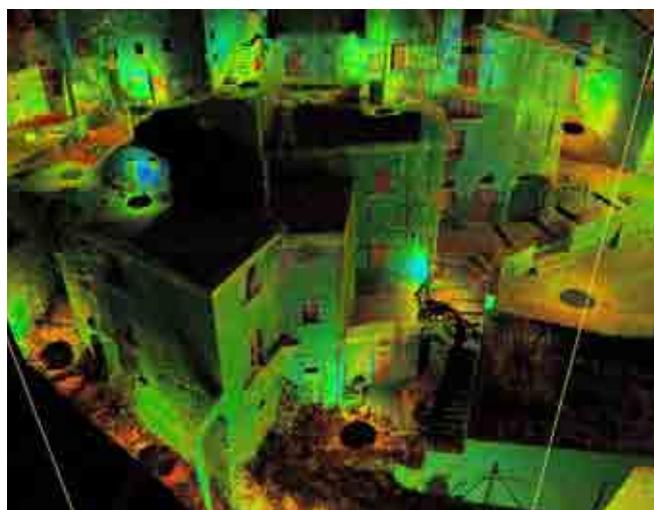
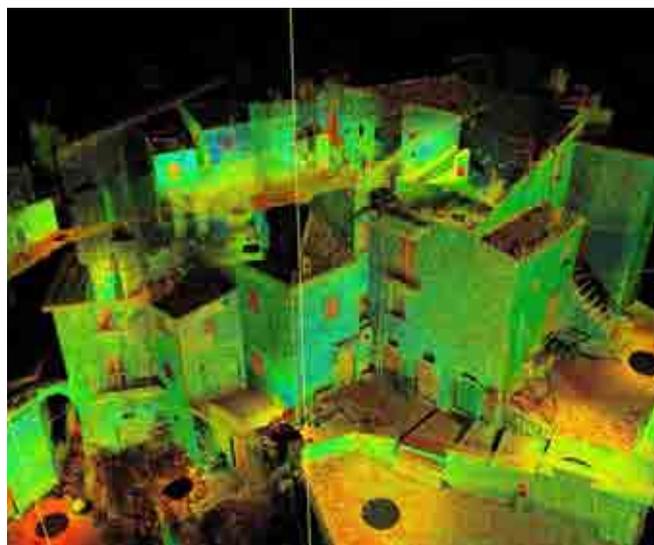
In alto: è evidenziato il processo di individuazione dell'impronta a terra di un Aggregato, il confronto con la planimetria catastale e la successiva divisione delle particelle in unità edilizie.

altimetrico “relativo” assente nelle cartografie catastali. Per una maggiore affidabilità in relazione al sistema cartografico nazionale è inoltre necessario il riferimento topografico nel rilievo a punti da identificare come capisaldi rilevati con sistema GPS.

La sovrapposizione dei profili in pianta dell’esterno degli aggregati così restituiti, con quelli dei disegni in formato .dwg delle planimetrie catastali fornite dall’Ufficio Tecnico Comunale, ha permesso di individuare ed adattare al nuovo assetto delle impronte a terra degli edifici la divisione degli aggregati in particelle catastali.

Successivamente a questa fase è stato graficizzato un ulteriore livello di identificazione morfologica interno al perimetro degli aggregati e cioè la suddivisione delle particelle catastali in “unità edilizie” (U.E.)<sup>10</sup>. Operazione resa possibile dalla gestione tridimensionale del rilievo degli aggregati in ambiente virtuale, che permette un controllo volumetrico di tutti i corpi di fabbrica, e dalle informazioni acquisite durante le attività di indagine, catalogazione e schedatura delle singole unità edilizie, corredata da disegni a mano (eidotipi), eseguiti secondo un rilievo a vista dei singoli fronti relativi ad ogni unità edilizia, e da una documentazione fotografica generale e di

The image shows a screenshot of a software application interface. It features a grid of multiple data tables or lists. Each table has several columns, with some containing text and others containing colored vertical bars or markers. The interface appears to be a data management or visualization tool, possibly used for processing the cadastral and building data mentioned in the text.





*Le figure relative alla pagina precedente evidenziano la possibilità di isolare, all'interno della nuvola di punti, un singolo edificio o aggregato del quale vogliamo avere una gestione tridimensionale per la comprensione della distribuzione volumetrica e quindi la sua divisione in unità edilizie.*

*Di fianco a sinistra: la struttura del file di AutoCAD diviso in differenti layers relativi ai vari elementi del disegno.*

*Sopra: una fotografia equirettangolare o orbitale. La figura in alto mostra l'immagine ricomposta dagli scatti effettuati a 360° con ottica fish-eye dalla stessa posizione della scansione laser; in basso la sua visualizzazione nel software dedicato con possibilità di fruizione all'interno dell'ambiente virtuale sferico entro il quale viene spalmata l'immagine.*

dettaglio degli organismi architettonici.

La struttura del file CAD basata su diversi *layers* ha permesso la successiva stratificazione digitale di informazioni necessarie agli elaborati del Piano di Ricostruzione come l'inserimento delle reti degli impianti, dei servizi e dei sottoservizi, o degli elementi da dedicare alla cantierizzazione degli ambiti di intervento del Piano

e dei relativi aggregati. È risultata indispensabile a questi tipi di analisi, per la definizione e l'identificazione di tutti gli elementi di dettaglio non distinguibili sulle nuvole di punti, la consultazione delle singole foto orbitali<sup>11</sup> e degli eidotipi prodotti durante la campagna di schedatura delle U.E. sopra citati.

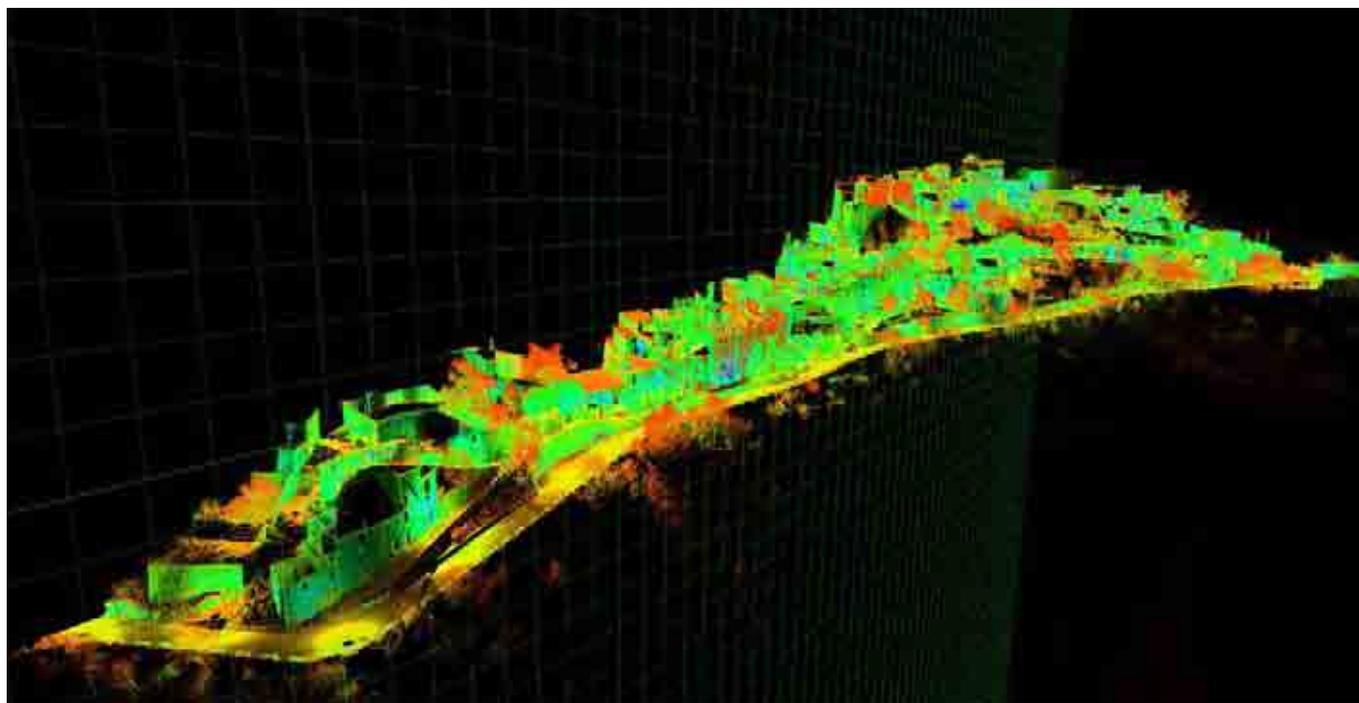


La base della nuova cartografia di riferimento al P.d.R. in scala 1:500 di Acciano Capoluogo con suddivisione delle particelle catastali in unità edilizie. (Tav. 16a - Planimetria con individuazione definitiva delle Unità Edilizie in relazione al Q.T.E.).

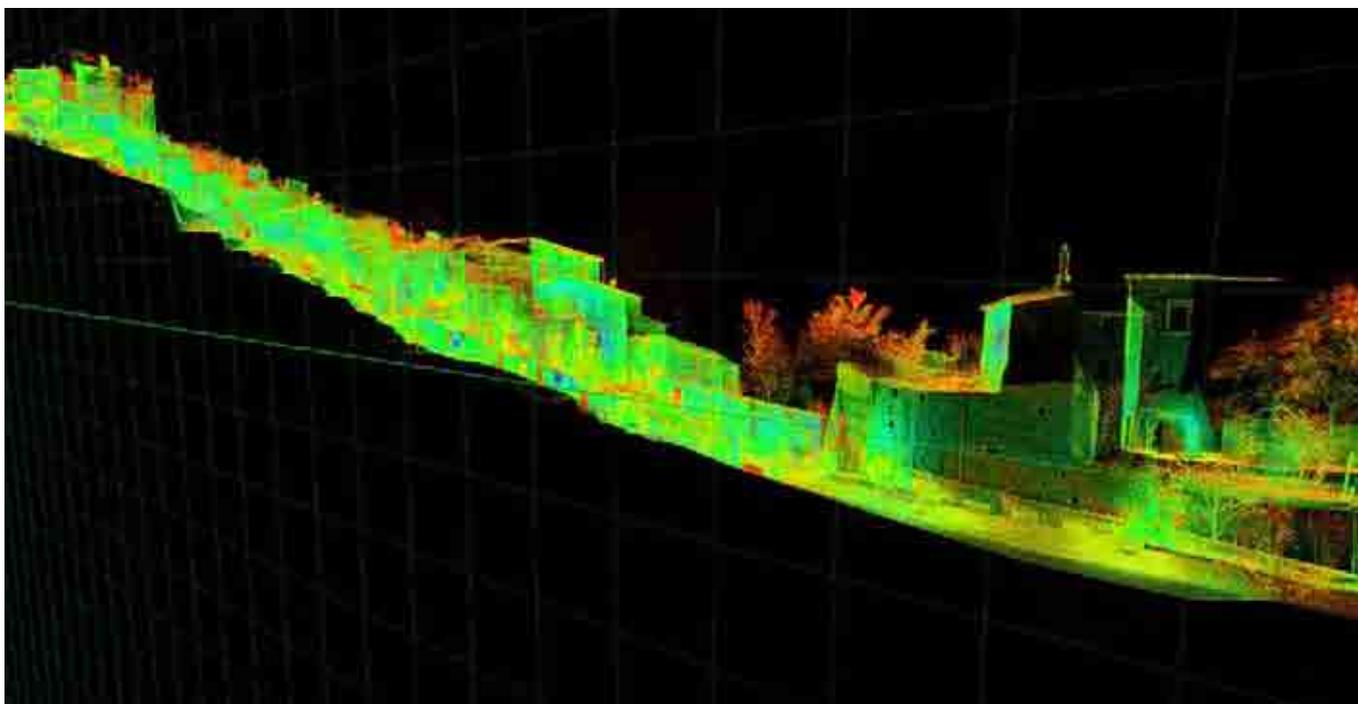
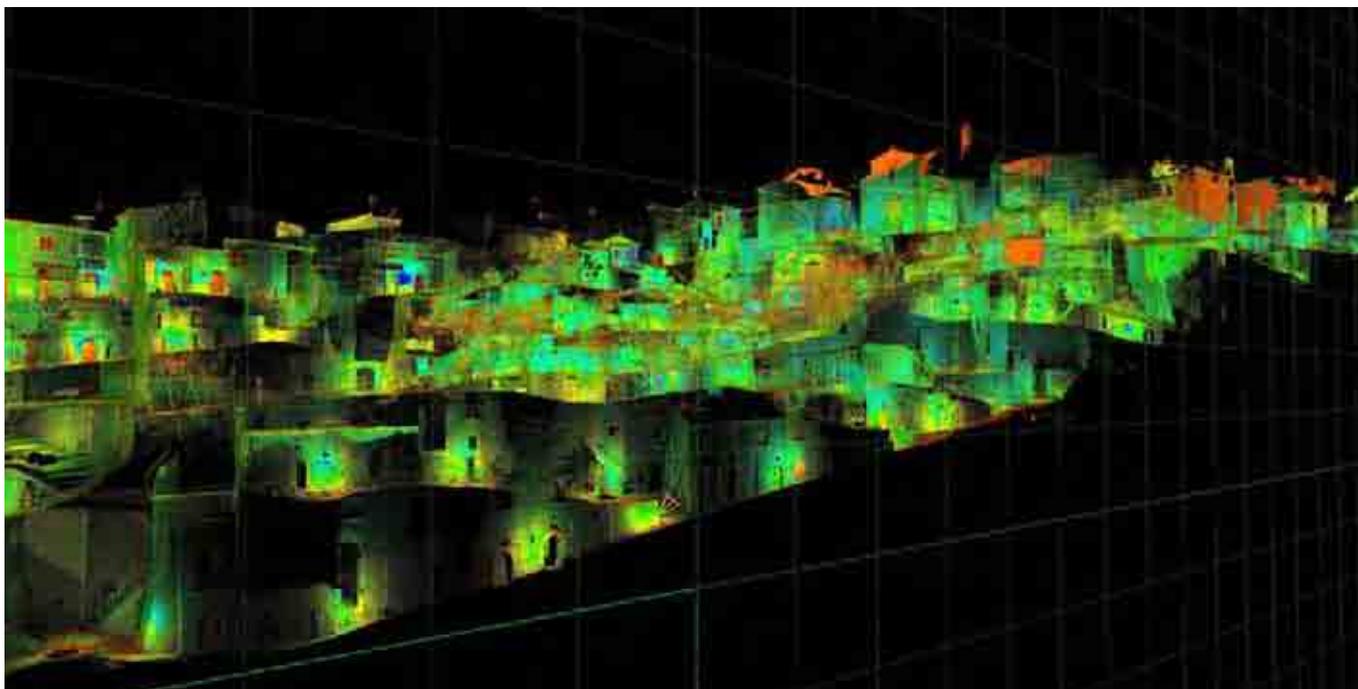
Le caratteristiche geometriche degli elementi poligonali vettoriali che identificano il perimetro di aggregati urbani, particelle catastali e unità edilizie, disposti su *layers* diversi nella struttura del file, permettono l'applicazione della tecnologia GIS che, individuando queste polilinee chiuse come elementi a cui riferire delle informazioni e nominandole con un codice alfanumerico, mette in relazione, appunto attraverso il codice nominale comune, l'elemento grafico della cartografia con la scheda specifica della U.E. o della particella catastale piuttosto che dell'aggregato, costituente la banca dati digitalizzata. Questa possibilità permette di realizzare una serie di carte tematiche che rappresenteranno gli elaborati definitivi del Piano di Ricostruzione.

Sono stati inoltre documentati i principali profili stradali dei singoli centri storici in maniera da costituire elaborati grafici che fossero in grado di restituire anche l'aspetto tridimensionale dell'architettura, qui fortemente accentuato dall'orografia del territorio. Dall'elaborazione delle nuvole di punti 3D secondo l'inserimento di piani verticali di taglio, è stato possibile estrapolare sezioni

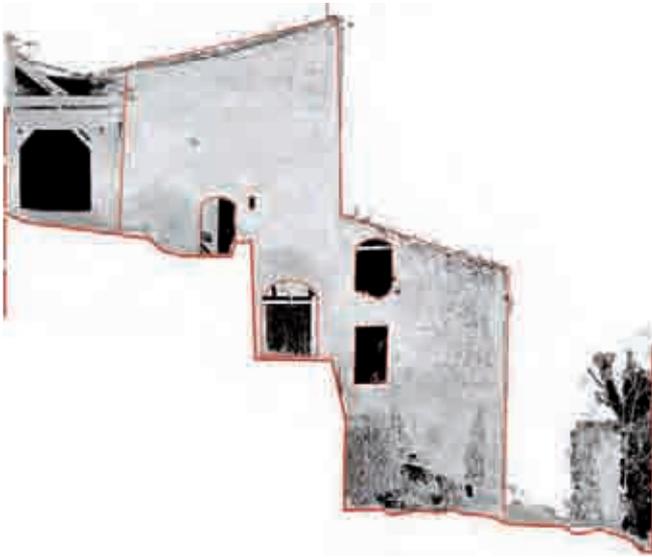
ambientali seguendo l'andamento dei vicoli interni agli ambiti, individuando così sia lo sviluppo dei piani stradali sia la composizione dei fronti sui quali si affacciano, permettendo il controllo altimetrico dello spazio urbano ed i relativi rapporti volumetrici nello *skyline* di ogni sezione. Gli elaborati grafici relativi alle sezioni ambientali sono stati restituiti in scala 1:200, ridisegnati secondo la lucidatura CAD dei profili stradali sezionati, del contorno degli edifici, e delle bucatore presenti su tutti i fronti. È stato così realizzato un trattamento a "fil di ferro" dei prospetti presenti nella sezione specifica che, sovrapposto alla *orthoimage* creata con il software *Leica Cyclone* e dalla quale è stata lucidata la relativa sezione, offre una possibilità di schematizzazione grafica del sistema compositivo dei fronti in relazione alla posizione delle aperture, consentendo anche una prima valutazione di vulnerabilità sismica relativa agli aggregati in riferimento allo spessore ed alla continuità dei maschi murari individuati sui principali prospetti, oltre che a documentare esternamente lo stato di fatto dal punto di vista metrico dei vari aggregati urbani.



In questa immagine ed in quelle della pagina successiva: la nuvola di punti di Acciano Capoluogo sezionata da un piano verticale per la realizzazione delle sezioni ambientali.



*Nelle successive pagine alcuni esempi di sezioni del centro storico di Acciano Capoluogo qui visualizzate grazie all'estrazione di Orthoimage dalla nuvola di punti secondo i piani di taglio inseriti lungo i profili stradali dei vicoli e trattate con un ripasso a fil di ferro del piano stradale, dei profili degli edifici prospicienti e delle aperture.*



Sezione AA'



Sezione BB'

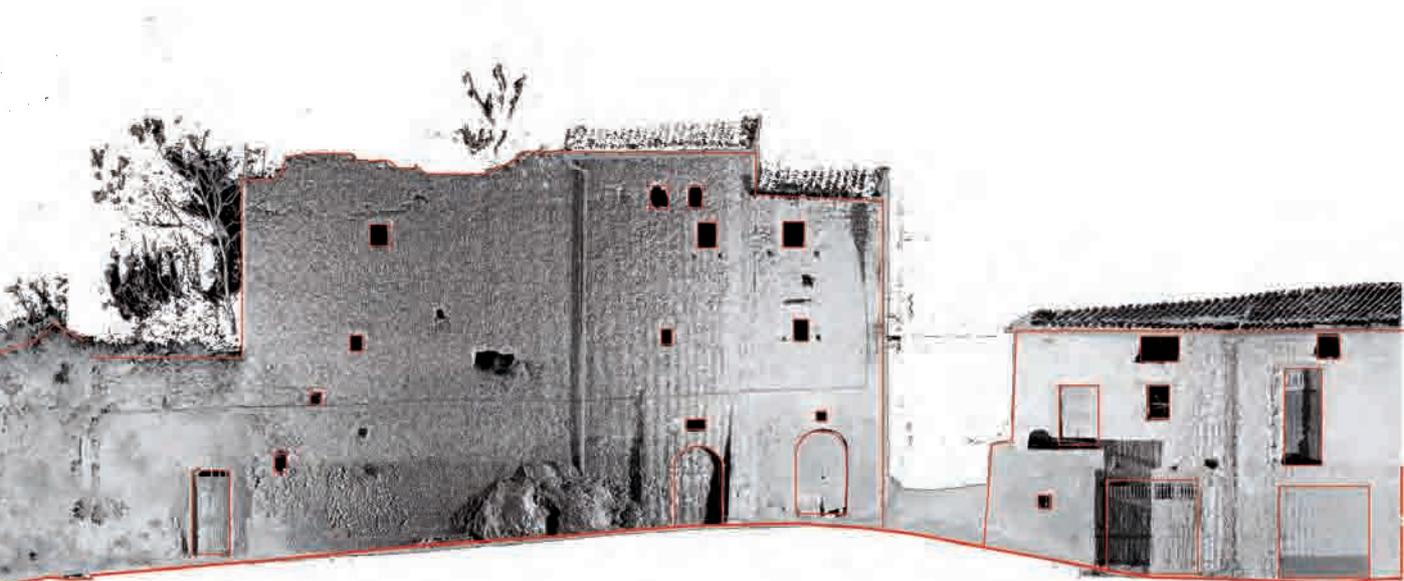
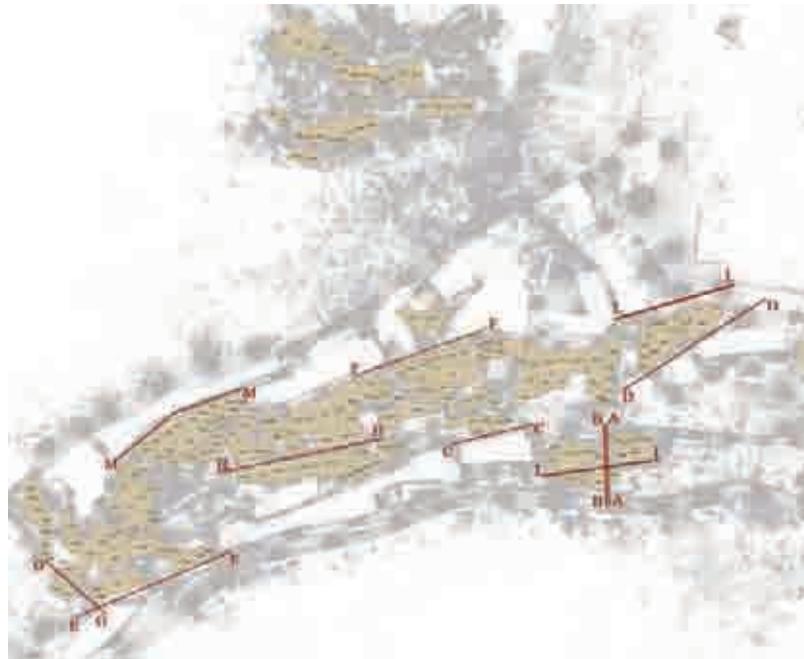


Sezione CC'

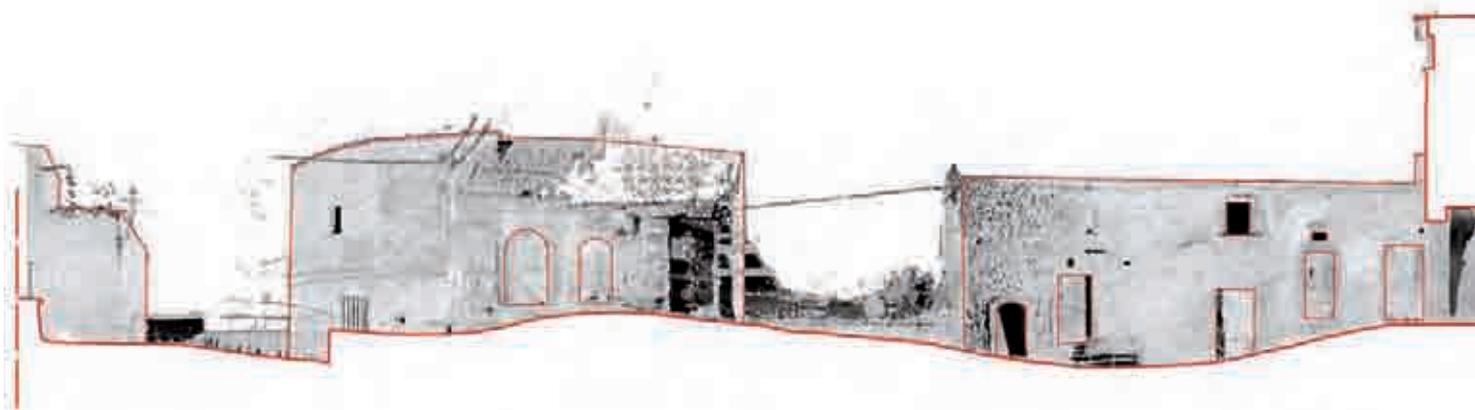
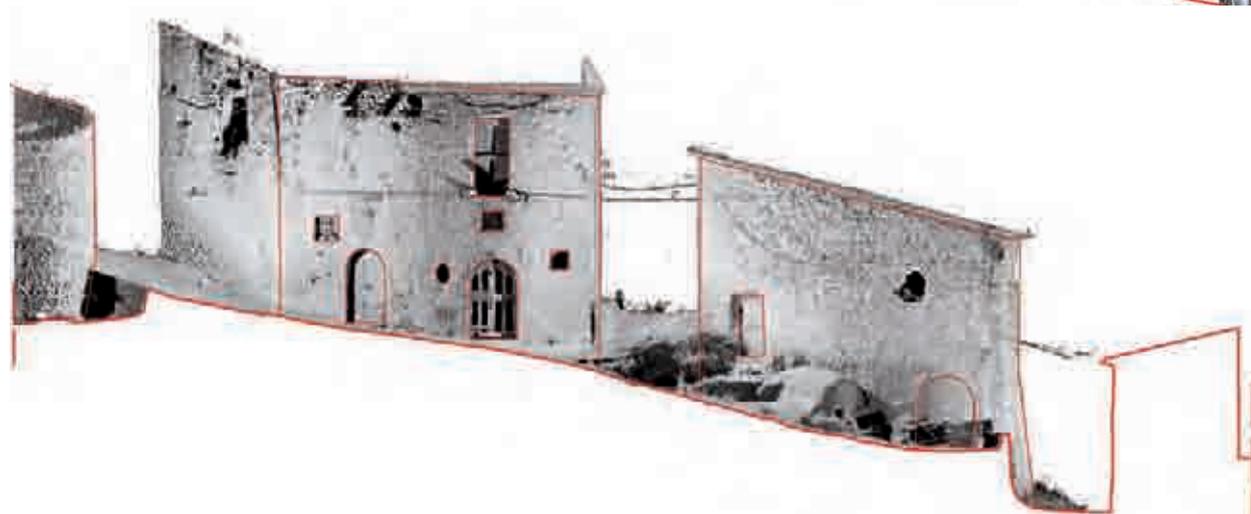


