

**UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE**



**FACOLTÀ DI INGEGNERIA**

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE-ARCHITETTURA**

**La documentazione digitale laser scanner  
per il patrimonio storico architettonico  
danneggiato dal sisma:  
la Chiesa di San Francesco in Amandola**

---

The laser scanner digital documentation for the historical  
architectural heritage damaged by earthquake:  
San Francesco's Church in Amandola

**RELATORE**

Prof. Paolo Clini

**TESI DI LAUREA DI**

Ambra Costantini

**CORRELATORE**

Prof. Ramona Quattrini

A.A. 2018-2019



La luce è l'origine di tutto: allorché colpisce la superficie delle cose ne delinea i profili; producendo le ombre dietro agli oggetti ne coglie la profondità. I confini tra luce e oscurità articolano gli oggetti nella loro forma specifica e li predispongono alle relazioni e ai rapporti; la luce, infatti, garantisce l'autonomia delle cose ma ne prescrive al contempo le relazioni, ed è la luce che crea le connessioni che formano il mondo. È origine di tutto, ma non è una sorgente immobile; è vago movimento, ininterrotto divenire che continuamente reinventa il mondo. L'architettura, che dalla luce onnipresente ritaglia porzioni che fissa in un determinato luogo e che della luce si è incaricata di preservare intatta la vitalità nel trascorrere dei tempi, non è forse l'architettura che rende pure le qualità della luce e assicura ad essa un ruolo privilegiato per il nostro sentire?

(Tadao Ando, *Licht*, in "Jahrbuch für Licht und Architektur", 1993)

Per te Sissi,

due persone,  
un solo DNA,  
una laurea...







# INDICE

---

Introduzione	p. 9
Capitolo 1	p. 13
LA GESTIONE DELL'EMERGENZA PER LA SALVAGUARDIA DEL PATRIMONIO CULTURALE. LO STATO DELL'ARTE: LA DIRETTIVA DEL 23 APRILE 2015	
1.1. La struttura operativa in caso di emergenza	
1.2. Le procedure in caso di emergenza	
1.2.1. La procedura del rilievo dei danni al patrimonio culturale	
1.2.2. La gestione della messa in sicurezza, delle informazioni e degli interventi sul patrimonio danneggiato	
1.3. I disciplinari e gli strumenti operativi alle attività di messa in sicurezza e salvaguardia	
Capitolo 2	p. 39
L'ACQUISIZIONE DEI DATI E LA RAPPRESENTAZIONE	
2.1. Il rilievo e l'acquisizione dei dati metrici: image based e range based	
2.2. La gestione dei dati acquisiti	
Capitolo 3	p. 67
IL CASO STUDIO: LA CHIESA DI SAN FRANCESCO DI AMANDOLA	
3.1. La città di Amandola: inquadramento territoriale e storico	
3.2. La Chiesa di San Francesco e il suo Complesso: descrizione e inquadramento storico	
3.3. Le caratteristiche strutturali delle chiese francescane nelle Marche e la tipologia edilizia	
Capitolo 4	p. 87
GLI STRUMENTI OPERATIVI DEL POST SISMA	

4.1. Rischio sismico in Italia e sismicità di Amandola: inquadramento geologico del territorio del caso di studio

4.2. Analisi diacronica degli scenari del rilievo della chiesa di San Francesco dal 24 agosto 2016

4.2.1. Le schede A-DC di primo e secondo livello: il rilievo del MIBACT

4.2.2. Il quadro fessurativo e il piano di messa in sicurezza

4.3. Lo scenario alternativo del rilievo: tradizione versus contemporaneità

Conclusioni p. 135

Ringraziamenti p. 139

Appendice A p. 141

A1. Elenco dei terremoti storici che hanno interessato il Comune di Amandola

A2. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) realizzata dal comune di Amandola

A3. Ere geologiche e analisi geologica stratigrafica di Amandola

Appendice B p. 151

B1. Scheda di I livello per il rilievo del danno ai beni culturali - chiese (A-DC) del 02/09/2016: Chiesa di San Francesco

B2. Scheda di II livello per il rilievo del danno ai beni culturali - chiese (A-DC) del 21/02/2017: Chiesa di San Francesco

Allegati p. 179

I. Rilievo geometrico ottenuto dalla nuvola di punti della Chiesa di San Francesco

II. Confronto rilievo tradizionale e laser scanner

Bibliografia p. 187

Documentazione storica e fotografica

Analisi strutturale

Rilievo e documentazione digitale

Sitografia

p. 197

Cultural Heritage

Normativa

Rilievo e documentazione digitale

Storia



## INTRODUZIONE

---

Lo studio condotto nell'ambito di questa tesi è collocabile all'interno della disciplina del Digital Cultural Heritage, la quale si occupa delle sperimentazioni e applicazioni delle attuali metodiche di rilievo, come pure della digitalizzazione e ricerca delle soluzioni volte a tutelare i beni architettonici di un territorio.

La Convenzione quadro del Consiglio d'Europa sul valore del patrimonio culturale per la società, meglio nota come "Convenzione di Faro", definisce questa materia come finalizzata a "migliorare il valore del patrimonio culturale attraverso la sua identificazione, studio, interpretazione, protezione, conservazione e presentazione" (Council of Europe Framework Convention on the Value of Cultural Heritage for Society, 2005). All'interno di tale contesto disciplinare, l'obiettivo di questa tesi è di valutare la possibilità di ampliamento di utilizzo del rilievo digitale a edifici danneggiati dai terremoti per la rappresentazione di informazioni geometriche precise e puntuali, per l'uso dei dati della nuvola di punti.

La tutela del patrimonio storico architettonico è in continua evoluzione a causa degli eventi naturali derivanti da azioni esogene ed endogene che negli anni hanno colpito l'Italia. In particolar modo si fa riferimento al sisma del 2016 che ha coinvolto le regioni del Centro Italia con un'estensione territoriale di circa 8.000 kmq, 138 comuni e 293 beni immobili distrutti o gravemente danneggiati.

A causa di questi eventi catastrofici lo studio ha dimostrato che dai dati laser scanner si possono ottenere output utilizzabili in ambiti multidisciplinari, come nello studio dei meccanismi che si innescano nelle strutture in muratura e nella progettazione di interventi di restauro e/o ricostruzione. Ma la pratica, soprattutto in fase di emergenza, tarda ad attivare procedure in cui si utilizzino i dati digitali, in particolare le nuvole di punti.

Le problematiche di un rilievo effettuato in situazione di emergenza sono molteplici. Il sisma del 2016, ad esempio, ha colpito un'area molto vasta (Abruzzo, Lazio, Marche e Umbria), caratterizzata da un tessuto frammentato e diversificato, composto da piccoli comuni densi di un patrimonio storico da salvaguardare. La situazione post sisma, in aggiunta, presenta un incerto stato di conservazione dei beni architettonici superstiti e una documentazione metrica

inadeguata, che in molti casi risulta irreperibile proprio a causa dell'evento catastrofico.

La situazione in cui si trova la documentazione dei beni, che spesso risulta obsoleta o assente per la causa sopra citata, fornisce informazioni che non coincidono con lo stato di fatto, mettendo i rilevatori in condizioni di restituire informazioni di scarso livello e rallentando, di conseguenza, tutto il processo di messa in sicurezza.

Nello specifico, il presente lavoro si incentra sul rilievo della Chiesa di San Francesco di Amandola, situata nelle Marche in provincia di Fermo. Questo edificio, risalente al XIII secolo, appartiene alla tipologia edilizia delle chiese francescane edificate nei territori di Umbria e Marche. Il territorio di Amandola è stato colpito duramente dal terremoto del 2016 e questa chiesa, in particolare, costituisce uno degli edifici che hanno subito maggiori danni.

Nel caso oggetto di studio, una chiesa inagibile a causa del sisma, è stato realizzato un rilievo integrato fra i metodi di acquisizione dei dati della tecnica range based e di quella image based. L'integrazione dei metodi è utilizzata al fine di ottenere un livello di dettaglio ottimale per far fronte agli aspetti critici del sito e riportare le caratteristiche costruttive.

Il laser scanner 3D P40 Leica, utilizzato nel rilievo, si è dimostrato uno strumento dinamico in grado di generare dati tridimensionali utili per ricavare informazioni sia geometriche che strutturali. In una situazione post catastrofe, come quella che si è verificata ad Amandola dopo il 2016, il laser scanner permette di operare con un certo grado di sicurezza per i rilevatori; inoltre, in casi come questi, dove la collaborazione di diversi enti è necessaria, i dati della nuvola di punti ottenuta risultano essere uno strumento flessibile ed efficace.