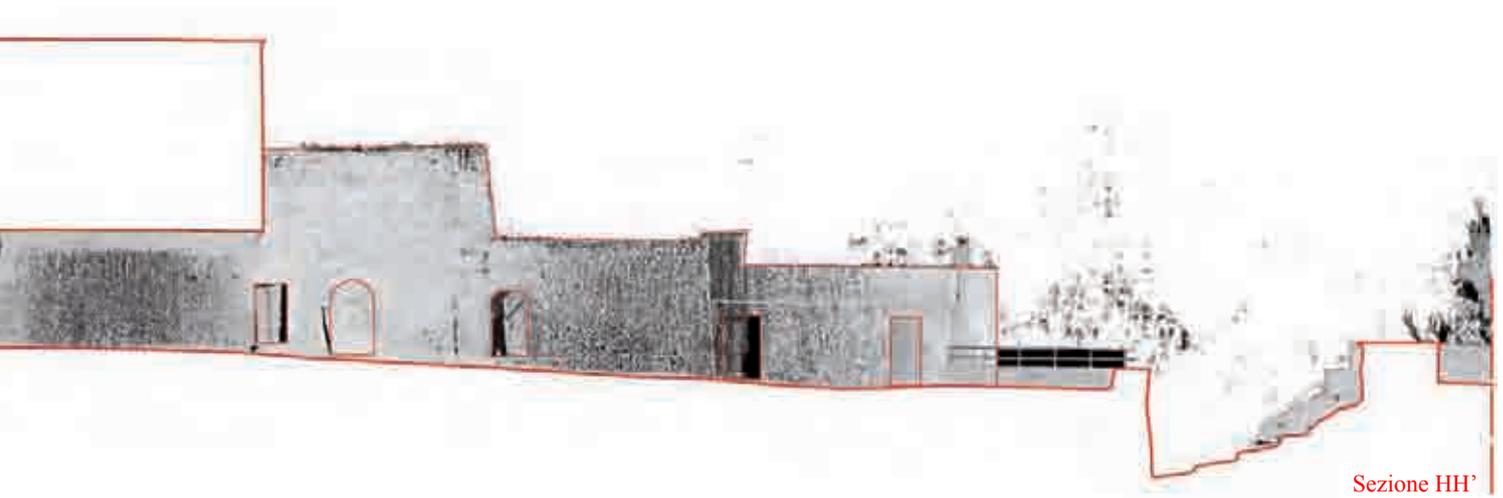


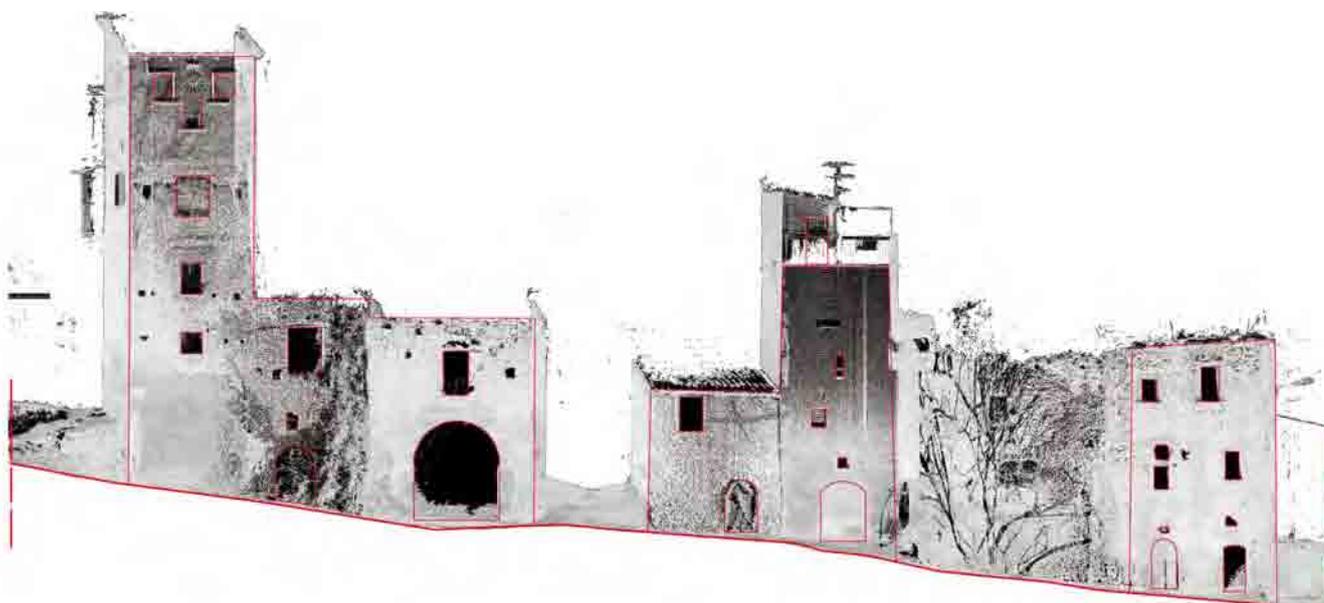
Sezione DD'



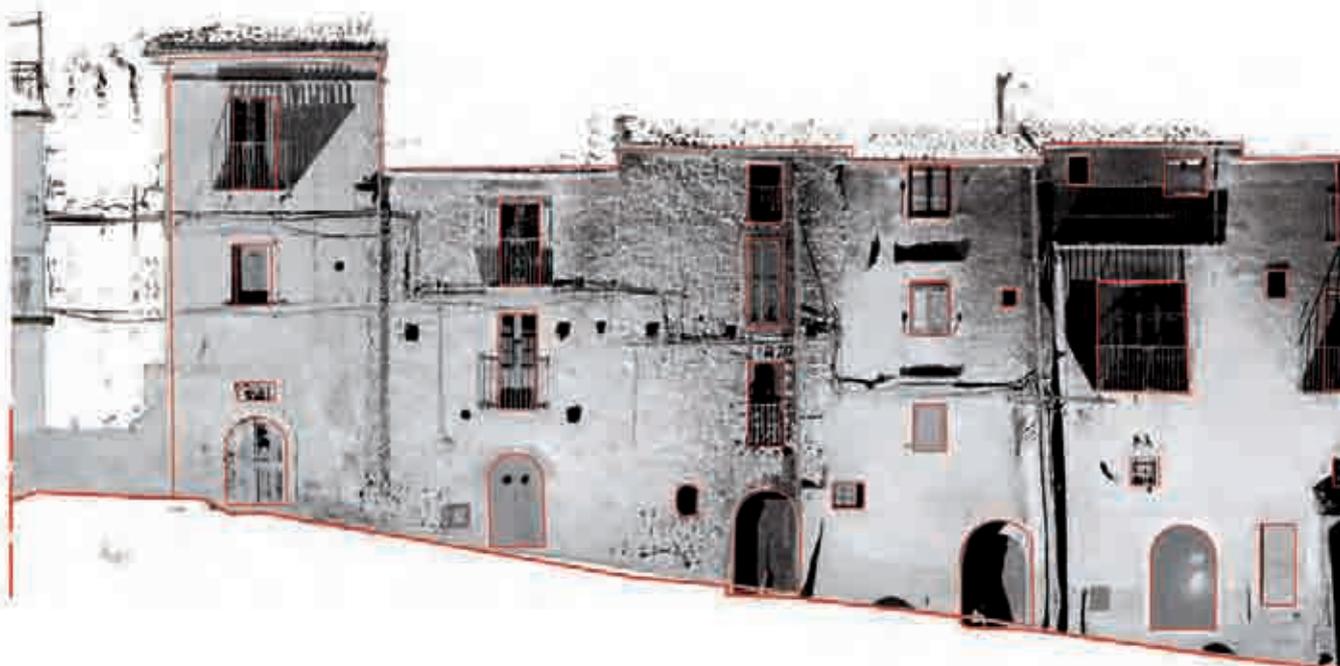
Sezione EE'

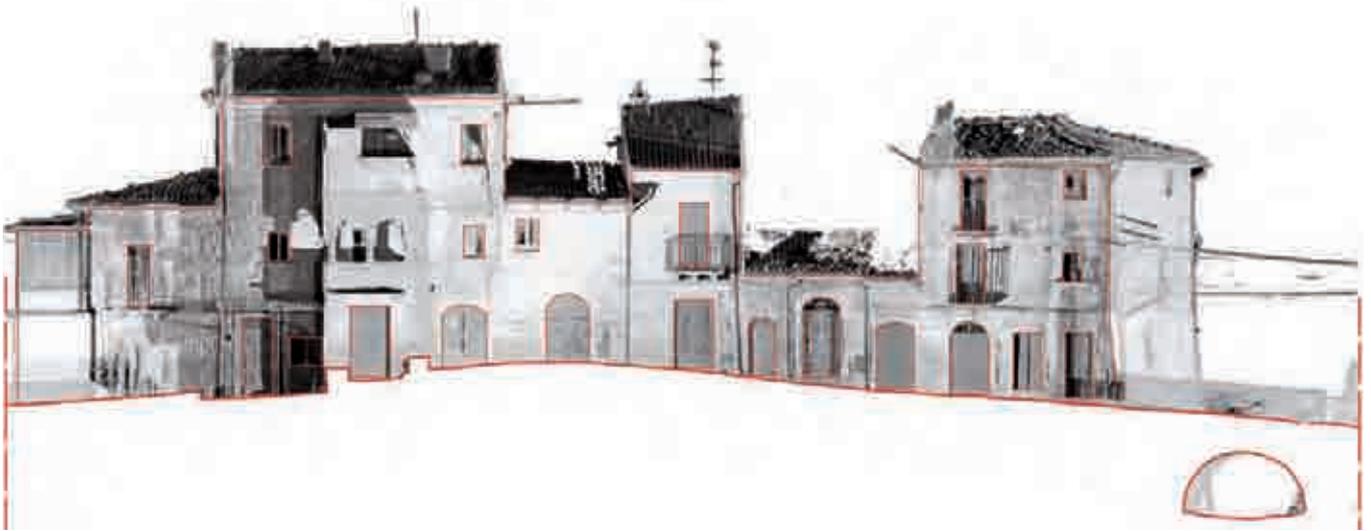




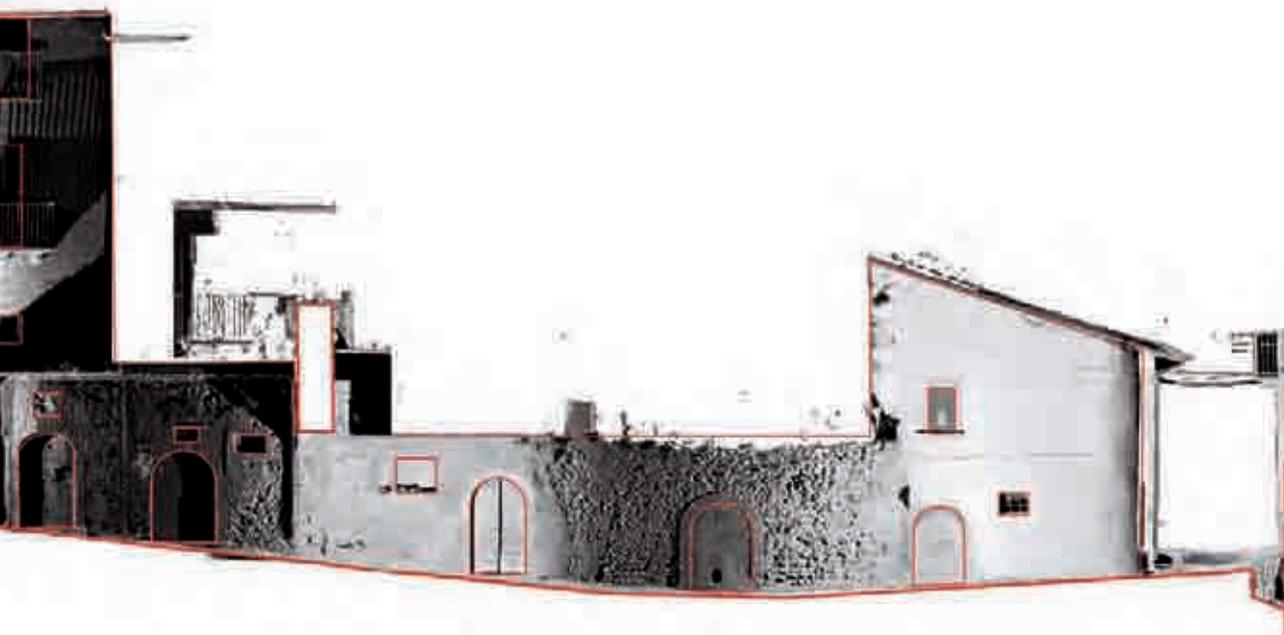


Sezione II'





Sezione LL'



Sezione MM'

### 4.3 RILEVAMENTO DATI QUALITATIVI: SCHEDATURA DELLE SINGOLE UNITÀ EDILIZIE E GIS

L'utilizzo delle tecnologie di acquisizione ed elaborazione dati precedentemente descritte ha costituito una efficace base di dati metrici e qualitativi di supporto alla banca dati contestualmente costituita dalla schedatura delle unità edilizie (U.E.) e delle aree aperte costituenti i comparti urbani. Lo strumento digitale che si viene creando risulta così essenziale non soltanto alla possibile strutturazione del Piano di Ricostruzione ma anche al monitoraggio futuro dei complessi edilizi e dei centri storici documentati.

Il sistema delle conoscenze che ha costituito la base fondativa per l'individuazione delle possibili invarianti strutturali che hanno guidato la stesura del Piano di Ricostruzione è integrato dalla documentazione dettagliata di tutte le unità edilizie individuate all'interno degli aggregati e rappresentata dalla scheda di U.E..

Tali schede, costituite da planimetrie, disegni, schizzi, fotografie oltre che dai dati tecnici di rilievo, riportano la descrizione delle caratteristiche tipologiche degli edifici, oltre che delle principali caratteristiche tecnologiche delle strutture verticali, degli orizzontamenti e delle aperture, giungendo infine alla documentazione dei principali elementi architettonici e decorativi qualora presenti. Il sistema delle conoscenze sopra descritto costituisce infatti la base documentaria per la stesura delle Norme Tecniche di Attuazione di Piano ed ha consentito la strutturazione e la gradazione degli interventi ammissibili per ciascuna unità edilizia appartenenti agli aggregati. La schedatura dei fabbricati ha costituito inoltre il supporto documentario per le valutazioni del Quadro Tecnico Economico allegato al Piano di Ricostruzione.

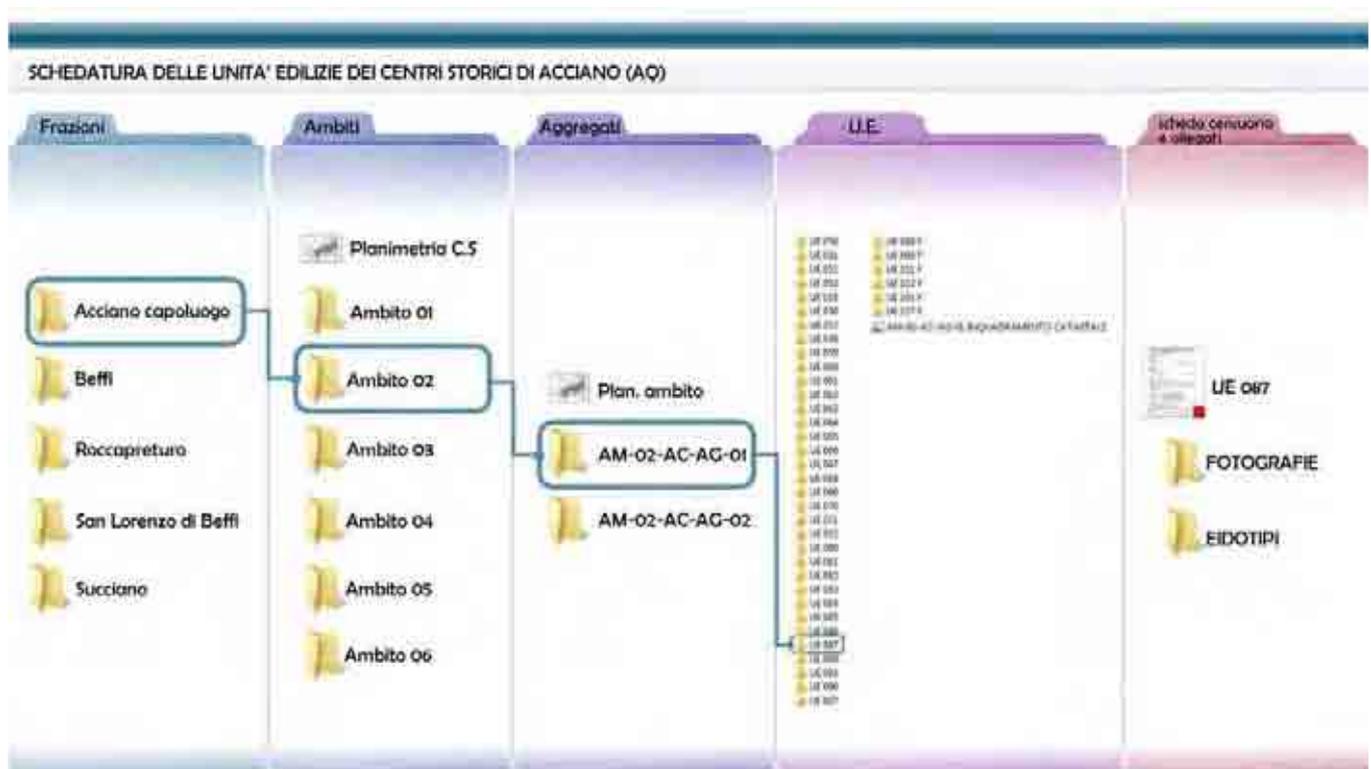


*Nelle figure a destra: viene visualizzato il processo di suddivisione in unità edilizie, dall'individuazione dell'aggregato diviso in particelle catastali, alla comprensione delle volumetrie di queste grazie ad un rilievo a vista, per giungere infine alla definizione delle singole unità che compongono l'aggregato e che vengono nominate secondo un codice alfanumerico per il relativo collegamento dei dati a loro riferiti e contenuti nel data base.*

#### 4.3.1 La costruzione della scheda di rilevamento e la scelta dei descrittori

Il rilevamento dei centri storici, nella specifica applicazione che investe la catalogazione di tutti quegli elementi che vanno a costituire ed a descrivere la forma urbana attuale, pone delle problematiche complesse e molto articolate. Nella definizione di una struttura di catalogazione, durante la selezione dei descrittori tesi a individuare sinteticamente il carattere dell'edificio, concorrono direttamente alcune gerarchie di valori che la società ritiene prioritarie per governare i rapporti tra città ed emergenza architettonica, tra il fenomeno edilizio e il singolo individuo che in esso svolge la propria attività. Una struttura, per sua definizione, necessita di regole che ne connotino a pieno una coesione interna ed è finalizzata a ricondurre fenomeni di tipo diverso a forme omogenee e quindi paragonabili.

Partendo dalla constatazione che una struttura così concepita rappresenta un modello costruito secondo operazioni di discretizzazione e di codifica che, in funzione di un ben determinato punto di vista, permettano di uniformare fenomeni architettonici diversi, appare opportuno, prima di iniziare a definire un sistema censuario, definire gli ambiti omogenei che possono essere individuati nel tessuto urbano relazionandoli con il punto di vista con il quale vogliamo eseguirne la catalogazione. A tale scopo occorre tener conto che nelle operazioni di definizione di tali unità, in particolare quando si prendono in considerazione piccoli centri urbani di interesse storico, convivono simultaneamente analisi e letture a diverse scale di rappresentazione, che coinvolgono sia le singole emergenze architettoniche, isolate o inserite nel tessuto urbano, che la loro organizzazione spaziale rispetto alle infrastrutture.



La struttura della banca dati relativa alla schedatura delle unità edilizie. Secondo tale strutturazione, è possibile consultare e aggiornare in modo rapido la scheda censuaria di analisi, le fotografie e gli eidotipi dei fronti di ogni singola unità edilizia localizzata nelle sottocartelle relative all'aggregato, l'ambito e la frazione comunale di appartenenza.



*Il contenuto delle cartelle allegate alla scheda censuaria di analisi all'interno della banca dati e relativo alle fotografie ed agli eidotipi dei fronti di ogni unità edilizia.*

Risulta quindi evidente che nell'ottica della comprensione delle ragioni che determinano la scelta di una struttura che riconduca la forma di un centro urbano ad una sommatoria di dati di specifiche caratteristiche vi è un rimando continuo tra le aspettative a cui tale operazione deve rispondere e la definizione della sua coerenza interna.

Nella realizzazione della schedatura di un centro storico si possono enucleare in genere i seguenti ambiti di valori/aspettative: la necessità di comprendere i rapporti tra singolo fenomeno edilizio e tessuto urbano; la necessità di definire le caratteristiche dei singoli fenomeni edilizi; la necessità di inquadrare l'uso attuale e le attività svolte all'interno del tessuto urbano. E' stato quindi necessario strutturare un sistema di gestione dei dati e di archiviazione delle informazioni che ha previsto, secondo vari ambiti definiti da descrittori, la discretizzazione progressiva del tessuto urbano, inteso come insieme costituito dell'edificato e degli spazi aperti, in maniera da esplicitare il sistema delle relazioni specifiche che in un determinato centro storico si svolgono.

Si è ottenuta una struttura censuaria che da una parte è in grado di descrivere la realtà contemporanea di quel determinato centro storico, descrivendone le manifestazioni alle varie scale dei fenomeni presenti nel tessuto urbano, e dall'altra è in grado di sintetizzare le caratteristiche peculiari dello stesso centro abitato, riuscendo ad analizzare il complesso delle relazioni che intercorrono tra i singoli fenomeni compresenti al suo interno.

Idea portante del progetto è la possibilità di indagare tutte le caratteristiche che vanno a costituire l'immagine urbana e l'insieme dei rapporti che esistono tra il singolo fabbricato e il contesto urbano che lo circonda al fine del risarcimento, per quanto possibile, delle ferite inferte dal sisma. Nello specifico è stato strutturato un sistema di archiviazione georeferenziato che relaziona i vari sistemi gerarchici individuati all'interno della struttura urbana alla gestione ed alle funzioni di ricerca dei dati censiti, operazione permessa mediante lo sfruttamento delle ampie possibilità offerte dalle applicazioni GIS.