L'obiettivo di questo rilievo è ottenere rappresentazioni bidimensionali corrette, con un livello di accuratezza tale da consentire il monitoraggio e il controllo delle trasformazioni subite dalla chiesa; inoltre, all'occorrenza, è possibile che diventi uno strumento parte della gestione della prevenzione e ricostruzione legate agli eventi calamitosi.

La nuvola di punti, infatti, si può considerare uno strumento necessario per la valorizzazione e conservazione dei beni architettonici poiché risolve problematiche come la pianificazione di interventi di restauro e conservazione, il monitoraggio delle deformazioni strutturali e dei danni statici e dinamici, il tutto sulla base di rilievi precisi, aggiornati ed effettuati in brevi tempi.

L'utilizzo del laser scanner, nelle procedure di rilievo post sisma, consentirebbe un quadro conoscitivo del manufatto approfondito e dettagliato e restituirebbe una documentazione grafica necessaria alla messa in sicurezza, cosa che, utilizzando un approccio tradizionale, risulterebbe più onerosa e non compatibile con una situazione di emergenza.





## Capitolo 1

# LA GESTIONE DELL'EMERGENZA PER LA SALVAGUARDIA DEL PATRIMONIO CULTURALE. LO STATO DELL'ARTE: LA DIRETTIVA DEL 23 APRILE 2015

---

L'Italia, pur occupando un territorio discretamente piccolo, è ricco di beni culturali mobili e immobili patrimonio dell'umanità. A causa delle sue caratteristiche geologiche e della natura degli insediamenti urbani, la Penisola risulta essere estremamente vulnerabile alle calamità naturali, soprattutto ai terremoti.

In seguito agli ultimi eventi catastrofici quali il sisma dell'Abruzzo del 2009 e quello della Pianura Emiliana del 2012, sono state sperimentate nuove metodologie per il rilievo del danno e per la progettazione e realizzazione di interventi di messa in sicurezza per la salvaguardia del patrimonio culturale. Questa sperimentazione ha portato alla redazione di un documento unitario di riferimento che contiene sia le procedure, sia gli strumenti operativi per la salvaguardia dei beni in caso di emergenza, ovvero la Direttiva 23 aprile 2015, n. 169, G.U. Serie Generale (Legge Franceschini) che si esprime in merito alle "Procedure per la gestione delle attività di messa in sicurezza e salvaguardia del patrimonio culturale in caso di emergenze derivanti da calamità naturali".

La Legge Franceschini è l'aggiornamento della Direttiva 12 dicembre 2013 riguardante le procedure di messa in sicurezza e salvaguardia del patrimonio culturale in situazioni imprevedibili, come quelle possibili in scenari generati da calamità naturali. Gli uffici destinatari della direttiva sono il Segretariato Generale, le Direzioni Generali, i Segretariati Regionali, gli Istituti Centrali Nazionali e dotati di autonomia speciale, gli Istituti Periferici. La finalità del documento è quella di "impartire disposizioni agli uffici al fine di garantire, in caso di emergenza derivante da calamità naturali, la massima tempestività ed efficacia delle azioni finalizzate alla salvaguardia del patrimonio culturale, operando in modo sinergico e coordinato, secondo procedure specifiche, che regolamentino sia le relazioni fra le articolazioni del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo, sia quelle con il servizio nazionale della Protezione Civile."

La gestione dell'emergenza deve svolgersi, in ogni caso, con tempestività e in sicurezza, seguendo le procedure previste dai piani di emergenza se l'evento dannoso coinvolge un solo insediamento (Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 e successive modificazioni apportate dal Decreto del Presidente della Repubblica 30 giugno 1995, n. 418, dal Decreto Ministeriale 20 maggio 1992, n. 569 e dalla circolare del Ministero-Dipartimento per la Ricerca, l'Innovazione e l'Organizzazione 8 ottobre 2004, n. 132). Se invece l'evento catastrofico coinvolge un'area territoriale ampia oppure ha determinato danni elevati, si attua una strategia mirata e in continuità tra le diverse fasi, dal sopralluogo fino alla fase finale di ricostruzione o restauro del patrimonio culturale mobile o immobile.