PIANO DI RICOSTRUZIONE - Comune di Acciano (AQ)  
SCHEDATURA UNITA' EDILIZIE

**12 - Analisi facature e infissi**

**12.1 - Geometria delle bucatore**

	N	S	O	E
Quadrata	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rettangolare con sviluppo verticale	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Rettangolare con sviluppo orizzontale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Con arco	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Irregolare	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Altro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**12.2 - Decorazioni e modanature sulla bucatore**

	N	S	O	E
Avanzate modanate	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Presenza di cornice stuccata in rilievo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Presenza di cornice in blocchi lapidei squadrati	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**12.3 - Tipologia infisso**

	N	S	O	E
Non presente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A battenti unico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A due battenti	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
A tre battenti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**12.4 - Tipologia specchiatura**

	N	S	O	E
Tradizionale	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Vetro camera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pellicole trasparenti (oleofan, pvc, ecc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**12.5 - Materiale infissi**

	N	S	O	E
Legno grezzo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Legno verniciato	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Aluminio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PVC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**12.6 - Tipologia chiusura esterna**

	N	S	O	E
Suoli	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Persiane	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Persiane con gelosia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Persiane scorrevole su lamiere esterne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tappezzielle avvolgibili	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Veneziana	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zanzariere fissa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

**12.7 - Inferriate finestre**

	N	S	O	E
Con maglie rettilinee regolari	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Con maglie rettilinee e decorazioni	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aggettanti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Con ornamenti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**13 - Analisi porte e portoni**

**13.1 - Geometria della bucatore**

	N	S	O	E
Rettangolare	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rettangolare con arco	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Irregolare	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**13.2 - Decorazioni e modanature sulla bucatore**

	N	S	O	E
Presenza di soglie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Presenza di cornice stuccata in rilievo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Presenza di cornice in blocchi lapidei squadrati	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Presenza di paraste	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chivve d'arco di legno	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**13.3 - Tipologia infisso**

	N	S	O	E
Non presenti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ad ante unica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A due ante	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
A tre ante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ad ante disuguali	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**13.4 - Presenza di specchiatura**

	N	S	O	E
Tradizionale	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Vetro camera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pellicole trasparenti (oleofan, pvc, ecc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**13.5 - Materiale infissi**

	N	S	O	E
Legno	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Metallo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Altro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**13.6 - Presenza di:**

	N	S	O	E
Sopraluce	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zoccolature	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Con battenti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Università degli studi di Firenze - facoltà di architettura  
Dip. di Architettura - Disegno, Storia, Progetto - referente: S. Bartocci  
Pagina 2/9

PIANO DI RICOSTRUZIONE - Comune di Acciano (AQ)  
SCHEDATURA UNITA' EDILIZIE

**13.7 - Roste dei sopraluce:**

	N	S	O	E
A maglia quadrata	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A maglia romboidale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A disposizione radiale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A disposizione radiale con ornamenti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A disposizione rettangolare con ornamenti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A disposizione rettangolare senza ornamenti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**14 - Analisi strutture in aggetto (terrazze e balconi)**

**14.1 - Strutture in aggetto:**

	N	S	O	E
Presenza di terrazze	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Presenza di balconi	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

**14.2 - Parapetto di balconi e terrazze:**

	N	S	O	E
Lineare	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bombata	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ornati con motivi particolari	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**14.3 - Tipo di materiale del parapetto:**

	N	S	O	E
Pietra	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
In muratura	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ringhiera in metallo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**15 - Analisi strutture in aggetto (scale)**

**15.1 - Strutture in aggetto:**

	N	S	O	E
Presenza di scale esterne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Numero gradini	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**15.2 - Analisi strutture in aggetto (tettoie)**

	N	S	O	E
Tradizionali	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Non tradizionali	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**16 - Analisi della struttura**

**16.1 Tipologia struttura**

	N	S	O	E
Lignea ammassata	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lignea	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Metallica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**16.2 Materiale manto**

	N	S	O	E
Laterizio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lastre lapidee	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cemento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rame	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Acciaio zincato	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eternit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**17 - Presenza in facciata di elementi particolari**

**17.1 Presenza in facciata di elementi in pietra**

	N	S	O	E
Cornicioni	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cornici	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mensole in pietra a sostegno dei balconi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Poggiatesta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Basamento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Portici	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Capitelli	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tabernacoli	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Architravi particolari	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**17.2 Presenza in facciata di strutture metalliche**

	N	S	O	E
Ringhiere	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Inferriate	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Corrimano	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Canne fumarie esterne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chiodi catene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Canoccioli	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pluviali	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Grondale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tubazioni	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Università degli studi di Firenze - facoltà di architettura  
Dip. di Architettura - Disegno, Storia, Progetto - referente: S. Bartocci  
Pagina 4/9

Gli eidotipi realizzati dimostrano come attraverso un rilievo a vista dell'edificio, oggetto di analisi, sia possibile mettere in evidenza i dati necessari per la definizione delle caratteristiche principali del manufatto stesso; nel caso del censimento dei centri storici di Acciano, sono stati sottolineati:

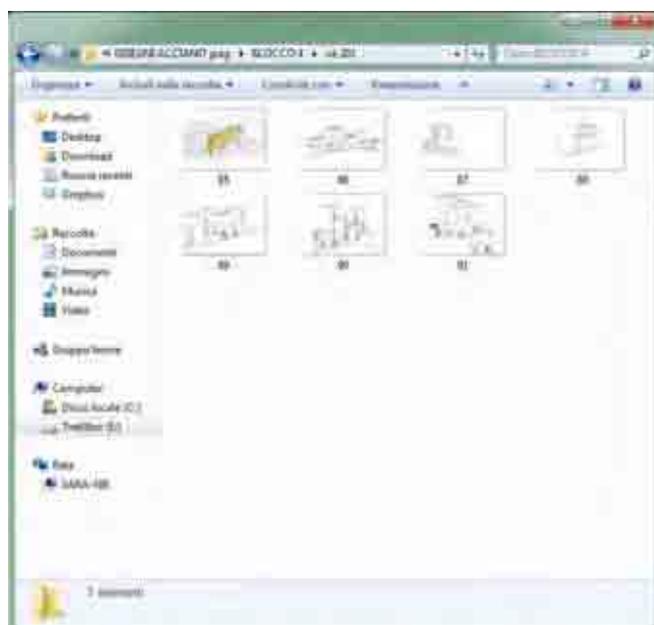
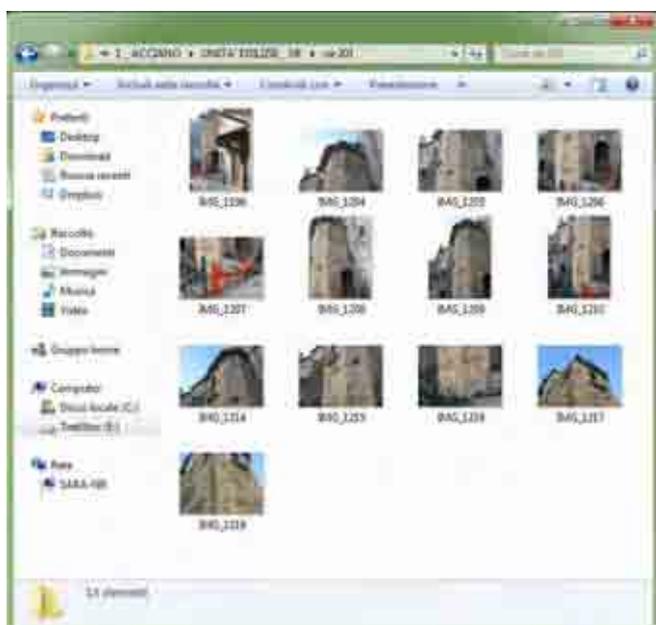
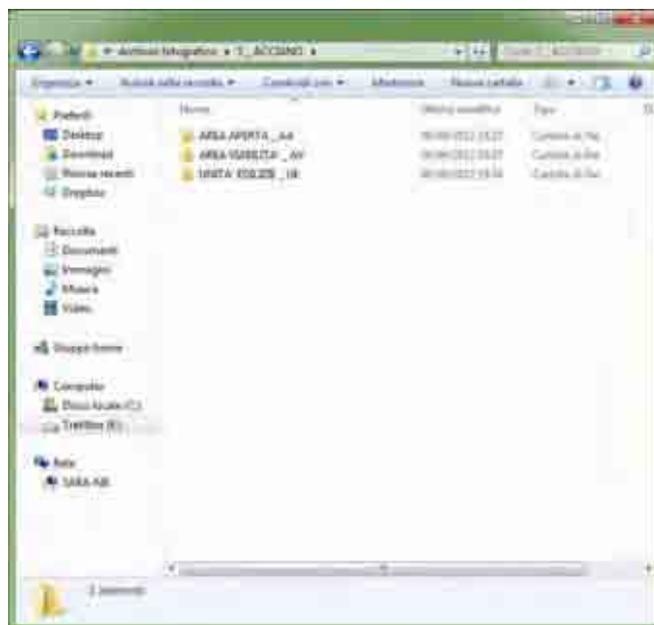
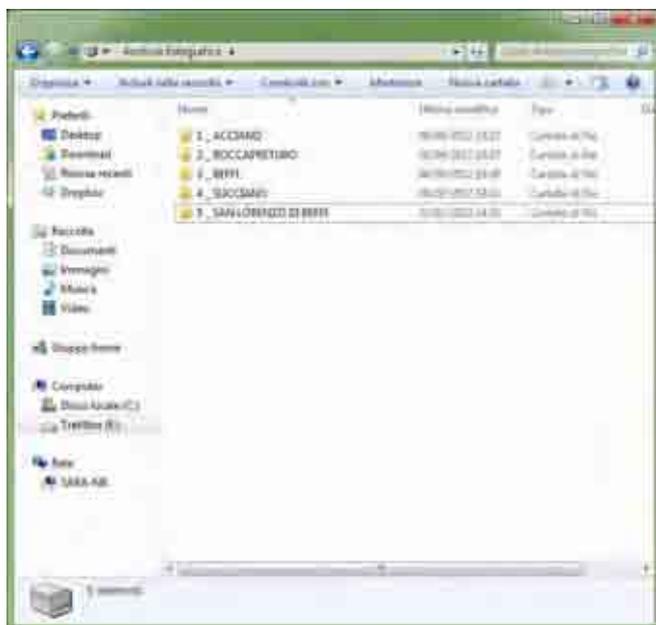
- finitura dell'edificio e geometria delle bucatore;
- stato di conservazione;
- impianti e toponomastica.

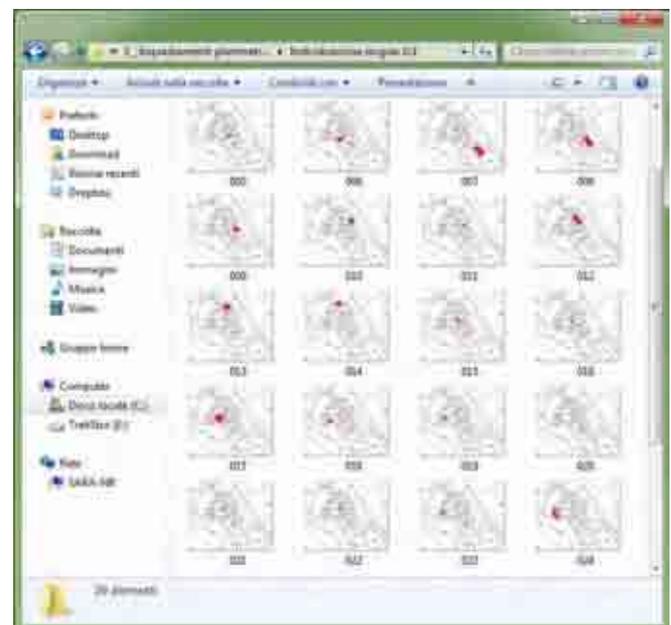
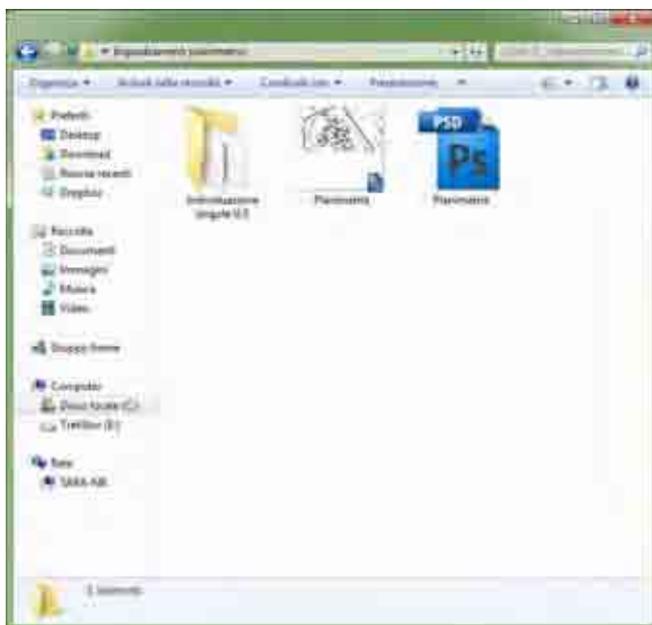
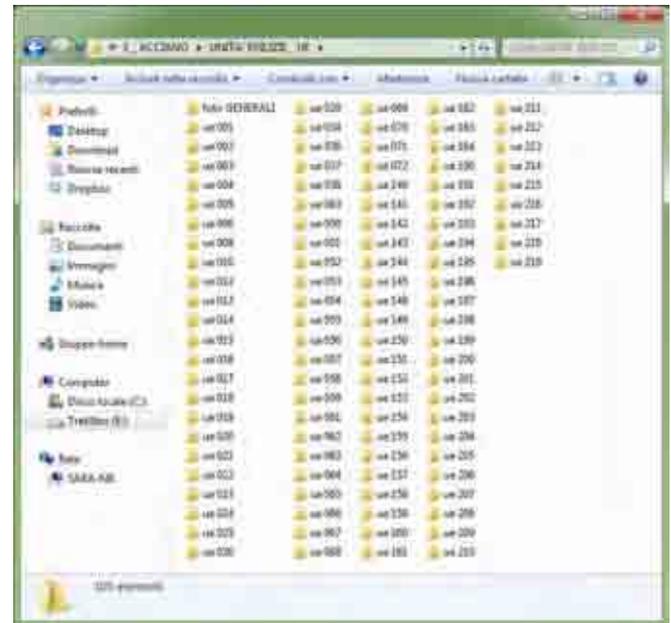
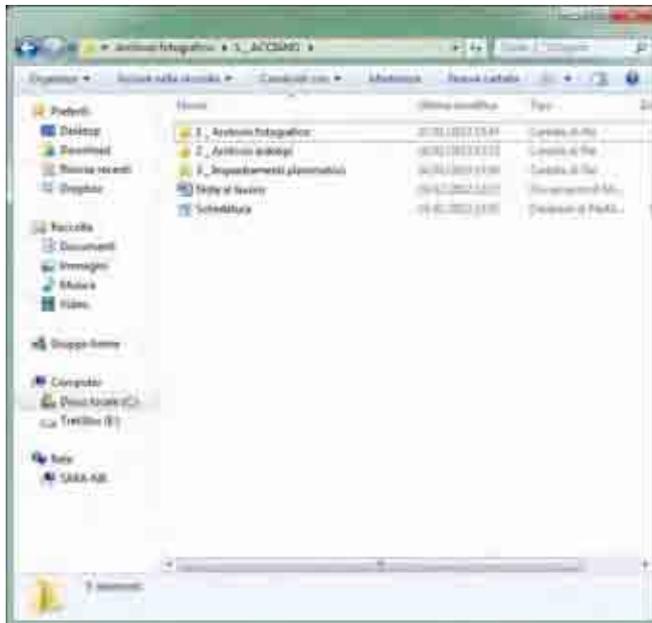
La schedatura dei centri storici ha lo scopo di individuare e organizzare in modo organico le notizie relative a ciascun immobile.



Grazie alla realizzazione di eidotipi di studio è stato possibile effettuare delle ulteriori analisi sia sul posto che durante la fase di post produzione riportando i dati direttamente sui disegni. Per i fronti sopra illustrati, infatti, sono state fissate e riportate le analisi su: finiture e bucatore (primo eidotipo), stato di conservazione







Per questo scopo ad ogni unità edilizia viene assegnato un codice di archiviazione alfanumerico, grazie al quale i materiali raccolti e/o prodotti corrispondono univocamente ad un elemento del sistema censuario. Lo stesso codice viene usato per nominare l'elemento geometrico corrispondente a quella unità edilizia in cartografia, per poter quindi realizzare carte tematiche sulla base dei descrittori della scheda grazie ad applicazioni GIS.



*Nelle immagini qui sopra: riportate alcuni esempi di fotografie dedicate alla descrizione delle unità edilizie. Per la realizzazione di un'ampia documentazione digitale sono state realizzate fotografie non solo generali (campi e controcampi) ma anche di dettaglio su aperture, decorazioni, elementi particolari.*

*Nella pagina successiva: alcuni esempi di eidotipi di rilievo a vista relativi ai fronti di alcune unità edilizie.*

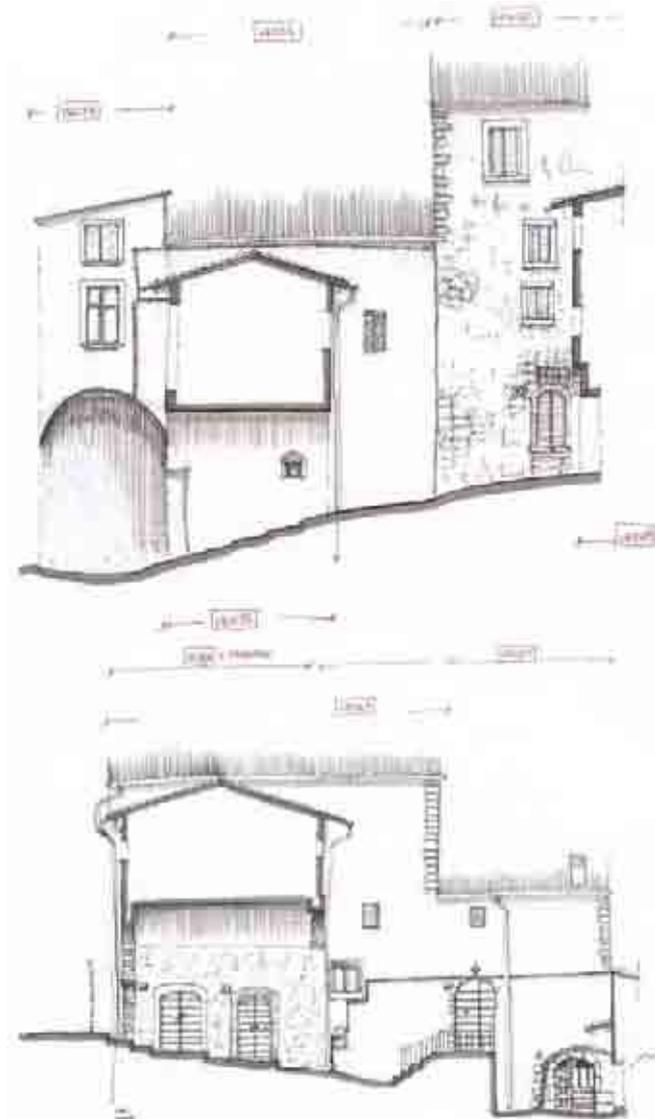
*Nelle pagine successive: un esempio di analisi specifica su alcuni elementi architettonici quali porte di ingresso delle unità edilizie, fotografate e disegnate secondo un rilievo a vista e sezioni ambientali disegnate a mano.*

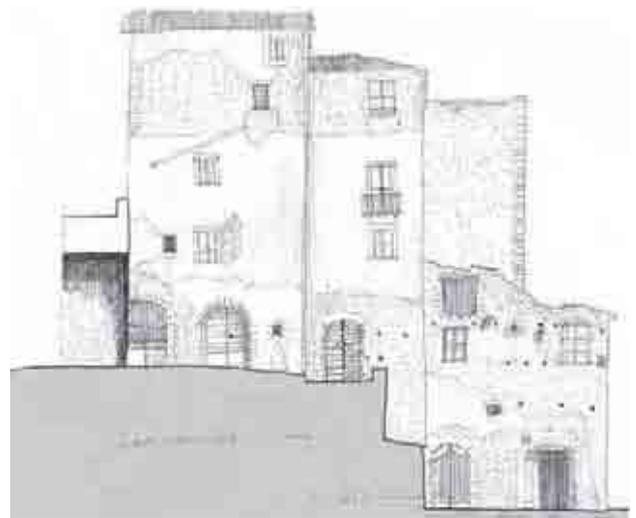
La scheda tipo di una unità edilizia (U.E.) realizzata per questo censimento è caratterizzata dalle seguenti parti:

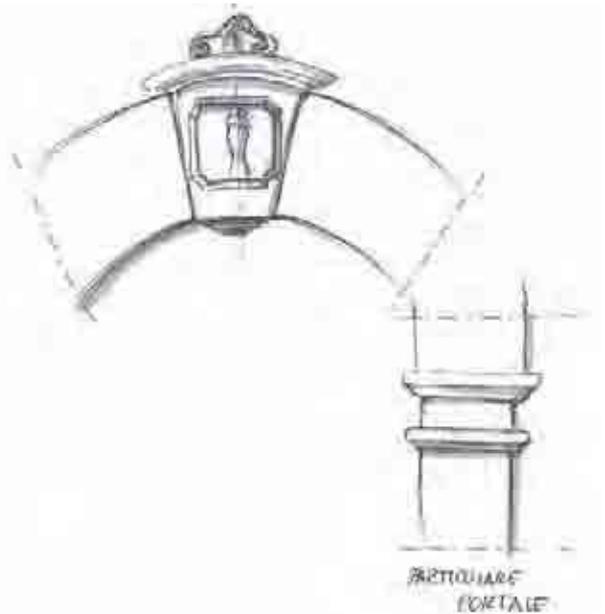
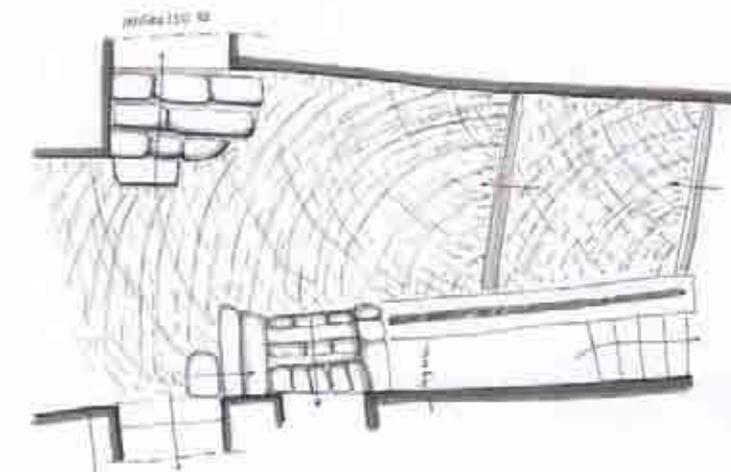
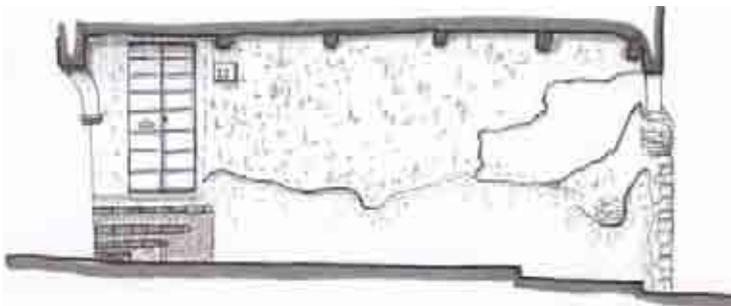
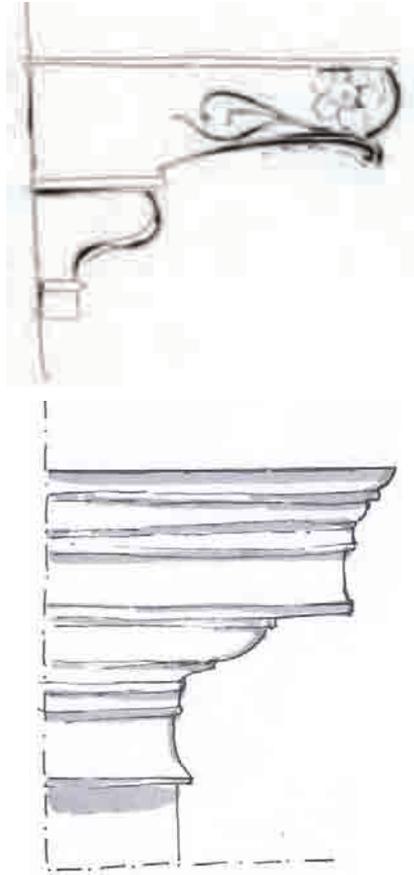
- dati generali relativi alla localizzazione dell'immobile, individuazione delle proprietà attraverso particella catastale, ed eventuale datazione dell'immobile (presunta o documentata), numero civico, numero unità immobiliare e destinazione d'uso catastale;
- aspetti tipologici generali relativi alla geometria dell'edificio, numero fronti, individuazione della tipologia architettonica, distribuzione volumetrica, descrizione delle

coperture e definizione della significatività architettonica;

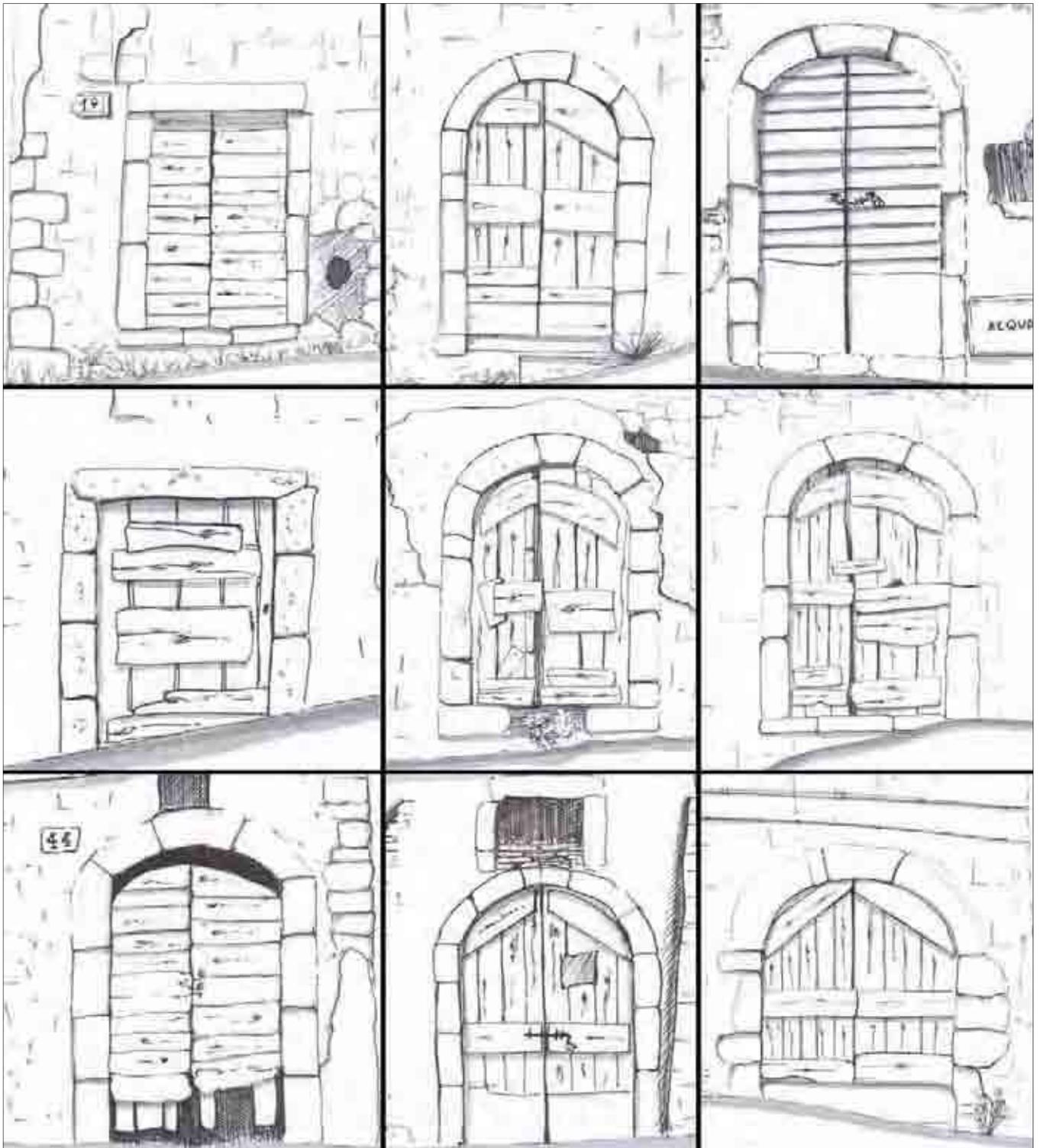
- individuazione delle destinazioni d'uso per piani e descrizione dell'immobile attraverso l'analisi delle funzioni allocate (es. comprensione del sistema dei piani terra, seminterrati, livelli superiori);
- analisi fisica esterna con la descrizione di ciascun fronte (fronte principale, secondario, tergale, interno ed eventuale corte, loggiato, ecc.);
- descrizione degli impianti;
- analisi del degrado e dello stato di conservazione delle varie componenti dell'unità edilizia.











#### 4.3.3 *L'analisi degli spazi pubblici e delle aree aperte*

Ai fini della completezza delle indagini e del quadro conoscitivo è stata realizzata anche l'analisi delle caratteristiche generali delle aree aperte accessibili (pubbliche e private, pavimentate, verdi, ecc.) individuando le diverse reti viarie (classificate come viabilità carrabile principale, secondaria, pedonale, ecc.) attraverso la descrizione dei caratteri distintivi principali.

Tale analisi ha previsto la realizzazione di una apposita cartografia che registra, allo stato attuale, tutti i dati precedentemente citati e sono state di supporto per la definizione delle Norme Tecniche di Attuazione, hanno costituito inoltre il riferimento documentario per le valutazioni del Quadro Tecnico Economico allegato al Piano di Ricostruzione.

È in questa fase della documentazione che vengono individuati gli elementi di dettaglio che fanno parte del





Abaco dell'arredo urbano del centro storico di Acciano Capoluogo.

Nella pagina precedente: una Tavola della cartografia del Piano di Ricostruzione dedicata alla localizzazione delle tipologie di pavimentazione del sistema viario del centro storico di Acciano Capoluogo, con individuazione delle aree verdi. (Tav. 8a Caratterizzazione delle superfici pavimentate).



Abaco delle pavimentazioni che caratterizzano il sistema viario del centro storico di Acciano Capoluogo.

centro storico e delle attività ad esso connesse, la creazione di un abaco degli elementi di arredo urbano presenti ha permesso l'analisi puntuale di un aspetto che concorre alla riqualificazione dell'immagine dei centri storici, con la prospettiva di prevedere una omogeneizzazione di tutti gli elementi comuni individuando le tipologie da preservare e quelle da sostituire. Anche per le pavimentazioni della rete di vicoli pedonali che attraversano l'abitato dei centri storici è stato creato un abaco delle varie tipologie

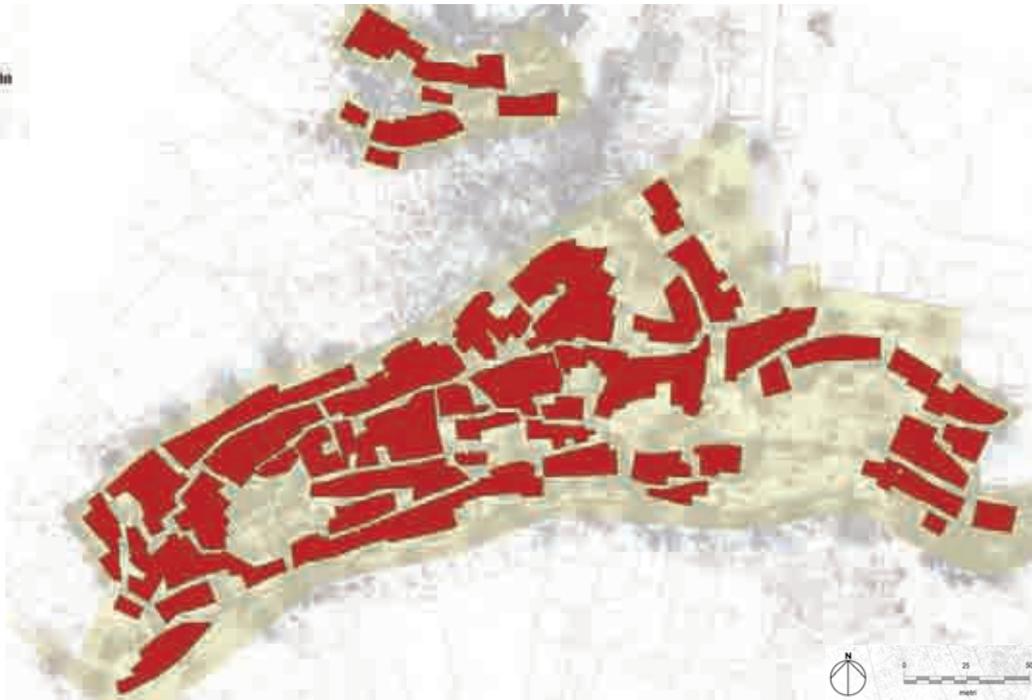
evidenziando aree in cui vada integrata o sostituita tale pavimentazione in relazione anche agli interventi previsti per l'interramento della rete elettrica e l'adeguamento dei sottoservizi.

*In queste Tavole relative ad analisi per la definizione della cartografia del Piano di Ricostruzione viene evidenziata la viabilità e il sistema delle aree verdi e degli spazi aperti interni al centro storico di Acciano Capoluogo.*



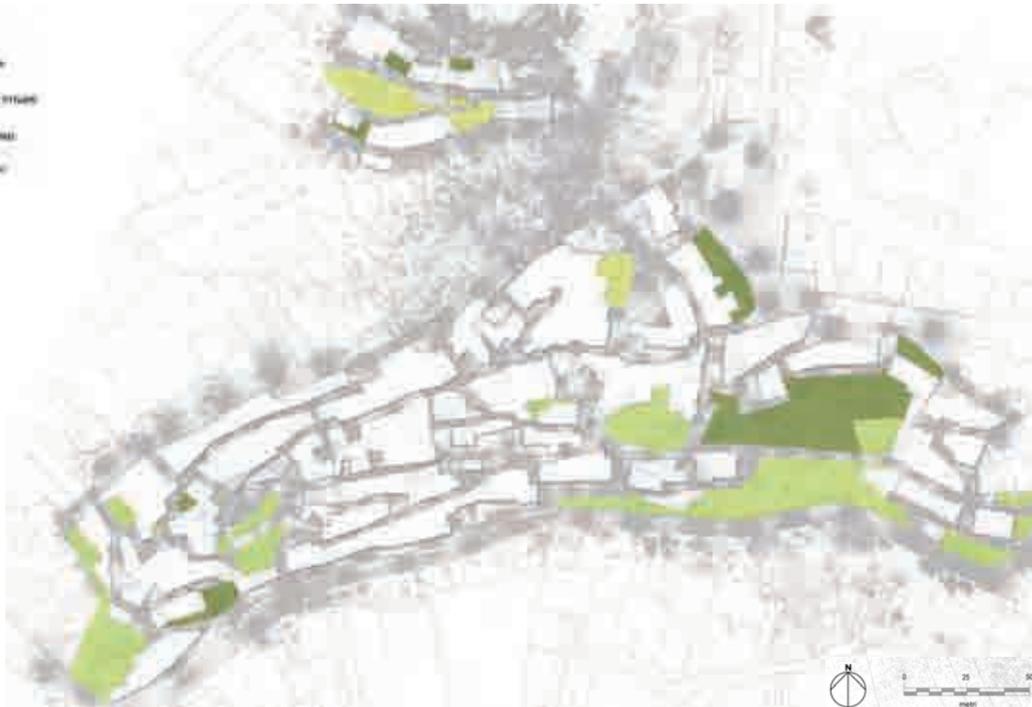
LEGENDA

- Area edificata
- Area libera



LEGENDA

- Area edificata
- Area verde irrigata
- Area verde non irrigata
- Area verde foresta

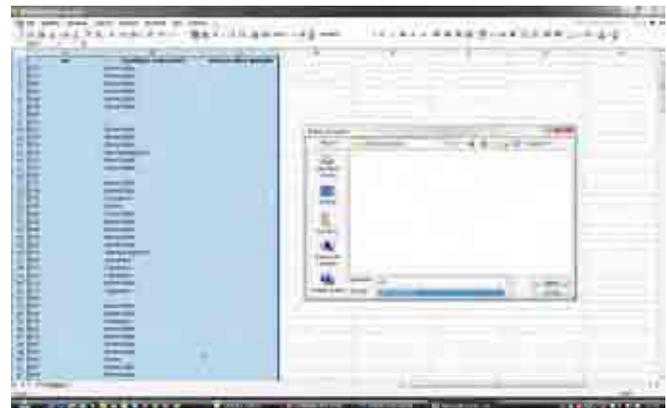
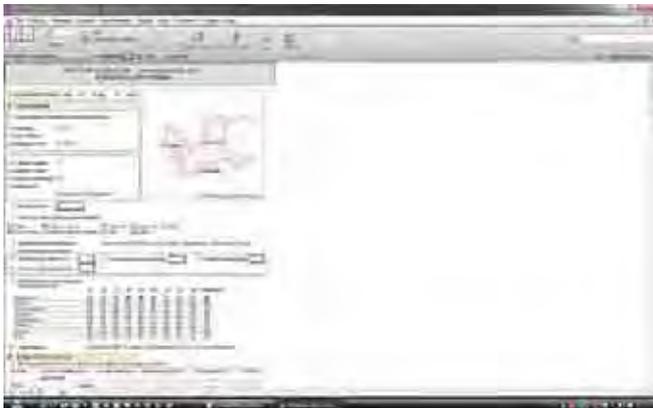


**4.3.4 Elaborazioni GIS per la gestione del quadro conoscitivo: cartografia di sintesi**

Il GIS (*Geographic Information System*) è uno strumento usato per analizzare le proprietà spaziali e le potenziali relazioni tra oggetti ed eventi, si tratta di una tecnologia composta da un insieme di funzioni per “mappare” ed analizzare le cose che accadono nello spazio e nel tempo. I sistemi GIS sono relazionati alle altre applicazioni data base, ma con un’importante differenza, tutte le informazioni immesse in un GIS sono accomunate da riferimenti spaziali. Altri data base possono contenere informazioni riferite all’ubicazione di un elemento urbano ma un data base GIS usa la georeferenziazione come principale dato di immagazzinamento e di gestione delle informazioni. La tecnologia GIS unisce i meccanismi e le operazioni dei comuni data base con l’analisi geografica e la possibilità di visualizzazione su mappe digitali interattive.

Quest’unico sistema informativo, integrato da un sistema strutturato di informazione supportato da elaborati grafici, è un valido strumento per analizzare gli eventi, prevedere le finalità e programmare le strategie. In un sistema informativo territoriale la raccolta, il trattamento e la gestione dei dati è uno degli aspetti più importanti, che, oltre a rappresentare una attività costosa in termini economici e di dispendio di energie - essendo soggetta ad una continua manutenzione e ad attività integrative di aggiornamento - può però risultare inefficace se non opportunamente strutturata con un sistema di archiviazione e di facile consultazione.

I dati tematici e quelli spaziali sono le due tipologie di elementi sulla cui associazione si basa la tecnologia GIS, il dato spaziale specifica l’ubicazione di un particolare oggetto o evento (cartografie) mentre il dato tematico fornisce una dettagliata descrizione del fenomeno (schedatura).



Mentre i cartografi hanno disegnato mappe per centinaia di anni, il GIS fornisce un modo interattivo e di immediato utilizzo al fine di comunicare informazioni geografiche utilizzando anche immagini tridimensionali, immagini fotografiche, filmati video e file audio associati agli elementi della cartografia. In altre parole, mentre una mappa cartacea fornisce un numero limitato di informazioni, il GIS digitale può dare una serie infinita di possibilità di informazioni sviluppate su più livelli di archiviazione e continuamente incrociabili e aggiornabili.

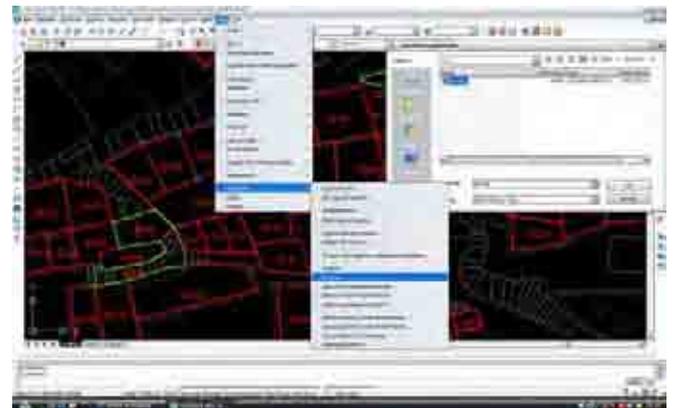
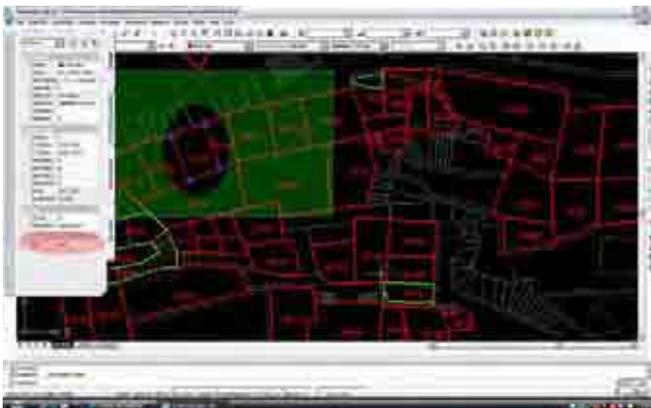
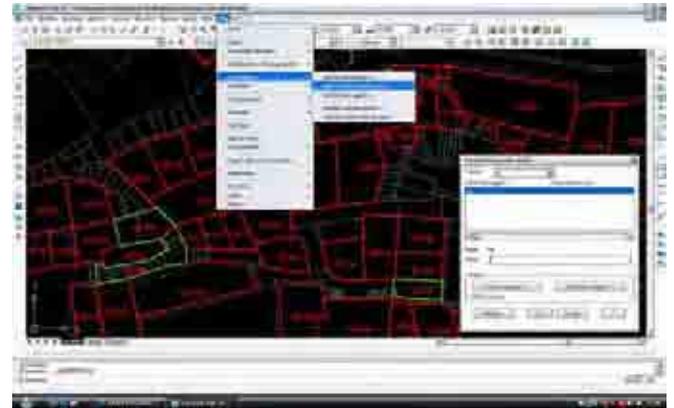
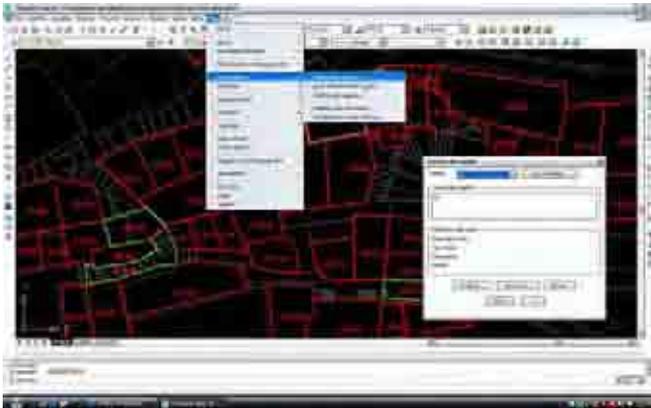
Nel caso della realizzazione degli elaborati grafici del Piano di Ricostruzione, il sistema GIS ha permesso di realizzare carte tematiche dei centri storici di Acciano che riportano, elaborazioni descrittive dei tematismi principali dedotti dalle operazioni di censimento e di rilievo delle aree edificate e delle aree aperte, su una cartografia di sintesi attiva in formato digitale, rappresentando uno strumento urbanistico con un potente livello di gestione

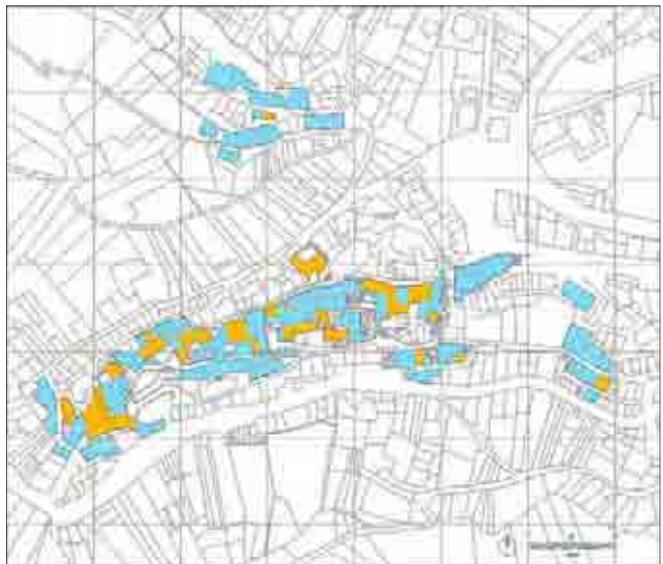
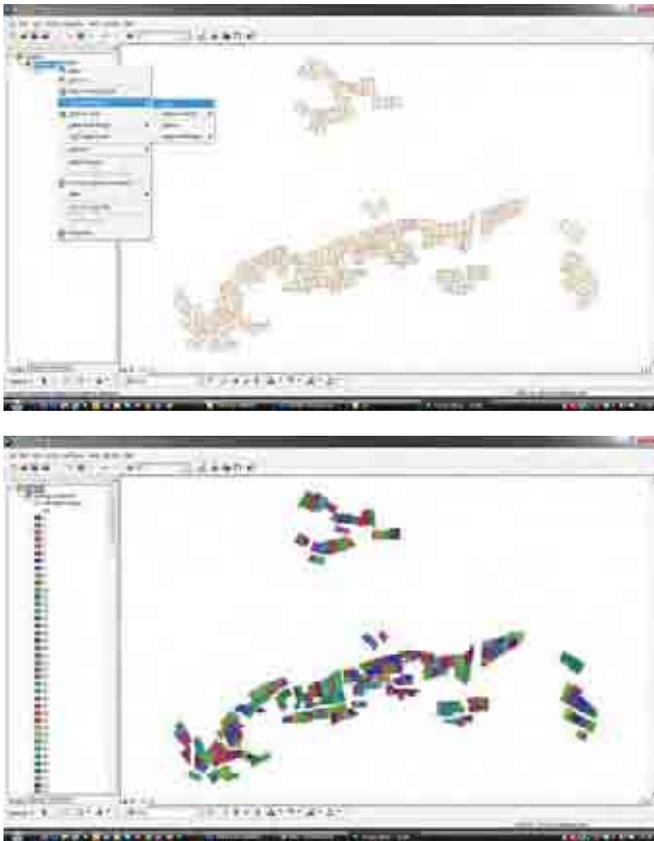
dei dati riguardanti il territorio e di grande supporto alla Struttura Tecnica Comunale.

Le carte tematiche prodotte fanno riferimento alle indicazioni che il Piano di Ricostruzione deve dare, pertanto sono state rappresentate con una codifica grafica propria degli strumenti urbanistici e garantendo una corretta corrispondenza con lo stato di fatto reale e le previsioni di intervento delle Norme Tecniche di Attuazione di Piano.

*Nella pagina precedente: gli screenshot illustrati sono relativi ai vari software ed alle varie fasi necessarie per il collegamento della banca dati relativa alla schedatura delle unità edilizie. Le immagini si riferiscono ai passaggi da effettuare per convertire i dati della schedatura in dati utili alla gestione GIS.*

*Nelle immagini qui sotto: il software Autodesk Map 3D consente di creare, gestire, analizzare, condividere carte tematiche in formato vettoriale ed importare/esportare i file .dwg in molti altri formati. In particolare, nel presente schema metodologico, permette di codificare elementi grafici e di esportare files vettoriali in GIS.*





ESRI ArcGIS Desktop è il nome utilizzato per identificare genericamente differenti prodotti software di ESRI, caratterizzati da medesime funzionalità comuni. Tra i vari software, l'applicazione ArcMap consente la gestione di dati 2D, mentre l'applicazione ArcScene gestisce i dati 3D. Tali applicazioni consentono di realizzare mappe, attribuire colori e simboli, interrogare dati geografici; in particolare consentono di unire un database (i dati della schedatura prodotta con il software FileMaker) con i file in formato vettoriale (la cartografia dwg ottenuta dal rilievo dei centri del Comune di Acciano).

Negli screenshot in alto viene illustrata l'applicazione GIS ArcMap. Questa produce file propri, contraddistinti dalle estensioni .mxd (ArcMap Document) e denominati mappe; si tratta di files di piccole dimensioni in termini di memoria, se rapportati alla quantità di dati contenuti.

Questi files contengono:

- i collegamenti ai files vettoriali e/o raster utilizzati per la realizzazione della mappa;
- tutte le informazioni riguardo alle simbologie create per la rappresentazione.

Sopra: alcuni esempi del risultato finale per la gestione della cartografia del Comune di Acciano. È possibile infatti generare tante carte tematiche, quanti sono i tematismi presenti nella schedatura (comunque sempre ampliabili, aggiungendo alla scheda nuove informazioni), e interrogare il sistema diviso a più livelli di identificazione per avere informazioni dettagliate sulle varie unità edilizie, particelle catastali o aggregati.



Una Tavola del Piano di Ricostruzione di Acciano Capolugo. (Tav. 11a - Planimetria con individuazione degli interventi sull'edilizia privata).

#### 4.4 ANALISI PER L'INDIVIDUAZIONE DEGLI ELEMENTI DI VULNERABILITÀ SISMICA DEI CENTRI STORICI DI ACCIANO

Le attività di rilievo e schedatura per la documentazione dei centri storici studiati, che hanno prodotto il supporto grafico alla stesura del Piano di Ricostruzione, sono state integrate da un livello di indagine specifico che permettesse di determinare elementi di pericolosità intrinseci alle caratteristiche dell'edificato e dei centri urbani. L'individuazione degli aspetti di vulnerabilità sismica di cui questi contesti urbani soffrono è riconducibile principalmente all'analisi delle caratteristiche geologiche, alla ricerca storica sulla ricorrenza di eventi sismici e ad una valutazione delle condizioni statiche degli edifici. Queste ultime sono determinate da vari aspetti riconoscibili principalmente nelle caratteristiche dei materiali impiegati, nelle stratificazioni architettoniche, nello stato di conservazione degli edifici e nelle tecniche costruttive che li hanno prodotti o nel tempo modificati. Come già accennato nella premessa del primo Capitolo di questo volume<sup>13</sup>, la vulnerabilità sismica consiste nella

valutazione della propensione di persone, beni o attività a subire danni al verificarsi dell'evento sismico. Essa misura da una parte la perdita o la riduzione di efficienza, dall'altra la capacità residua a svolgere e assicurare le funzioni che il sistema territoriale nel complesso normalmente esplica a regime. Nell'ottica di una analisi completa della vulnerabilità si pone il problema di individuare non solo i singoli elementi che possono collassare sotto l'impatto del sisma, ma anche di individuare e quantificare gli effetti che il loro collasso determina sul funzionamento del sistema territoriale.

La vulnerabilità sismica di un edificio è definita come quel descrittore sintetico delle caratteristiche strutturali che consente di spiegare un certo grado di danno per un dato livello di azione e può essere quindi considerata come una misura della maggiore o minore propensione dell'edificio stesso a subire danni per effetto di un terremoto di assegnate caratteristiche<sup>14</sup>.





#### 4.4.1 L'orografia

I problemi legati alla vulnerabilità dell'abitato di Acciano sono in buona parte intrinseci al territorio in cui il paese si è sviluppato. Acciano infatti si trova su uno sprone roccioso molto scosceso, serrato ai lati da due vallate. La localizzazione geografica, che risulta strategicamente molto vantaggiosa alla difesa, dal punto di vista idrogeologico crea degli svantaggi.

Le forti pendenze che contraddistinguono l'urbano creano dei problemi nella regimentazione delle acque piovane che insieme alla natura litologica del territorio potrebbero causare e innescare frane.

E' facile trovare sottopassi e canali, a volte anche saturati, che servivano per il deflusso delle acque piovane evitando le infiltrazioni nei terreni e nella cavità sottostanti.

Il massiccio accianese è di natura calcarea e presenta al suo interno numerosi ingrottamenti, sia naturali che artificiali, che si sviluppano a più livelli e che in alcuni casi sono sovrapposti fra loro. Questa particolare conformazione geologica mette in evidenza i limiti "strutturali" della collina di Acciano<sup>15</sup>. L'analisi dei litotipi deve essere associata al censimento e al rilievo delle grotte; solo successivamente ad una conoscenza morfologica e geologica del sottosuolo è possibile effettivamente valutare le problematiche geologiche connesse alla pericolosità sismica del territorio.



*Una vista panoramica del centro storico di Acciano Capoluogo nella quale si evidenziano le forti pendenze che contraddistinguono questo assetto urbano.*

#### 4.4.2 La storia sismica

Altro elemento di valutazione ai fini della comprensione della vulnerabilità sismica, può essere il “collaudo” della storia, di cui l’esistenza stessa del centro urbano ci fornisce testimonianza. Tale collaudo, tuttavia, risulta spesso insufficiente nei riguardi della prevenzione dal rischio sismico, in quanto alcune costruzioni (pur se antiche) potrebbero non essere ancora state colpite da un terremoto violento, quello che viene assunto dalle norme per valutare la sicurezza nei riguardi dello stato limite ultimo. Il terremoto con probabilità di superamento del 10% in 50 anni corrisponde ad un periodo di ritorno di

475 anni, ovvero questo è il tempo che statisticamente intercorre tra due terremoti di quella intensità; esiste tuttavia la possibilità che nella storia sismica<sup>16</sup> del sito un tale evento possa essere ritrovato anche molto più lontano nel tempo. Inoltre, occorre considerare che la capacità della struttura può essersi modificata per un effetto di accumulo del danno, dovuto a passati terremoti di minore intensità, a causa di dissesti di altra natura e per le trasformazioni che spesso interessano le costruzioni storiche. È opportuno evidenziare come, oltre a fattori di natura economica, la cultura costruttiva antisismica in un’area geografica sia influenzata dal livello di pericolosità sismica e dalla ricorrenza dei terremoti.



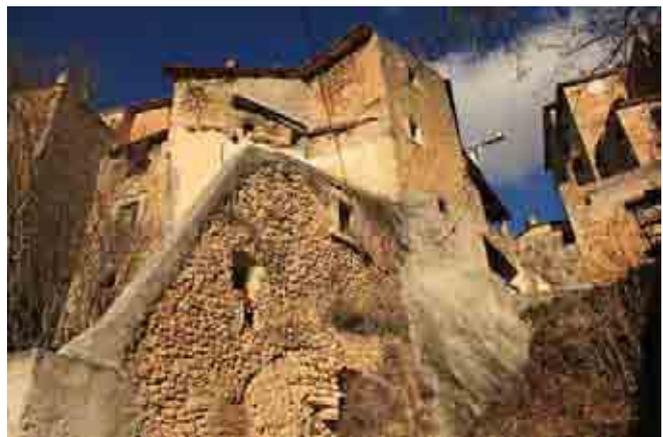
*Alcuni esempi di cantonali e catene lignee relativi alle tecniche costruttive locali.*



In aree ad alta sismicità (caratterizzate dalla possibilità di terremoti violenti e dalla presenza di terremoti significativi con una certa frequenza), l'esperienza ha portato a mettere a punto soluzioni costruttive efficaci per la riduzione della vulnerabilità: contrafforti, catene, ammorsamenti, ecc.; questi elementi di presidio antisismico diventano parte integrante delle regole costruttive, specie nelle regioni con terremoti frequenti. Nelle aree a bassa sismicità (terremoti rari e non distruttivi), invece, tali accorgimenti sono stati messi in atto solo nelle riparazioni o nelle ricostruzioni a seguito dei pochi terremoti significativi, ma il loro uso da parte dei costruttori si perdeva dopo qualche generazione, in quanto essi apparivano ben presto immotivati<sup>17</sup>.

Purtroppo l'analisi della documentazione archivistica relativa ai danni dei sismi sul territorio di Acciano è limitata; questa porzione di Appennino è ciclicamente colpita da eventi tellurici; cinque i principali terremoti che hanno danneggiato gli abitati di Acciano: quello del 2 febbraio 1703 con epicentro l'aquilano i cui danni nel comparto accianese sono documentati dalla ricostruzione del campanile della chiesa di San Lorenzo nell'omonimo centro storico; quello del 1706 e più precisamente avvenuto il 3 novembre che ha avuto come epicentro la Maiella, quello del 6 ottobre 1762 con epicentro l'aquilano, quello del 24 febbraio 1904 con epicentro la Marsica e quello del 13 gennaio 1915 con epicentro Avezzano, purtroppo le fonti bibliografiche riportano informazioni generali e non direttamente legate al territorio accianese. Dei primi quattro sismi non sono stati rinvenuti informazioni né nelle fonti edite e né nelle fonti documentarie nonostante siano stati vagliati gli Archivi di Stato di L'Aquila e di Napoli, quello generale di Simanca in Spagna, e quello della Protezione Civile di Roma; in quest'ultimo archivio sono stati rintracciati i documenti relativi alle nuove costruzioni, realizzate nella parte di abitato dove oggi si trova il palazzo Comunale nel Capoluogo, costruite per dare alloggio a quelle famiglie le cui case avevano subito danni durante il terremoto del 1915.

È stato possibile valutare così solo per Acciano Capoluogo che la maggior parte delle abitazioni danneggiate dal sisma si trovassero nella porzione di urbano retrostante palazzo Galli dove ancora oggi si possono vedere i ruderi dei vecchi fabbricati.



*Due viste del fronte retrostante palazzo Galli nel centro storico di Acciano Capoluogo.*

L'altra zona interessata dai crolli è la parte che si apre verso la vallata del fiume Aterno dove un grande spiazzo e i sottostanti ruderi fanno intuire il precedente assetto urbano. La redazione di una storia sismica puntuale sarebbe servita ad individuare sul territorio comunale zone più soggette al sisma. Come accertato anche da una analisi geologica prevista per le valutazioni sulla vulnerabilità sismica del territorio entro il quale il Piano deve intervenire, i centri storici di Acciano non presentano al loro interno problematiche litologiche che amplifichino gli effetti del sisma, neanche la presenza di numerosi ingrottamenti presenti nel sottosuolo accianese ha ridotto le caratteristiche meccaniche dei substrati.



Le diverse caratteristiche geologiche e storiche che contraddistinguono i centri storici rendono difficile l'individuazione di vulnerabilità diffuse all'interno dei diversi urbani; per questo motivo devono essere valutati i centri storici singolarmente.

La redazione di una storia sismica puntuale serve a microzonizzare il territorio comunale e soprattutto il centro storico cercando di comprendere se ci sono porzioni di abitato che subiscono più danni durante gli eventi sismici valutando le possibili motivazioni (geologiche, orografiche, tipologiche) che "favoriscono" e amplificano i danni causati dai sismi quando questi siano stati documentati nel corso della storia<sup>18</sup>.

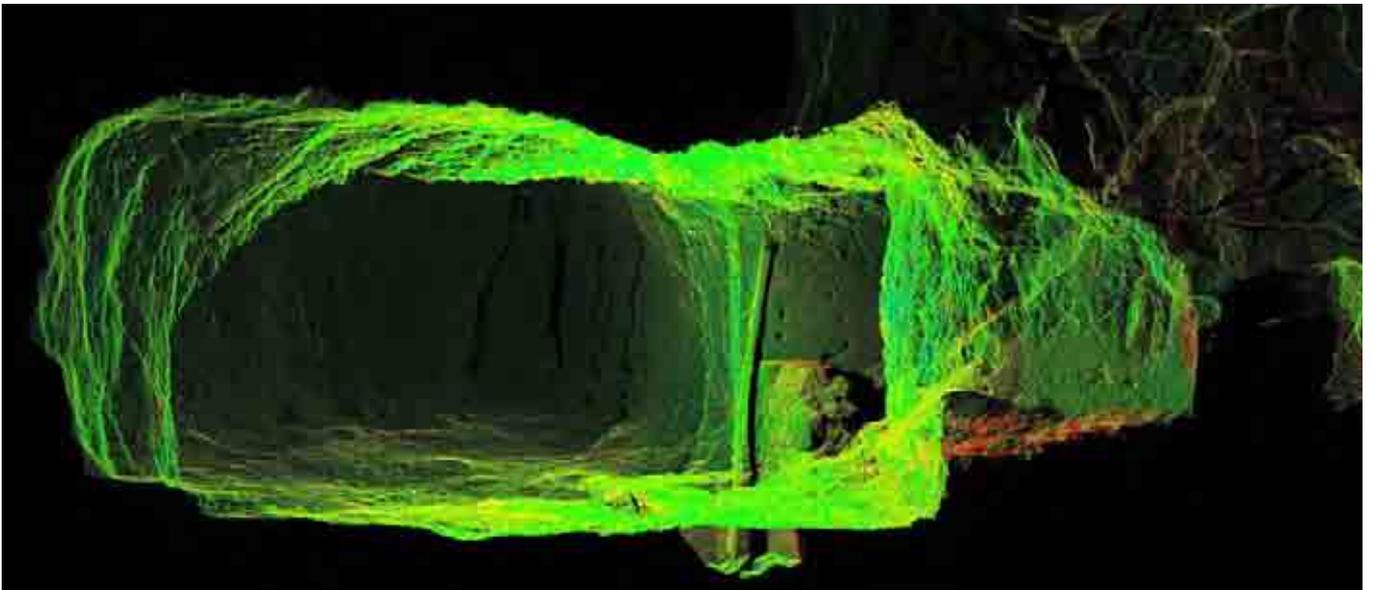
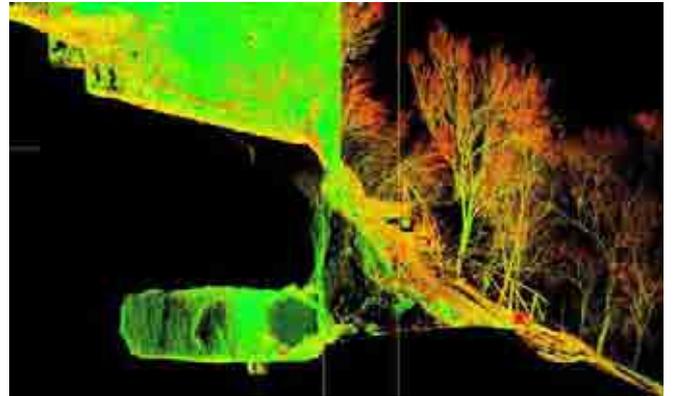
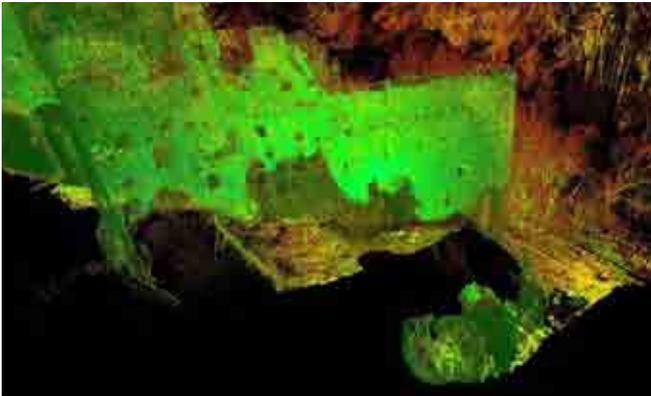


*In queste fotografie ed in quelle della successiva pagina alcuni esempi di ambienti ipogei e ingrottamenti che caratterizzano il sottosuolo accianese sopra i quali sorge l'edificato del centro storico.*



*Nella pagina seguente: immagini della nuvola di punti relativa al rilievo laser scanner di una grotta che si estende al di sotto al borgo fortificato del Castello di Beffi.*

*In basso: una fotografia orbitale della stessa.*



#### 4.4.3 Indagini sulle tecniche realizzative dei sistemi costruttivi

Nei diversi centri storici accianesi sono state censite varie tipologie di apparecchiature murarie, prevalentemente murature miste con bozze di diverse dimensioni, all'interno di questa modalità di comporre il palinsesto si trovano mutevoli varianti, nei casi più comuni le bozze di pietra, provenienti dalla “pulizia” dei terreni, sono di piccola-media pezzatura non allineate e tenute insieme dall'abbondante uso di malta<sup>19</sup>. In alcuni casi è stata constatata la presenza di elementi in pietra pseudo quadrata anche se composti in maniera disordinata, in altri le bozze risultavano squadrate, anche se di dimensioni variabili, e ciclicamente allineate a creare orizzontamenti. Solo nei casi in cui si analizzino gli edifici difensivi, torri e castelli, la qualità dei paramenti aumenta componendo palinsesti con elementi squadrate, rettificati montati con giunti regolari. Spesso le murature, agli angoli o nei punti in cui si verificano rotazioni, sono chiuse da cantonali realizzati con blocchi quadrati innestati, nei casi migliori, a pettine nelle murature limitrofe a serrare il palinsesto e ad irrigidirlo. I cantonali, gli stipiti, gli architravi e gli elementi decorativi, sono realizzati quasi sempre con pietra di migliore qualità provenienti dalla zona denominata localmente “ratta fiora”. In alcuni casi, rari all'esterno, si trovano anche elementi decorativi realizzati in pietra calcarea bianca. Si notano inoltre diversi elementi di riuso provenienti probabilmente da zone archeologiche limitrofe all'urbano e da edifici antichi andati distrutti. Sempre nei dintorni dell'abitato si trovano due “cave” di sabbia che opportunamente setacciata veniva usata come inerte nei leganti.

Di produzione locale è anche la calce ottenuta tramite la cottura, ad alta temperatura, di sassi calcarei rintracciabili sul territorio. Le calcare erano presenti in diversi luoghi dell'intorno cittadino in prossimità dei boschi. Nelle fabbriche di migliore qualità spesso le fondazioni vedevano l'uso di massi squadrate e di malte idrauliche a base di calce idraulica chiamata localmente pozzolana<sup>20</sup>.



*In alto: un esempio di stratificazione del terreno di queste aree dal quale sono state estratte bozze di pietra durante la “pulizia dei terreni” per un adeguamento di questi ad uso agricolo. Queste costituiscono una delle materie prime nella realizzazione dei palinsesti murari dell'edificato storico di questo territorio.*

*In basso e nella pagina successiva: alcuni esempi di utilizzo delle bozze di pietra maggiormente squadrate per i cantonali e per gli ammassamenti fra edifici contigui e di quelle più irregolari per la realizzazione dei paramenti murari.*





*Esempi di pietra di migliore qualità o di elementi lapidei di riuso provenienti da zone archeologiche limitrofe, utilizzati per dettagli decorativi delle architetture di questi centri storici generalmente "povere".*

Lo stato di abbandono in cui versano molti edifici e il recente sisma, permettono di osservare le sezioni murarie di diversi immobili. Si nota come spesso la muratura sia composta sui due fronti da elementi disomogenei e discontinui mediati da un sacco composto da inerti di piccola pezzatura allettati con malte povere di legante e impastate miscelando a loro interno paglia; anche quando il paramento esterno è realizzato con elementi squadri e allineati, non è detto che questa apparente omogeneità del paramento esterno coincida con un'altrettanta omogeneità

compositiva dell'intero palinsesto. In rari casi e solo per i tramezzi si trovano murature in mattoni, l'uso del laterizio è invece riscontrabile nelle volte in foglio a botte ribassate, nelle volte a crociera, nei solai a doppia orditura (trave, travetto e pianella) e nei solai detti alla volterrana, realizzati sia con travi in legno sia con putrelle in ferro. Le volte ai piani terra sono principalmente realizzate in muratura di pietra con elementi di varie dimensioni annegati nella malta; mentre quelle ai piani alti sono ad incannucciato nelle due varianti con canne intrecciate e con stuoie.





I solai sono realizzati principalmente ad orditura semplice con travi di medie dimensioni, semplicemente sbazzate, montate parallelamente con interassi di 50-80 cm orizzontate con tavolati su cui si poggia il pavimento con il rispettivo allettamento, spesso e soprattutto negli edifici conservati meglio e/o intrinsecamente migliori, la parte lignea delle travi è chiusa da una stuoia ad incannucciato. Negli edifici di pregio si possono trovare anche solai a doppia orditura (travi, travetti e tavolato) o solai a cassettoni con modanature. Varie sono anche le tipologie di coperture, si va da sistemi di copertura a semplice orditura con piano di posa delle tegole in stuoie di canne a capriate ammortate alle murature con catena dotata di capo chiave in legno.

Le murature di Acciano<sup>21</sup> mostrano diverse forme di criticità, la prima sta nell'apparecchiatura, disordinata e non continua, la seconda riguarda le pezzature degli inerti, quasi sempre di piccole dimensioni e mai continui sui due fronti del paramento, infatti in diversi casi, il sisma ha fatto ribaltare uno dei due fronti dimezzando lo spessore della muratura. Si noti che per ovviare al problema della tenuta delle murature e del controllo dei carichi non è raro trovare orizzontamenti fatti con elementi in legno collocati nelle parti centrali dei paramenti murari ma anche al disopra di architravi di porte e finestre creando un effetto cuscinetto che distribuisce i carichi e che non fa gravare il peso della muratura su gli elementi in pietra lavorata. Bisogna sottolineare comunque come questa muratura, se ben stillata e costantemente mantenuta, non pregiudica la qualità dell'urbano.

Di migliore natura risultano gli orizzontamenti realizzati come già detto con tre diverse tecniche costruttive: ai piani terra spesso si trovano volte in muratura o in mattoni in foglio mentre ai piani superiori e in copertura solai lignei.

*Nella pagina precedente: ed in questa sono riportati alcuni esempi di edifici in stato di rudere o fortemente danneggiati dal sisma in cui è possibile individuare le caratteristiche delle murature.*

*Nella pagina successiva: sono fotografati alcuni esempi delle tecniche costruttive relative agli orizzontamenti maggiormente diffuse nei centri storici rilevati.*



Alle considerazioni legate alle problematiche idrogeologiche e costruttive dei centri storici di Acciano si aggiungono le valutazioni relative all'uso degli edifici che alterano la capacità di resistere delle murature. In edifici privi di intonaci è facile notare i segni che evidenziano come siano state modificate e spostate le aperture ma anche la presenza di canne fumarie verticali e trasversali che diminuiscono gli spessori delle murature amplificando le problematiche legate alla qualità delle murature stesse. Si notano anche aperture sovrapposte a più livelli, che non seguono nessun asse verticale, questo tipo di stratificazioni degli interventi subiti dai fronti, insieme alla presenza ai piani terreni di un gran numero di aperture, diminuisce gli spessori dei maschi murari, contribuendo a deviare e interrompere le isostatiche che individuano le linee di forza verticale degli edifici, mettendo a rischio i fronti strada.



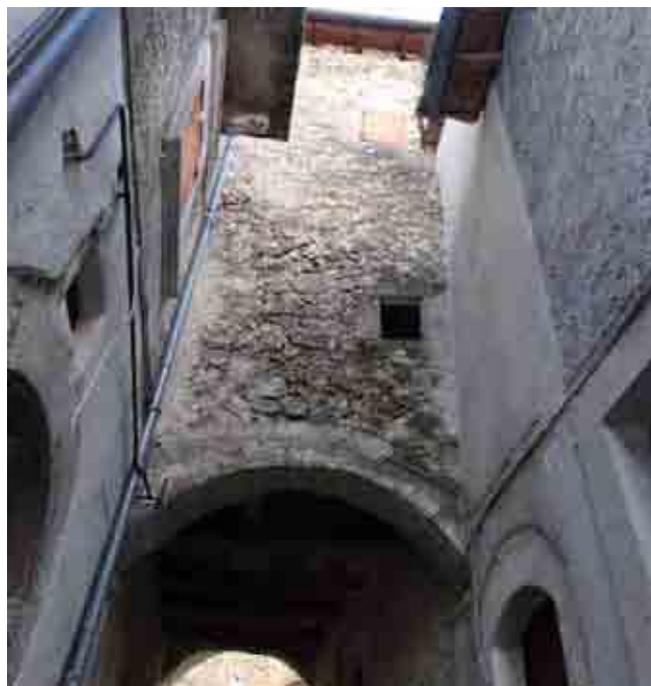


*Nella pagina precedente: (foto in basso a destra) è possibile vedere come il mancato allineamento delle bucatore sui fronti possa compromettere l'efficacia statica dei maschi murari, evidenziata nell'eidotipo qui sopra riportato.*

*In basso a destra: un esempio di sovrappassi, tipologia edilizia particolarmente diffusa all'interno del centro storico di Acciano Capoluogo.*

Altro elemento di fragilità dei centri storici di Acciano capoluogo, Roccapreturo e Beffi sono i sovrappassi, questi nel caso di Acciano capoluogo sono integrati nel sistema difensivo cittadino e costituiscono una parte fondamentale della sua storia, la numerosa presenza al di sopra dei vicoli del centro storico è da valutare come uno degli elementi caratterizzanti più significativo dell'abitato. Nei casi di Roccapreturo e di Beffi sembrano invece realizzati come sistemi di connessioni e ampliamento delle residenze. I sovrappassi sono stati censiti e raggruppati in tre categorie principali la prima si caratterizza per essere un elemento di collegamento realizzato all'interno di un unico edificio; nella seconda tipologia si tratta di elementi che coprono le strade e saturano spazi urbani connotandosi come superfetazioni; nel terzo caso sono diaframmi che fungono da filtro tra due comparti senza la presenza di soprastrutture edilizie. Nel primo caso si tratta di percorsi progettati con evidente continuità tra le strutture, nel secondo caso si tratta di superfetazioni che spesso non presentano ammorsamenti e che sono costruite in aderenza creando





continuità strutturale ma non solidarietà, nel terzo si tratta di elementi trasversali ai percorsi come archi di scarico e sistemi di chiusura del percorso viario e del sistema difensivo urbano che hanno poche valenze strutturali.

Nei primi due casi, nonostante le differenze, si tratta di elementi che danno continuità alle strutture ma sono comunque elementi di vulnerabilità, infatti nel primo caso, la parte centrale del sottopasso può subire danni in caso di sisma dovuti alla mancanza di continuità muraria nella parte bassa, in corrispondenza del sottopasso, nel secondo caso, la mancanza di ammorsamenti e l'inserimento tra due edifici ben definiti strutturalmente può creare dei piani di irrigidimento non complanari con gli edifici aderenti, rimane in entrambi i casi costante il problema creato dalla mancanza di continuità delle murature nella parte bassa. Il terzo caso è rappresentato da elementi secondari dal punto di vista strutturale che non danno continuità ai comparti. Nelle rare occasioni in cui è stato possibile entrare all'interno delle abitazioni si è potuto constatare che l'apparente continuità strutturale, che si ravvisa dai fronti, in realtà all'interno è interrotta da cortili, pozzi luce e cavedi, questi spesso sono parzialmente saturati da balconi e bagni pensili.



*Nella pagina precedente: ed in questa, alcuni esempi di sovrappassi relativi alla varie categorie di raggruppamento: elementi di collegamento realizzati all'interno di un unico edificio, elementi di saturazione delle spazio urbano o superfetazioni poste come collegamento di due edifici, archi di scarico o sottopassi senza la presenza di soprastrutture edilizie.*



#### 4.4.4 Effetti degli eventi sismici del 2009 nei centri storici rilevati

I centri storici di Acciano sono stati colpiti in maniera uniforme dal sisma del 6 aprile 2009 e dagli sciami sismici che prima e dopo hanno interessato l’Abruzzo. Nei diversi nuclei non si sono evidenziati difformità di risposta alle sollecitazioni sismiche ne porzioni di territorio maggiormente colpite. I danni sono presenti in tutti i tessuti urbani e sono ravvisabili in quattro diverse categorie di edifici:

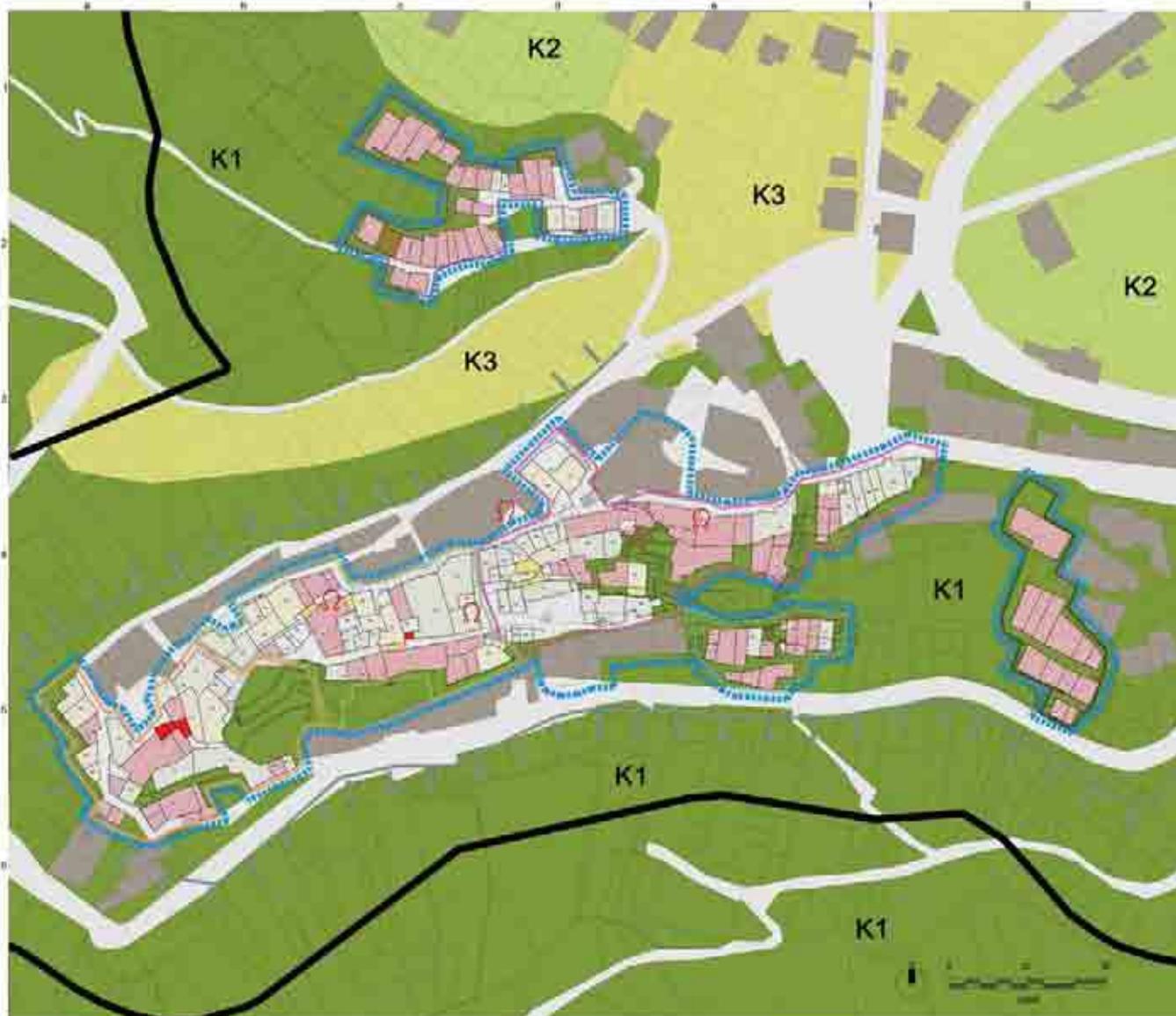
- edifici in precario stato di conservazione, dove da tempo non si realizzavano interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria;
- edifici che hanno subito interventi di ristrutturazione incongrui come, solai in latero cemento inseriti su murature non consolidate, cordoli in c.a. non ammortati, ecc.;
- edifici o porzioni di essi con una morfologia particolarmente snella come campanile, facciate a bugia, ecc.;
- perdita di portanza delle murature dovuta a varie motivazioni, apertura di varchi, disomogeneità della distribuzione delle aperture, perdita di efficacia dei leganti dovute al dilavamento.

La presenza all’interno dei centri storici di edifici in pessimo stato di manutenzione o in stato di rudere pregiudica la capacità di resistere alle sollecitazioni sismiche di tutto l’aggregato in cui esso si trova, per evitare che lo stato di indigenza di alcuni edifici pregiudichi l’intero aggregato è necessario intervenire con operazioni di ricomposizione e di ripristino del tessuto urbano dove danneggiato o mancante.

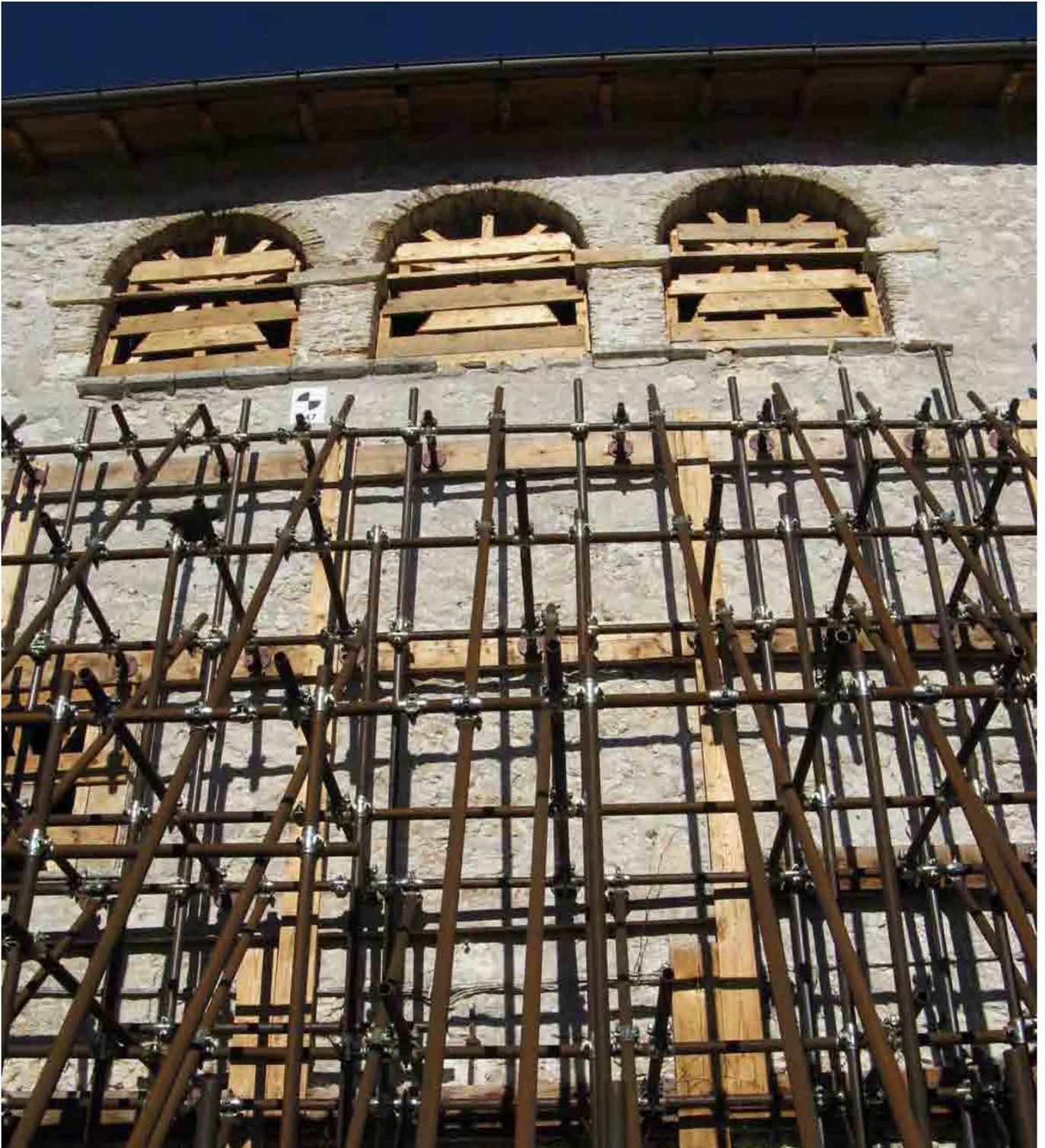


*Alcuni esempi di massa in sicurezza degli edifici danneggiati dal sisma all’interno dei centri storici rilevati e di elementi che ne hanno amplificato la loro vulnerabilità sismica.*





Questo elaborato del P.d.R. è relativo alla pericolosità del sistema urbano nei confronti dell'azione sismica, in esso vengono evidenziati i caratteri geomorfologici dei versanti, lo stato di agibilità degli edifici, la presenza di sovrappassi e ingrottamenti come elementi di vulnerabilità sismica. (Tav. 12a - Carta delle Pericolosità e degli esiti di agibilità di calcolo).



## 4.5 ESEMPI DI UTILIZZO DEI DATI DI RILIEVO COME SUPPORTO AD ANALISI SPECIFICHE PER LA STESURA DEL PIANO DI RICOSTRUZIONE

### 4.5.1 Proposta di individuazione degli Aggregati nel centro storico di Acciano

Si definiscono aggregati, come già descritto nel Capitolo 2, i comparti urbani in cui gli edifici sono strutturalmente connessi tra loro creando un continuo strutturale in modo che le singole strutture si relazionino a quelle adiacenti. Sulle cartografie dei vari centri storici sono stati quindi individuati i singoli aggregati strutturali, da intendersi quale insieme di edifici (elementi strutturali) non omogenei, a contatto o con un collegamento più o meno efficace, che possono interagire sotto un'azione sismica o dinamica in genere.

Un aggregato strutturale può essere quindi costituito da un edificio singolo (come capita usualmente nel caso di edifici in cemento armato) o da più edifici accorpati con caratteristiche costruttive generalmente diverse.

La presenza di un giunto sismico efficiente da luogo all'individuazione di due aggregati strutturali ben distinti. Qualora non sia possibile identificare a priori la presenza o la localizzazione di un giunto sismico, è opportuno considerare l'intero isolato come un unico aggregato, salvo procedere ad eventuali modifiche in sede di sopralluogo.

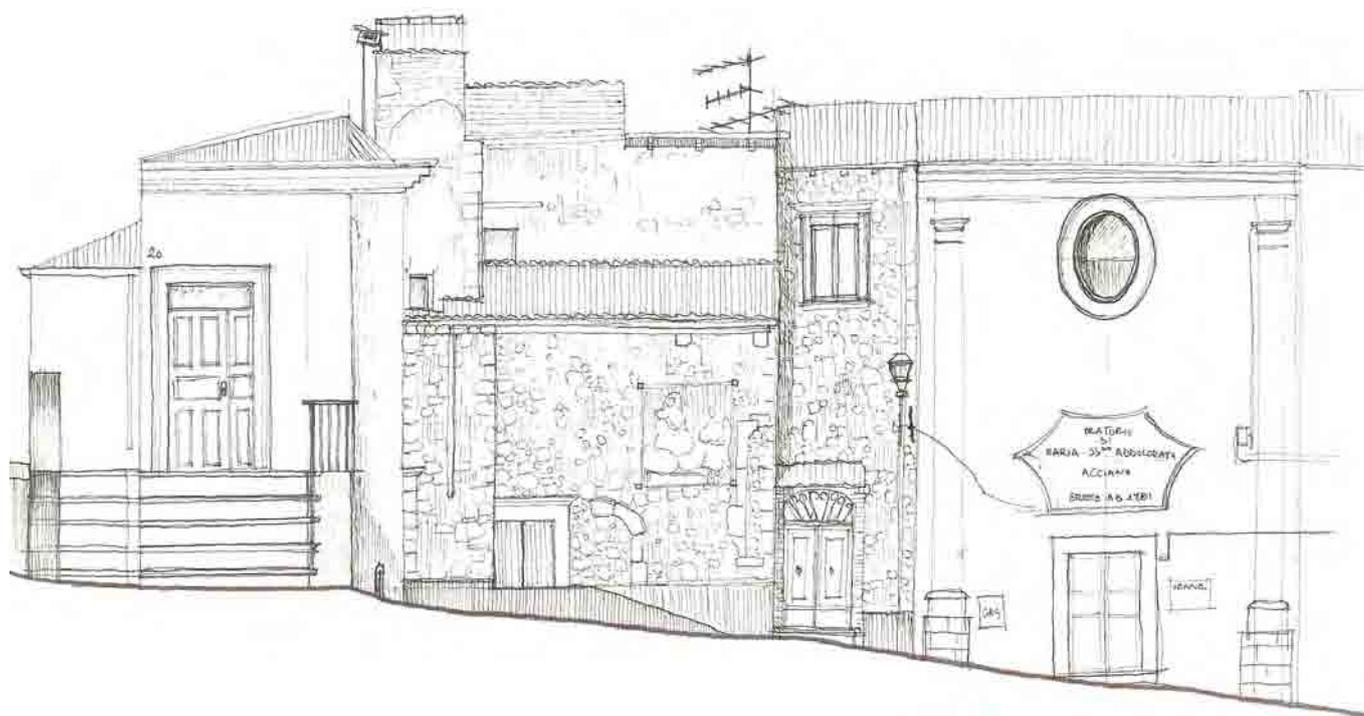
La gestione tridimensionale dei rilievi laser scanner e la verifica in sito delle continuità strutturali ha permesso l'individuazione e la perimetrazione degli aggregati urbani che compongono gli ambiti di intervento del Piano di Ricostruzione nei centri storici.

All'interno delle aree perimetrate del centro storico di Acciano Capoluogo sono stati individuati 16 aggregati, in alcuni casi di vasta estensione, a causa della presenza di case-ponte e sottopassi che collegano strutturalmente più edifici dello stesso comparto urbano.

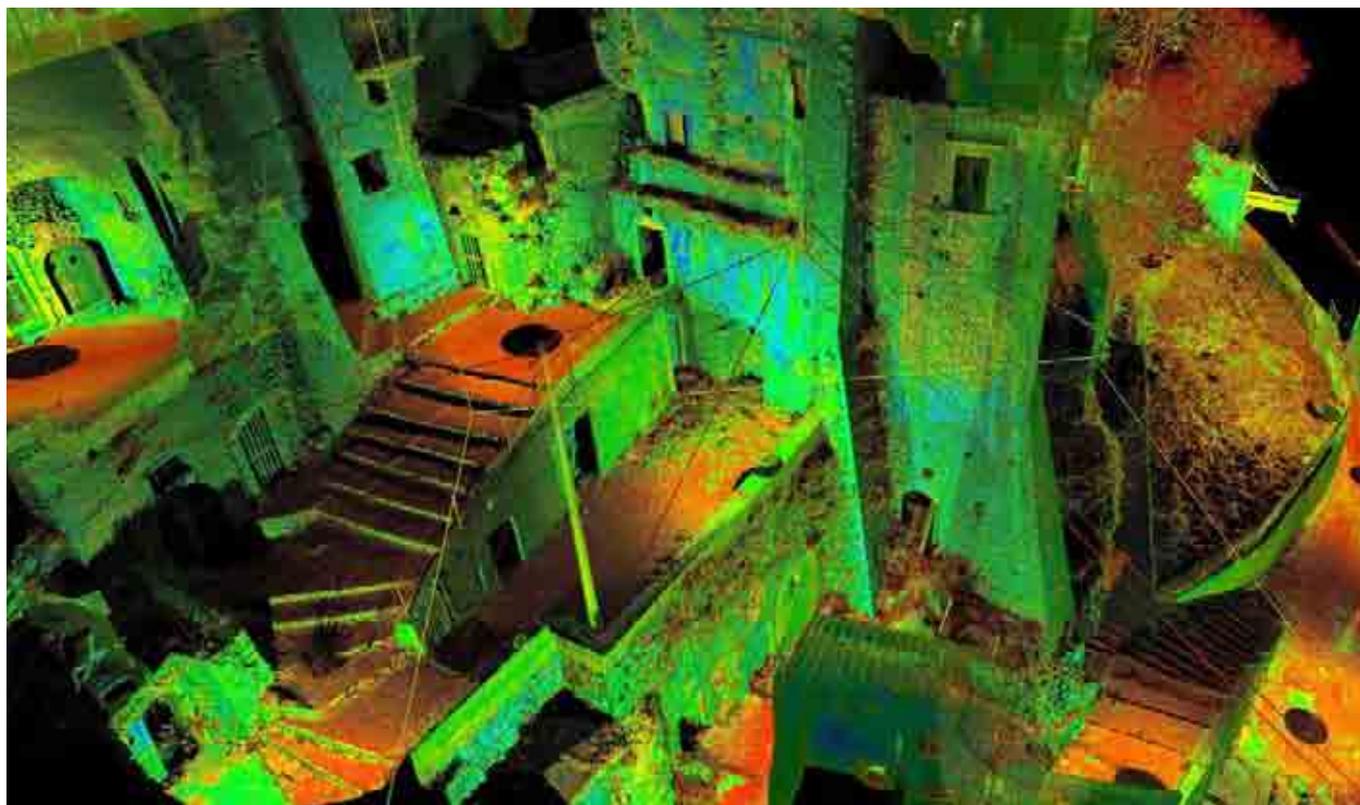
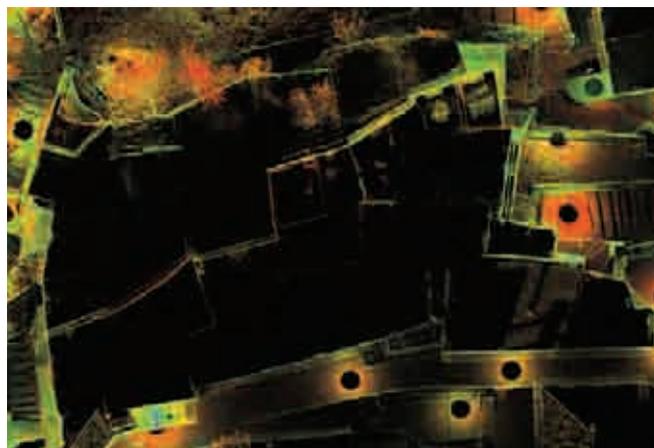
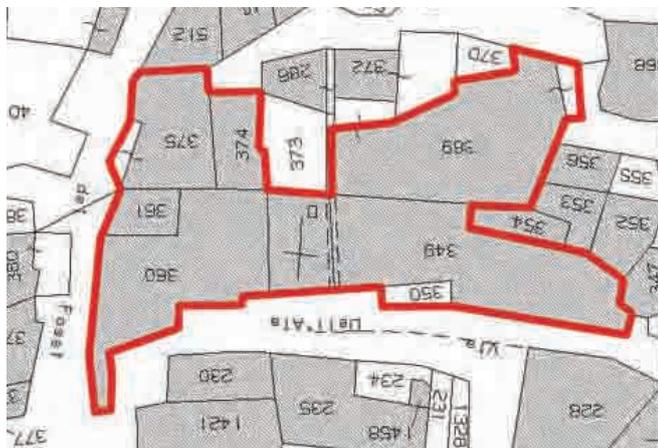
Nelle immagini che seguono è illustrato un esempio dell'individuazione di un aggregato grazie all'isolamento di questo nella nuvola di punti prodotta dalle scansioni laser e la relativa estrapolazione dei fronti che lo costituiscono.



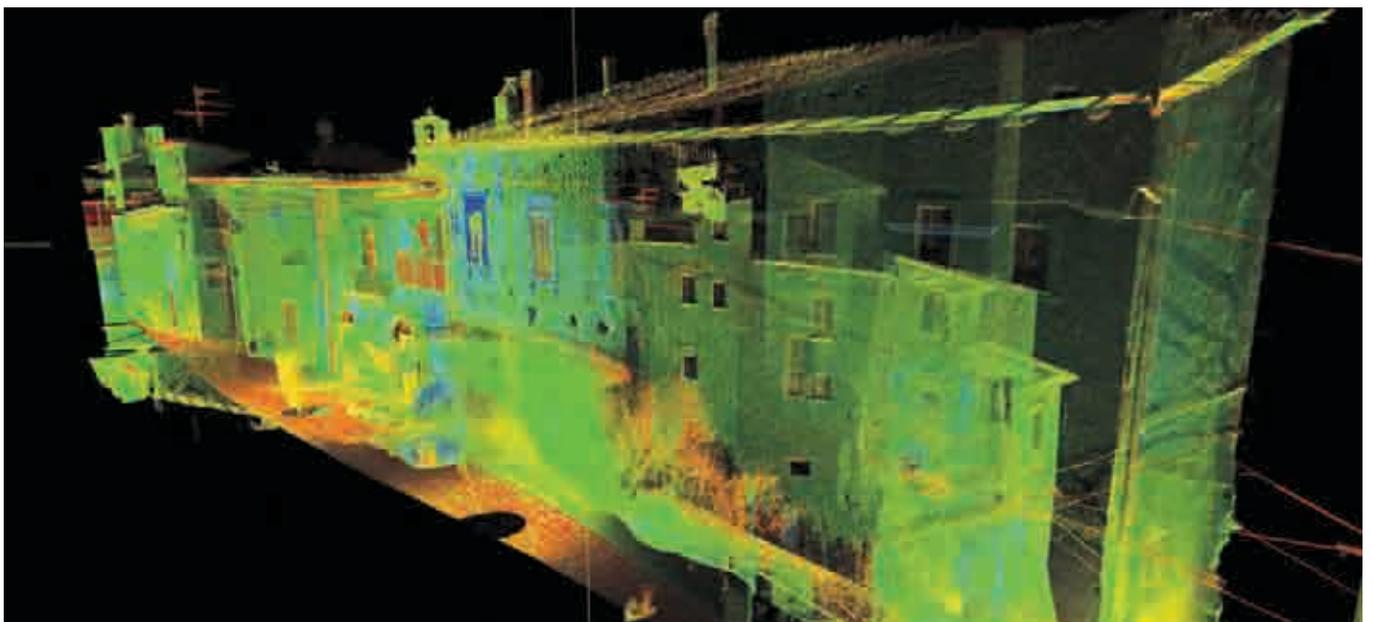
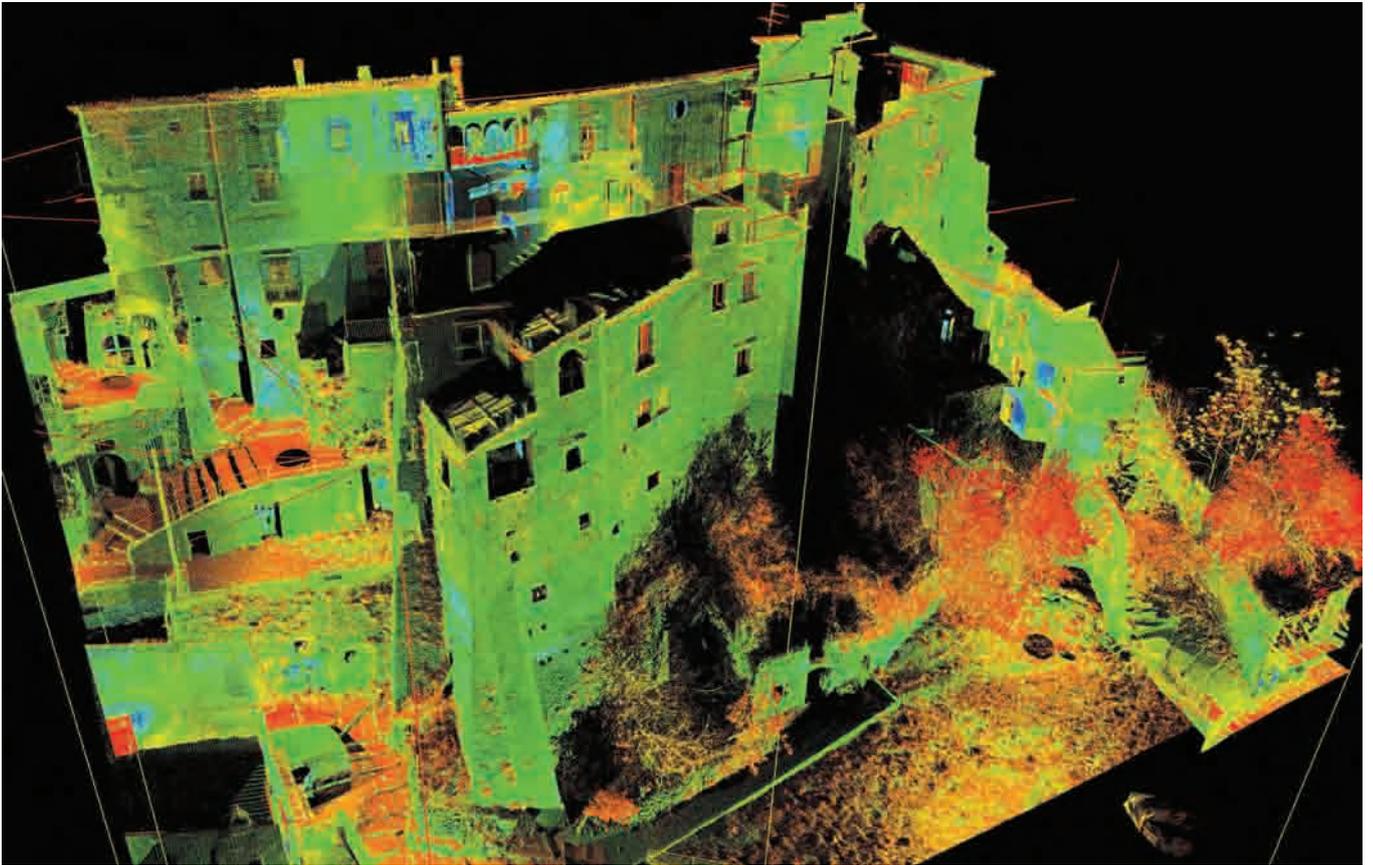


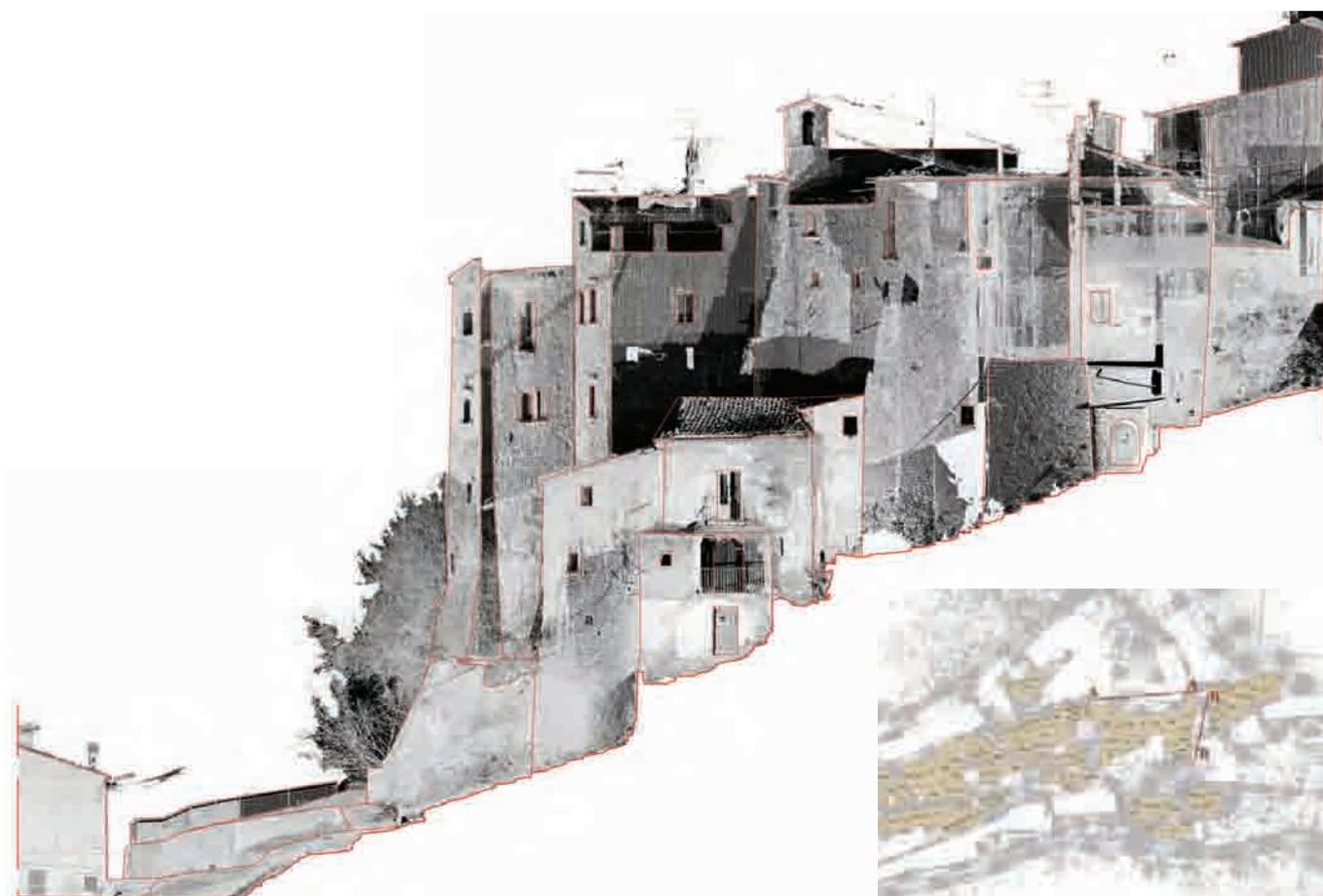






*Nelle immagini delle precedenti pagine, in queste ed in quelle delle successive viene presentato il processo di individuazione e perimetrazione di un aggregato urbano nel centro storico di Acciano Capoluogo. L'esempio è offerto dall'Aggregato relativo a palazzo Galli; l'analisi parte da un primo inquadramento fotografico per verificarne l'impronta a terra definita sulla planimetria catastale. Successivamente, attraverso il rilievo a vista ed il relativo disegno a mano dei prospetti e dopo il rilievo laser scanner, è possibile avere una gestione tridimensionale del rilievo dell'aggregato tale da permetterne il controllo planivolumetrico e quindi la divisione in unità edilizie, oltre alla realizzazione delle sezioni ambientali, estrapolate dalla nuvola di punti, relative ai fronti principali dell'aggregato di seguito riportate.*







#### **4.5.2 Definizione delle superfici per il calcolo del Quadro Tecnico Economico**

Uno degli aspetti fondamentali che il Piano di Ricostruzione deve inquadrare è quello economico, relativo quindi alla quantificazione dei contributi che lo Stato deve versare per le attività connesse ai danni del sisma del 2009, di ricostruzione e riparazione degli edifici privati e pubblici interni agli ambiti perimetrati, quelli di culto, le reti dei sottoservizi e gli spazi pubblici. Per la definizione di questi importi relativi agli aggregati urbani entrano in gioco diverse variabili, che sono: l'esito di agibilità di ogni particella catastale che compone l'aggregato, la sua rilevanza, se vincolata e se corrisponde ad una prima abitazione, tutti aspetti che determinano, in base ad un limite massimo di contributo prestabilito, un valore di risarcimento dei danni al m/q da riferire ovviamente a dati dimensionali di massima delle unità edilizie, ma che più saranno corrispondenti al dato reale e meno il Quadro Tecnico Economico (Q.T.E.) si discosterà dalle esigenze reali per la quantificazione degli interventi e dei relativi costi.

Per ogni unità edilizia con esito di agibilità A, B e C è stata determinata la superficie totale lorda (SL). Questa è calcolata considerando l'area coperta dell'unità edilizia proiettata come impronta a terra derivante dal rilievo degli ambiti dei centri storici interessati dal Piano di Ricostruzione, moltiplicata per il numero di piani rilevati, al netto di variazioni di superficie al piano e balconi scoperti o di ogni altra variazione apprezzabile dal rilievo dell'esterno dei fabbricati.

Data l'impossibilità di rilevare gli interni dei singoli immobili ed in particolare quelli di esito E - per i quali è necessario applicare i costi unitari alla superficie complessiva, definita dalla Delibera di giunta regionale n. 615 del 09/08/2010, all'art.6<sup>22</sup>- è stato indispensabile ricavare una procedura standard per ottenere un valore di "Superficie Complessiva di calcolo" (SC) assimilabile alla superficie complessiva da applicare a tale categoria di edifici compresi all'interno delle perimetrazioni degli ambiti di intervento del P.d.R. per la definizione del contributo massimo lordo. I valori dei parametri che intervengono nella definizione di tale procedura si basano sui dati ottenuti dal rilievo laser scanner degli edifici

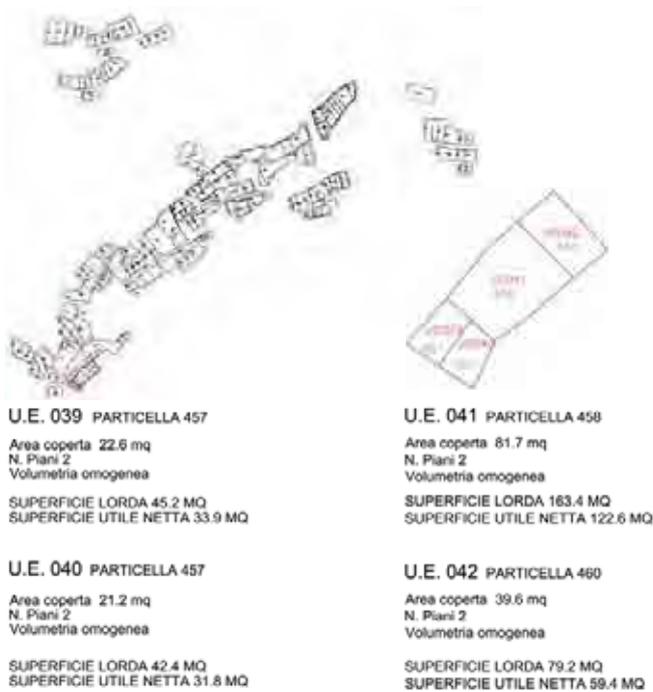
che a seguito del sisma hanno subito gravi danni come il crollo del tetto o dei tamponamenti esterni, per cui il laser ha potuto misurare interamente o parzialmente gli interni e da cui è stato possibile specificare il valore dello spessore delle murature e l'incidenza di quest'ultima nella determinazione della superficie utile. Inoltre sono stati ritenuti validi, come documentazione per tale scopo, i rilievi eseguiti dai privati in fase di proposta di intervento; il calcolo delle superfici nette e' relativo ai singoli vani degli aggregati con stessa tipologia costruttiva e di cui sono stati forniti i dati dimensionali e le piante degli interni, divenendo così casi campione sui quali riferirsi.

La superficie netta è da considerarsi come superficie coperta al netto delle murature, calcolata come sommatoria della superficie utile di ogni vano ad ogni livello dell'aggregato e riferita alle singole unità edilizie. Il dimensionamento di tali superfici sui casi campione è stato possibile grazie alla graficizzazione del rilievo laser scanner degli esterni sovrapposta ai rilievi interni di tutti i piani e alle sezioni che sono pervenuti all'amministrazione comunale come allegati alle proposte di intervento presentate dai privati. Per ciascun aggregato campione è stato calcolato il rapporto fra la superficie lorda derivante dal rilievo laser scanner, e la superficie netta interna effettiva, misurata con rilievi diretti.

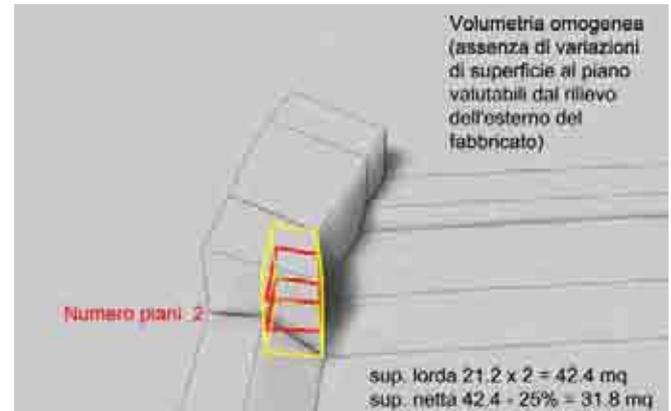
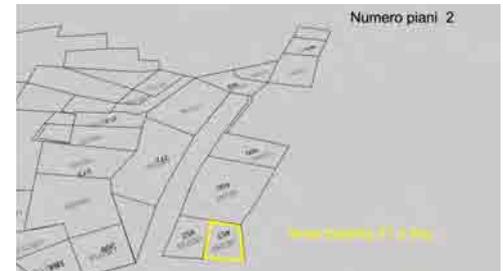
Tramite lo studio degli aggregati campione è stato possibile individuare, per tipologie simili di fabbricati, realizzati con strutture e tecnologie murarie tipiche dell'area in esame, la percentuale di incidenza della superficie della muratura sulla superficie lorda, ovvero il rapporto medio fra superficie utile e superficie lorda, riferito ai 4 casi campione, qui definito come coefficiente k1.

Lo studio ha permesso di considerare il coefficiente k1 come parametro medio da applicare per il calcolo delle superfici di riferimento necessarie alla definizione del Q.T.E.

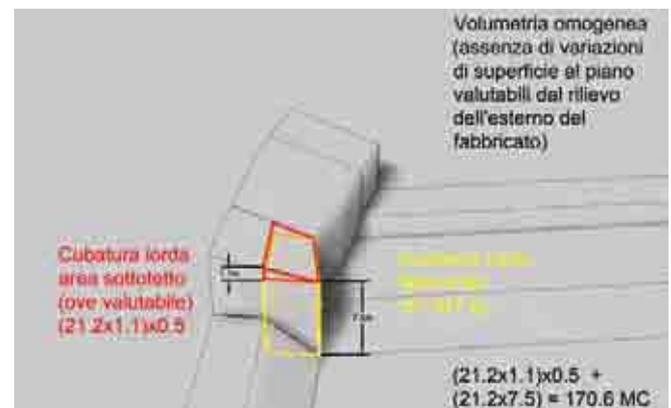
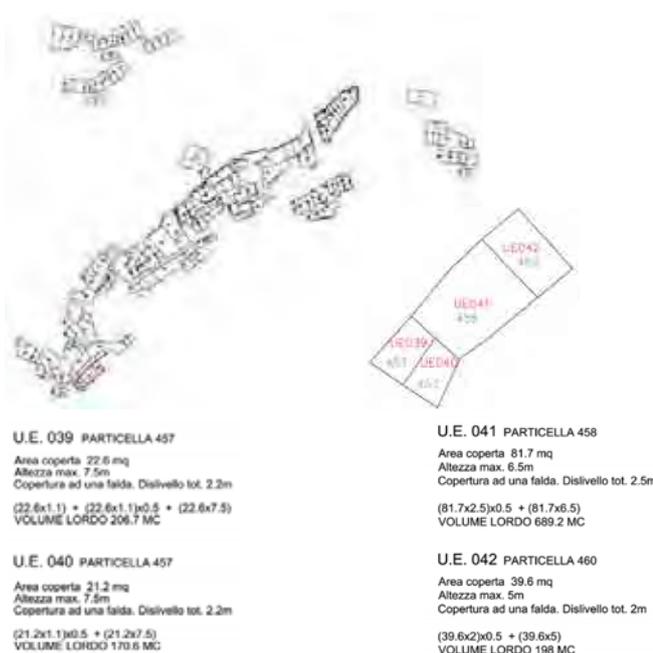
Utilizzando la stessa metodologie è possibile determinare, facendo riferimento sempre ai medesimi casi campione, un coefficiente che esprima il rapporto medio fra superficie non residenziale e la superficie lorda. Infatti, sempre secondo le indicazioni derivanti dalle proposte di intervento presentate, è stata individuata la superficie residenziale al netto dei vani scala e la superficie non residenziale così da definire il coefficiente percentuale k2 risultante dalla



Sopra: Schema per il calcolo delle superfici relative alle unità edilizie in funzione della definizione del Quadro Tecnico Economico (Q.T.E.) del P.d.R.



Sotto: Schema per l'individuazione delle volumetrie relative alle unità edilizie in funzione della definizione del Quadro Tecnico Economico (Q.T.E.) del P.d.R.



media delle percentuali di superficie netta non residenziale dei casi campione da applicare come parametro generale per il calcolo delle superfici di riferimento necessarie alla definizione del Q.T.E. relativo ad ogni singola unità edilizia in aggregato o in edificio singolo all'interno della stessa tipologia costruttiva.

$$k_1 = \frac{SUM}{SLm} = \frac{77,44}{115,85} = 0,67$$

$$k_2 = \frac{SNRm}{SLm} = \frac{44,25}{115,85} = 0,38$$

In sintesi, il valore  $SC^*$  è dato dalla formula:

$$SC^* = k_1 * SL + 60\% k_2 * SL$$

$$SC^* = 0,67 * SL + 60\% 0,38 * SL$$

Dove:

$SC^*$  = Superficie Complessiva di calcolo

$SL$  = Superficie Lorda

$k_1$  = Valore percentuale che indica l'incidenza della muratura sulla  $SL$

$k_2$  = Parametro percentuale della  $Snr$  rispetto alla  $SL$





*La Chiesa Madre dei Santi Pietro e Lorenzo del 1534, nel centro storico di Acciano Capoluogo.*

NOTE

1. L'art. 2, comma 12 *bis*, e l'art. 14, comma 5 *bis*, del Decreto legge 28 aprile 2009, n. 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 giugno, n. 77, attribuisce ai Comuni interessati dagli eventi sismici del 6 aprile 2009, il compito di predisporre la ripianificazione ed i Piani di Ricostruzione del territorio comunale e di definire le linee di indirizzo strategico per assicurarne la ripresa socio - economica e la riqualificazione dell'abitato, coadiuvati, per i profili attinenti ai centri storici, dalla Struttura Tecnica di Missione (S.T.M.), istituita con Decreto n. 2 del 1 febbraio 2010 del Presidente della Regione Abruzzo - Commissario Delegato alla Ricostruzione.

2. Il gruppo di ricerca che ha condotto le attività connesse alla realizzazione del Piano di Ricostruzione del Comune di Acciano per il Dipartimento di Architettura Disegno Storia Progetto della Facoltà di Architettura di Firenze, dalle fasi di rilievo, analisi e documentazione, fino alla ste sura della nuova cartografia di riferimento in scala 1:500 ed agli elaborati di Piano, è costituito da:

Responsabile scientifico - *Prof. Arch. Stefano Bertocci*, Coordinatore scientifico - *Dott. Arch. Sandro Parrinello*, Responsabile per la vulnerabilità sismica - *Prof. Ing. Mario De Stefano*, Coordinatore per la vulnerabilità sismica - *Dott. Arch. Giovanni Minutoli*, Coordinatore tecnico - *Dott. Arch. Carlo Raffaelli*. Per la realizzazione dei rilievi in sito, l'attività di schedatura e censimento degli edifici e la restituzione grafica nei processi di postproduzione, la ricerca si è avvalsa della collaborazione di:

*Arch. Graziella Del Duca*, *Arch. Sara Porzilli*, *Arch. Matteo Pasquini*, *Dott. Marco Cipriani*, *Dott. Franco Alberto De Carlo*. Rilievi topografici - *Dott. Arch. Francesco Tioli*. La strumentazione laser scanner è stata fornita dalla società *DigitArca*.

3. Il Piano di Ricostruzione è stato adottato dal Comune di Acciano, in data 06/09/2012, secondo Delibera di Consiglio con il Decreto del Commissario Delegato per la Ricostruzione n° 3/2010, articolo 6 comma 4. Pubblicato secondo il Numero di Pubblicazione 196 all'Albo Pretorio del Comune di Acciano (AQ).

4. A differenza della scala Mercalli, che valuta l'intensità del sisma basandosi sui danni generati dal terremoto e su valutazioni soggettive, la magnitudo Richter tende a quantificare l'energia sprigionata dal fenomeno sismico su base puramente strumentale.

5. Le perimetrazioni dei centri storici sono state individuate dall'Amministrazione Comunale con atto di intesa del 20 luglio 2010 tra il Commissario Delegato per la Ricostruzione, Presidente della Regione Abruzzo, il Sindaco del Comune di Acciano e il Presidente della Provincia di L'Aquila come previsto dall'art. 2, del Decreto del Commissario Delegato per la Ricostruzione, n. 3 del 09 marzo 2010; deliberato dal Comune con atto del n. 9 del 10 giugno 2011. Con delibera del Consiglio Comunale n. 10 del 10 giugno 2011 il Comune ha individuato e perimetrato degli ambiti del Piano di Ricostruzione; una revisione degli ambiti è stata deliberata con Decreto n. 4 del 28 febbraio 2012.

6. Cfr. G. PAGNANO, *Il rilievo analitico urbano come guida e controllo dell'intervento*, in *Le Vie dei Mercanti, rappresentazione come governo della modificazione*, Atti del Secondo Forum Internazionale di Studi, Capri 3-4-5 giugno 2004, a cura di C. GAMBARELLA e S. MARTUSCIELLO, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli 2005, pp. 219-220.

7. Cfr. G. CHIARIZIA, M. L. LATINI, P. PROPERZI, *Atlante dei castelli d'Abruzzo. Repertorio sistematico delle fortificazioni*, editore CARSA (collana Il patrimonio artistico d'Abruzzo), Pescara 2002.

Cfr. L. QUILICI, S. QUILICI GIGLI, *Fortificazioni antiche in Italia: età repubblicana*, L'ERMA di BRETSCHNEIDER, Roma 2001.

8. Cfr. C. RAFFAELLI, S. PORZILLI, "Castles and fortified systems in Abruzzo: the case study of Acciano", in S. BERTOCCI, S. PARRINELLO, G. PANCANI (a cura di), *Atti del Convegno Internazionale di Studi, Poppi (AR), 7-13 Maggio 2012, Between East and West, transposition of cultural systems and military technology of fortified landscapes*. Edifir, Firenze 2012, pp. 224-226.

9. Il rilievo laser scanner dei centri storici è stato eseguito effettuando scansioni dal piano stradale dei vicoli che hanno permesso di acquisire un dato molto dettagliato riferito alla morfologia di tutti i profili esterni degli aggregati. Lo strumento più idoneo a questo tipo di operazione è risultato essere il laser *Leica HDS 7000*, particolarmente adatto al rilievo architettonico, che basandosi sul funzionamento a "differenza di fase" ha un *range* di ripresa fino a oltre 180 m ed una elevata capacità di scansione avendo un campo visivo aumentato sino a 360°x320°, oltre che una maggior velocità di scansione (> 1 milione di punti/secondo) rispetto ad altri strumenti dalle stesse caratteristiche. Una portata maggiore e un grande campo visivo, permettono di rilevare fabbricati più alti con meno stazionamenti e la velocità di acquisizione dati garantisce un maggior numero di scansioni per ogni giorno di attività. Per il rilievo delle coperture degli edifici, che non sono state riprese dalle scansioni eseguite lungo i vicoli, dove il laser ha rilevato fino al livello delle gronde, sono stati individuati dei punti strategici su alture circostanti l'abitato che permettessero visuali il più complete possibile della sommità degli edifici dai due versanti. Per poter effettuare questo tipo di scansioni è stato necessario utilizzare lo strumento con tecnologia a "tempo di volo" *Leica ScanStation C10* che ha un *range* di ripresa intorno ai 300 m anche se con tempi di scansione più lunghi.

10. Fare riferimento al *Sottoparagrafo 2.2.1.*

11. Si definisce unità edilizia, un'unità organica costituita da un edificio, o parte di edificio, realizzato e trasformato con interventi unitari, comprendente tutti gli elementi costruttivi, distributivi e funzionali necessari alla sua utilizzazione e le sue pertinenze, anche scoperte, purché funzionalmente e catastalmente connesse. Nel caso di un insieme di più edifici in aderenza, ciascuna porzione funzionalmente autonoma (da terra a tetto) rispetto a quelle attigue, è identificabile come autonomo edificio e dà luogo ad una propria U.E. Si distingue pertanto da quelli adiacenti per unitarietà ed autonomia d'impianto, stilistico-architettonica, tipologica e storica. Qualora due edifici aderenti costruiti originariamente come U.E. indipendenti, siano stati organicamente connessi dal punto di vista funzionale e distributivo, sono da considerare un'unica U.E.

12. Fare riferimento alla Nota 17 del Capitolo 2.

13. Fare riferimento alla Nota 1 del Capitolo 1.

14. Cfr. G. MINUTOLI, *La ricostruzione post sismica di Messina (1909-1939): l'edificato "minore", tecniche costruttive e uso dei materiali contemporanei*, Alinea, Firenze, 2012, p. 15.

15. L'amministrazione comunale ha deciso, in fase di redazione del Piano di Ricostruzione, di affiancare al gruppo di ricerca del Dipartimento di Architettura Disegno Storia Progetto dell'Università di Firenze la Geologa Dot.ssa Valeria D'Andrea che ha stilato l'analisi dell'assetto geologico e geomorfologico dei versanti presente nella Relazione Tecnica del P.d.R., permettendo al gruppo di ricerca di poter approfondire gli aspetti legati alla morfologia dei luoghi e alle pericolosità connaturate alle condizioni geologiche.

16. La necessità di individuare all'interno del territorio nazionale zone maggiormente colpite dai sismi, ha portato alla stesura di diversi testi di storia sismica legata alle problematiche trattate dagli studi di Microzonizzazione Sismica che hanno avuto un forte sviluppo scientifico negli ultimi 40 anni, anche se l'importanza delle caratteristiche di resistenza e stabilità dei suoli in prospettiva sismica era emersa già in epoca passata. Gli studi di Microzonizzazione Sismica e storia sismica hanno l'obiettivo di razionalizzare la conoscenza sulle alterazioni che lo scuotimento sismico può subire in superficie, restituendo informazioni utili per il governo del territorio, per la progettazione, per la pianificazione, per l'emergenza e per la Ricostruzione post-sisma. Nella pianificazione territoriale, in funzione delle varie scale e dei vari livelli di intervento, questi studi sono condotti su quelle aree per le quali il quadro normativo consenta o preveda l'uso a scopo edificatorio o per infrastrutture, la loro potenziale trasformazione a tali fini, o ne preveda l'uso ai fini di protezione civile.

17. Cfr. Ministero per i Beni e le Attività Culturali - Dipartimento per i Beni Culturali e Paesaggistici - Direzione Generale per i Beni Architettonici e Paesaggistici, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, Gangemi Editore, Roma 2006, p. 37.

18. Per ulteriori approfondimenti sulla "storia sismica" Cfr. Cd allegato al testo, E. BOSCHI, G. FERRARI, P. GASPERINI, E. GUIDOBONI, G. SMERIGLIO, G. VALENSISE, *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980*, ING-SGA., Bologna 1995.

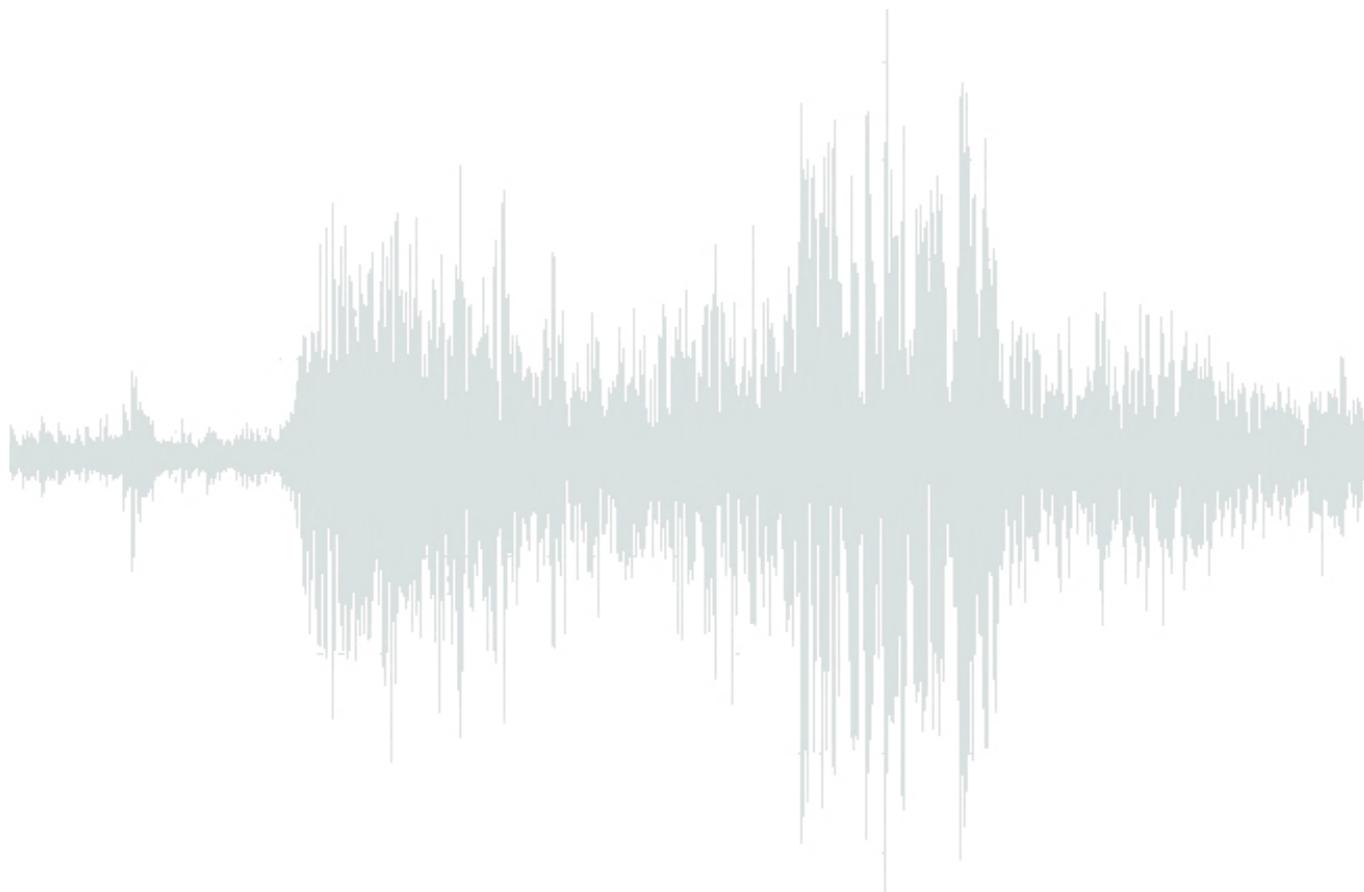
19. Bisogna riconoscere, con Giovanni Carbonara, che nelle architetture storiche non documentate, l'unico supporto filologico alla conoscenza della fabbrica è la lettura diretta degli elevati murari. Cfr. G. CARBONARA, Presentazione, in *Tecniche costruttive dell'edilizia storica. Conoscere per conservare*, a cura di D. FIORANI, D. ESPOSITO, Viella, Roma 2005.

20. Non si tratta di vera pozzolana è una calce idraulica che localmente è chiamata pozzolana.

21. Cfr. A. DI NUCCI, *L'arte di costruire in Abruzzo, tecniche murarie nel territorio della Diocesi di Valva e Sulmona*, Gangemi Editore, Roma 2009.

22. "La superficie complessiva (Sc) è costituita dalla superficie utile abitabile aumentata del 60% della somma della superficie non residenziale e della superficie dei parcheggi:  $Sc = Su + 60\% (Snr + Sp)$

- Superficie utile abitabile (Su) si intende la superficie di pavimento degli alloggi misurata al netto dei muri perimetrali e di quelli interni, delle soglie di passaggio, degli sguinci di porte e finestre, delle scale interne e degli armadi a muro nella misura massima del 5% della Su.
- Per superficie non residenziale (Snr) - si intende la superficie risultante dalla somma delle superfici di pertinenza degli alloggi - quali logge, balconi, cantinole e soffitte - e di quelle di pertinenza dell'organismo abitativo - quali androni d'ingresso, porticati liberi, volumi tecnici, centrali termiche ed altri locali a servizio della residenza - misurate al netto dei muri perimetrali e di quelli interni; la superficie del vano scala di collegamento a più unità abitative, ivi compresi i pianerottoli, si calcola in proiezione orizzontale una sola volta; non sono considerate Snr le superfici dei sottotetti solo ispezionabili e/o quando la porzione di sottotetto è di altezza inferiore a mt 2,40; la Snr del vano ascensore si calcola una sola volta in proiezione orizzontale.
- Superficie parcheggi (Sp) - si intende la superficie da destinare ad autorimesse o posti macchina coperti di pertinenza dell'organismo abitativo, comprensivi degli spazi di manovra".



*CONCLUSIONI*

## CONCLUSIONI

Sulla base del lavoro condotto da vari gruppi di ricerca nell'ultimodecennio, nei riguardi dello sviluppo di strumenti operativi atti a definire metodi di analisi, monitoraggio e intervento sugli edifici colpiti dal sisma e, con riferimento alla normativa vigente e agli strumenti applicativi delle norme, ("Linee Guida" e manuali per il consolidamento sismico), vengono proposti in questo lavoro, attraverso l'esperienza maturata nella partecipazione a gruppi di ricerca che hanno condotto studi su casi campione alle diverse scale, da quella architettonica a quella urbana, protocolli metodologici relativi alle specifiche attività per la conoscenza dei manufatti da analizzare, quindi connesse alla disciplina del rilievo e della rappresentazione, che intendono delineare un utile passo in avanti rispetto a quelli sviluppati dalle "Linee Guida" di riferimento. Questo è il senso della trattazione dei vari casi campione sviluppati nei capp. 2, 3 e 4 con dettagliati resoconti delle attività sviluppate, delle tecniche di presa dati e restituzione, della valutazione attenta dei risultati ottenuti. Per comprendere meglio il panorama normativo entro il quale muoversi, è stato ripercorso il processo normativo che ha portato alla definizione degli ultimi riferimenti normativi, inserendolo nel panorama storico nazionale attraverso un excursus sugli approcci al tema della ricostruzione post-sisma nei casi dei più importanti eventi tellurici passati. I casi studio rilevati per questo tipo di ricerca hanno permesso di strutturare il processo di "analisi per la ricostruzione" del patrimonio edilizio danneggiato dal sisma, dalla scala architettonica, con individuazione delle geometrie e dei dissesti degli aggregati in muratura, fino a quella urbana con il rilievo dei centri storici del Comune di Acciano (AQ) per la redazione del Piano di Ricostruzione 2012, includendo anche casi di edilizia di culto e di pregio. I rilievi condotti dal gruppo di ricerca del Dipartimento di Architettura, Disegno, Storia, Progetto della Facoltà di Architettura di Firenze, sono stati eseguiti in funzione di esigenze e finalità preposte ed in contesti diversificati: dalla

"zona rossa" del centro storico di L'Aquila per il rilievo degli aggregati in muratura, ai centri storici del Comune di Acciano nel cratere sismico abruzzese (in una cornice paesaggistica unica) per la definizione della cartografia di riferimento del P.d.R. e la stesura delle relative norme, fino al rilievo del Palazzo del Podestà a Mantova per il monitoraggio e l'individuazione di deformazioni plastiche dei relativi fronti esterni attraverso il confronto fra data base eseguiti prima e dopo il sisma del 2012. Le diverse problematiche presentate da ogni caso studio, connesse alla progettazione e alla esecuzione dei rilievi post-sisma del patrimonio edilizio storico danneggiato, vengono approfondite su diversi livelli di conoscenza. I casi studio sono tutti riferiti agli ultimi catastrofici eventi tellurici avvenuti sul territorio nazionale: quello del 6 aprile 2009 in Abruzzo e quello del 20 maggio 2012 in Emilia. Le metodologie di rilevamento utilizzate per lo svolgimento delle ricerche sono state quelle proposte dalle tecnologie di ultima generazione - come l'utilizzo di laser scanner - e da quelle per il rilievo topografico, che, integrate all'occorrenza con le metodologie tradizionali del rilievo diretto, dalla documentazione fotografica e da analisi storico/critico dell'oggetto del rilievo, hanno prodotto risultati interessanti, offrendo la possibilità di sperimentare e strutturare un protocolli metodologici specifici per questo tipo di attività in contesti post-sisma. Il rilevamento attraverso strumentazioni laser scanner è, già da alcuni anni, una delle metodologie di rilievo maggiormente evolute dal punto di vista tecnologico, che offre la possibilità della produzione di un dato tridimensionale, completo in tutti i dettagli, a seconda delle maglie di scansione utilizzate. La possibilità di gestione tridimensionale di tale dato, unita alla visualizzazione con qualità fotografica delle architetture rilevate e documentate nelle nuvole di punti, offrono un controllo complessivo del rilievo eseguito. Risulta quindi di fondamentale importanza un processo di discretizzazione ed elaborazione dei dati

acquisiti, da parte del rilevatore-architetto, che permetta l'utilizzo di tali dati per il raggiungimento degli obiettivi preposti. Ogni caso quindi presenta necessità di analisi diversificate che prevedono elaborazioni calibrate secondo le specifiche esigenze. Nel caso del rilievo degli aggregati urbani nel centro storico di L'Aquila le attività di rilievo integrato fra le metodologie del rilievo laser scanner, del rilievo topografico e di quello diretto, supportate da documentazioni ed analisi preliminari di vario tipo, hanno permesso di acquisire una conoscenza di questi manufatti tale da consentire analisi specifiche riferite alla base del rilievo geometrico che ne ha definito gli aspetti morfologici e architettonici. Queste analisi sono entrate in merito alle valutazioni strutturali e diagnostiche degli aggregati rilevati, consentendo di definire metodologie integrate e specifiche per l'acquisizione, l'elaborazione e la rappresentazione dei dati digitali secondo le possibilità già note della restituzione grafica vettoriale CAD, della modellazione tridimensionale e della archiviazione e gestione GIS del data base del rilievo. Le esperienze condotte sul campo hanno portato ad includere in queste attività anche le analisi relative ad edifici di culto colpiti dal sisma sul territorio abruzzese e al Palazzo del Podestà a Mantova. Per quest'ultimo le esigenze specifiche del rilievo, eseguito dal Dipartimento di Architettura, Disegno, Storia, Progetto di Firenze nel 2012, hanno permesso la sperimentazione delle possibilità di confronto fra due data base di rilievi laser scanner effettuati a cinque anni di distanza, nelle condizioni pre-sisma e post-sisma.

L'opportunità di accedere ai dati del rilievo eseguito dal Centro Ricerche D.I.A.P.R.eM. dell'Università di Ferrara nel 2007, ha permesso di definire una metodologia di confronto e sovrapposizione fra i due rilievi digitali finalizzata al monitoraggio delle deformazioni plastiche relative ai fronti esterni del Palazzo. Questo tipo di indagine ha portato ad elaborazioni grafiche sviluppate specificatamente per dare questo tipo di informazioni. Il rilievo digitale e integrato è stato infine condotto anche alla scala urbana, con il rilievo dei centri storici del Comune di Acciano, per la definizione della cartografia di riferimento per il Piano di Ricostruzione del 2012, realizzato dal gruppo di ricerca del Dipartimento di Architettura, Disegno, Storia, Progetto. Questo tipo di attività, effettuata contestualmente alla schedatura di tutte le unità edilizie dei comparti urbani rilevati, è stata finalizzata, nel quadro delle indagini sui manufatti finalizzate alle esigenze della ricostruzione post-sisma, alla stesura di uno strumento urbanistico, che, sulla base delle indicazioni qualitative e quantitative di un'accurata documentazione dello stato dei luoghi, andasse a definire criteri e metodologie degli interventi di recupero del Piano di Ricostruzione. L'intento di questa ricerca è stato quindi quello di sperimentare e applicare metodologie di rilievo integrato e restituzione grafica 2D e 3D, allo studio e alle analisi delle architetture colpite dal sisma, estendendo e calibrando le ricerche su casi studio diversi che hanno compreso l'impiego del rilievo geometrico a tutti i livelli per un adeguato processo di restauro, recupero e ricostruzione post-sisma.

## Bibliografia

Leonardo Da Vinci, codice A.F.53r, 1452, in AA. VV., *I manoscritti di Leonardo da Vinci. 3. Il codice A/2172 nell'Istituto di Francia*, Roma, 1938.

Piero Sanpaolesi, *Discorso sulla metodologia generale del restauro dei monumenti*, Firenze 1973

Luca Sanpaolesi, *Considerazioni sulle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*, Riferimenti sulla progettazione strutturale, Monografia I della ricerca: *Il comportamento delle strutture portanti di acciaio alle azioni sismiche*, Genova 1977.

Plinius Secundus, *Naturalis Historia*, Torino 1982<sup>1</sup>, 1988<sup>2</sup>, V, libro XXXVI, p. 62

Giannozzo Manetti, *De terraemotu*, Roma 1983.

L. Di Sopra *La vulnerabilità sismica come dimensione generatrice del rischio. Un approccio di scienza del territorio*, in *Teoria della vulnerabilità. Introduzione multidisciplinare*, a cura di L. Di Sopra, Carlo Pelanda, Milano 1984.

L. Nizzi Grifi, *Restauro statico dei monumenti*, Firenze 1987, pp. 10-12.

Clementina Barucci, *La casa antisismica: prototipi e brevetti*, Università degli Studi di Reggio Calabria, Gangemi Editore, 1990.

Irene Cremonini (a cura di), *Rischio sismico e pianificazione nei centri storici*, Firenze 1994.

Francesco Doglioni, Alberto Moretti, Vincenzo Petrini, *Le chiese e il terremoto: dalla vulnerabilità constatata nel terremoto del Friuli al miglioramento antisismico nel restauro, verso una politica di prevenzione*, Trieste 1994;

E. Boschi, G. Ferrari, P. Gasperini, E. Guidoboni, G. Smeriglio, G. Valensise, *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980*, ING-SGA., Bologna 1995.

Luigi Marino (a cura di), *Restauro architettonico*, Alinea, Firenze, 1996.

Luigi Marino, *Il rilievo per il restauro*, Hoepli, Milano, 1997.

Emanuela Guidoboni, *Viaggio nelle aree sismiche: Liguria, basso Piemonte, Toscana, Emilia Romagna, coste e appennino del 91 a.C. al 2000*. Agenzia di protezione civile, Servizio Sismico Nazionale, Roma 2001.

Marco Canciani, *Metodi speditivi di rilievo - Restituzione grafica*, in MURST (Ministero della Ricerca Scientifica e Tecnologica), *Emergenza rilievo*, Edizioni Kappa, Roma, 2001, pp. 259-267.

Giuseppe Centauro, *Laboratorio di Restauro, scritti vari e lezioni (1977/83-2012)*, Lalli Editore, Poggibonsi 2001.

Lorenzo Quilici, Stefania Quilici Gigli, *Fortificazioni antiche in Italia: età repubblicana*, L'Erema di Bretschneider, Roma 2001.

G. Chiarizia, M. L. Latini, P. Properzi, *Atlante dei castelli d'Abruzzo, Repertorio sistematico delle fortificazioni*, editore CARSA (collana Il patrimonio artistico d'Abruzzo), Pescara 2002.

Fulvio Rinaudo, *La tecnica laser scanning: applicazioni architettoniche e urbanistiche*, in *La tecnica del laser scanning: teoria e applicazioni*, a cura di F. Crosilla e R. Galetto, Udine 2003, pp. 134-136.

Silvio Van Riel, *Gli edifici in muratura e la normativa antisismica (1884 - 2003)*, Alinea, Firenze, 2004.

Giuseppe Pagnano, *Il rilievo analitico urbano come guida e controllo dell'intervento*, in *Le Vie dei Mercanti, rappresentazione come governo della modificazione*, Atti del Secondo Forum Internazionale di Studi, Capri 3-4-5 giugno 2004, a cura di C. Gambardella e S. Martusciello, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli 2005, pp. 219-220.

Giorgio Verdiani, *Il rilievo digitale del Castello di Gisors: La campagna di rilievo digitale e le linee guida per la sua elaborazione e restituzione*, in *Il Castello di Gisors, resoconto della Campagna di Rilievo per una ricerca Tipologica e Funzionale*, a cura di M. Bini, Firenze, 2005, pp. 39-48

Emanuele Ruggerone, *Diagnostica strutturale*, Dario Flaccovio Editore, Palermo 2005.

Leandro Bornaz, *Principi di funzionamento e tecniche di acquisizione*, in F. Crosilla, S. Dequa (a cura di), *Laser scanning terrestre*, CISM, Udine 2006.

Silvio Van Riel (a cura di), *Consolidamento degli edifici storici: appunti e note*, Centro Stampa AZ, Firenze, 2007.

Stefania Frateschi, Leonardo Germani, *Linee guida per il recupero architettonico*, Dei Tipografia del Genio Civile, Roma, 2007.

Stefania Franceschi, Leonardo Germani, *Il degrado dei materiali nell'edilizia*, Roma 2007.

Mario Docci, Diego Maestri, *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*, Editori Laterza, Bari, 2009.

Anna Di Nucci, *L'arte di costruire in Abruzzo, tecniche murarie nel territorio della Diocesi di Valva e Sulmona*, Gangemi Editore, Roma 2009.

Ornella Fiadaca, Raffaella Lione (a cura di), *Il sisma ricordare prevenire progettare*, Alinea Editrice, Firenze 2009.

Carmen Genovese, Francesco Valenti. *Restauro dei monumenti nella Sicilia del primo Novecento*, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli, 2010.

Gabriele Guidi, Michele Russo, Jean-Angelo Beraldin, *Acquisizione 3D e modellazione poligonale*, McGraw-Hill, Milano 2010.

Alberto Breschi, *Ricostruire dopo il terremoto "il caso di Castelnuovo (AQ)": analisi e progetto architettonico*, Alinea Editrice, Firenze 2011.

Giovanni Minutoli, *La ricostruzione post sismica di Messina (1909-1939): l'edificato "minore", tecniche costruttive e uso dei materiali contemporanei*, Alinea, Firenze, 2012.

Stefano Bertocci, Marco Bini, *Manuale di rilievo architettonico e urbano*, CittàStudi Edizioni, Torino, 2012.

Riccardo Migliari, *Per una teoria del rilievo architettonico. Primi appunti*. Sta in [www.rappresentazione.net/.../Documenti/Ricerca/Modellazione](http://www.rappresentazione.net/.../Documenti/Ricerca/Modellazione).

#### **Linee Guida e Manuali di riferimento:**

Francesco Doglioni, *Codice di pratica (linee guida) per la progettazione degli interventi di riparazione, miglioramento sismico e restauro dei beni architettonici danneggiati dal terremoto umbro-marchigiano del 1997*, in "Bollettino Ufficiale della Regione Marche", 15, 29 settembre 2000.

Ministero per i Beni e le Attività Culturali - Dipartimento per i Beni Culturali e Paesaggistici - Direzione Generale per i Beni Architettonici e Paesaggistici, *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, Gangemi Editore, Roma 2006.

Francesco Gurrieri (a cura di), *Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica degli edifici*, Regione dell'Umbria, Dei Tipografia del Genio Civile, Roma, 2007.

Dipartimento Protezione Civile ReLUIIS, Ufficio del Vice-Commissario Delegato per la Messa in Sicurezza dei Beni Culturali - Struttura Tecnica di Missione, *Linee Guida per il rilievo, l'analisi ed il progetto di interventi di riparazione e consolidamento sismico di edifici in muratura in Aggregato*, Bozza - ottobre 2010.

Carlo Baggio, Alberto Bernardini, Riccardo Colozza, Livio Corazza, Marianna Della Bella, Giacomo Di Pasquale, Mauro Dolce, Agostino Goretti, Antonio Martinelli, Giampiero Orsini, Filomena Papa, Giulio Zuccaro (a cura di), *Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AeDES)*, Editrice Italiani nel Mondosrl, Roma 2009.



## **Abstract**

This work wants to present the methodologies for integrated architecture survey applied to specific study cases related to the analysis of post-disaster contexts. On the basis of the work in the last ten years, a methodological protocol related to the specific activities, is proposed for the knowledge of the artifacts to be analyzed. These activities are therefore related to the discipline of the survey and representation (regard to the development of operational tools aimed at defining methods of analysis, monitoring and intervention on the buildings affected by the earthquake), and with reference to current legislation and the means of application of the standards (“Guide Lines” and manuals dealing with the seismic consolidation). The study case related to this type of research, made it possible to structure the process of “analysis for reconstruction” of the built heritage damaged by the earthquake, starting from the architectural scale (with an identification of the geometries and instabilities of the aggregates) to the urban one, with the survey of the historic towns of Acciano (AQ) for the preparation of the Reconstruction Plan 2012, also including cases of buildings of worship. The surveys carried out by the research group of the Department of Architecture, Design, History, Project of the Faculty of Architecture in Florence were performed according to

specific needs and purposes. They were also followed through different contexts: from the “red zone” of the historic town of L’Aquila of the aggregates in masonry, to minor historic towns of the city of Acciano, in the seismic Abruzzo “crater”; enabling the definition of the cartography -nexus of the P.d.R. - and its writing. Thereafter they widened to the *Palazzo del Podestà*, in Mantova, for the monitoring and detection of plastic deformation of the related external fronts. The issues raised by each case study, all referring to the latter tragic, telluric events that occurred throughout the country in Abruzzo Region 6th April 2009 and in Emilia Region 20th May 2012, are linked to the design and execution of post-earthquake surveys of the wrecked built heritage, and depth on different levels of knowledge. The survey methods used for carrying out research have been proposed by the latest technologies (such as the use of laser scanner), and by the topographic survey; then, integrated with traditional methods of direct survey and photographic documentation- and historical/ critical object of the survey, have produced interesting results support to existing tools, giving the opportunity to experience and structure a methodological protocol, specific for this kind of activities in post-disaster contexts.