La struttura operativa prevista dal Ministero consiste nel monitorare e nel coordinare le operazioni con una strategia flessibile per potersi adattarsi alle diverse situazioni. Le fasi della gestione sono suddivise in:

- "procedure" che prevedono il coordinamento fra le strutture esterne all'Amministrazione e le articolazioni centrali e periferiche del Ministero,
- "disciplinari e strumenti operativi" che servono per supportare l'organizzazione individuata.

La parte principale è la "gestione del rischio residuo", affrontata nell'analisi dei rischi, che deve garantire la riduzione dei fattori di esposizione e delle vulnerabilità riguardo a tutti gli eventi prevedibili.

### **1.1. La struttura operativa in caso di emergenza**

La struttura operativa istituita con Decreto del Segretario generale 25 maggio 2012, n. 7 svolge un lavoro di monitoraggio e coordinamento delle situazioni emergenziali ed è articolata in due unità:

1. UCCN-MiBAC, l'Unità di Coordinamento Nazionale che opera presso il Segretario generale;
2. UCCR-MiBAC e le Unità di Coordinamento Regionale che operano presso le sedi dei segretariati regionali del Ministero.

L'UCCN-MiBAC supporta il Segretario generale nelle seguenti attività:

- coordinamento con le istituzioni nazionali esterne al Ministero, in particolare con le strutture del Servizio Nazionale della Protezione Civile

che operano sotto il coordinamento del Dipartimento della Protezione Civile;

- coordinamento tra le strutture centrali e periferiche del Ministero;
- collaborazione con tutte le strutture interessate e, inoltre, esecuzione delle procedure operative ad opera delle squadre di intervento riguardanti le operazioni sul patrimonio culturale (come verifica dei danni, schedature, messa in sicurezza dei beni mobili, recupero e rimozione delle macerie, presidi ed opere di messa in sicurezza, stoccaggio di macerie, allontanamento e ricollocazione di beni mobili, interventi di restauro in situ);
- monitoraggio degli interventi di messa in sicurezza e dei successivi progetti di consolidamento statico e di restauro;
- individuazione degli strumenti informatici e schedografici per gestire le attività che vanno dal monitoraggio delle verifiche sismiche alla gestione dell'emergenza fino alla fase di restauro e di ricostruzione;
- individuazione delle modalità di condivisione delle informazioni territoriali di interesse generale con le istituzioni coinvolte nella pianificazione e gestione delle emergenze.

Le UCCR-MiBAC svolgono il compito di:

- coordinare le attività sul territorio del personale del Ministero;
- garantire il raccordo con le strutture deputate agli interventi in emergenza attraverso i centri di coordinamento di Protezione Civile territoriali, se istituiti, poiché per eventi di limitata estensione o intensità il collegamento avviene direttamente con le strutture territoriali interessate (come le Prefetture, i VVF e le Forze dell'ordine);
- individuare e gestire le squadre di rilievo dei danni al patrimonio culturale;
- individuare i luoghi di ricovero del patrimonio culturale mobile che richiede uno spostamento per la sua messa in sicurezza;
- garantire le funzioni di vigilanza e supporto durante tutte le fasi, comprese quelle di rilievo, messa in sicurezza e ricostruzione del patrimonio danneggiato.

Le UCCR-MiBAC, Unità di Coordinamento Regionale, sono a loro volta suddivise in tre unità operative alle quali corrispondono specifici compiti:

1. l'Unità di rilievo dei danni al patrimonio culturale, con il compito di:
  - a. gestione delle squadre del Ministero impegnate nel rilievo dei danni;
  - b. verifica, scansione delle schede di rilievo e degli allegati, archiviazione digitale;
  - c. archiviazione della documentazione cartacea, come le schede di rilievo,
  - d. le foto, i verbali e i progetti di intervento;
2. l'Unità di coordinamento tecnico degli interventi di messa in sicurezza e spostamento, dove necessario, dei beni architettonici, storico-artistici, archeologici, audio-visivi, archivistici e librari, con i seguenti compiti di:
  - a. coordinamento del personale del Ministero impegnato nelle squadre di messa in sicurezza;
  - b. verifica ed approfondimento delle schede di rilievo in merito agli interventi di messa in sicurezza;
  - c. archiviazione cartacea e digitale della documentazione tecnica (come foto, verbali, progetti di intervento) relativa agli interventi di messa in sicurezza e i successivi interventi di consolidamento e restauro;
3. l'Unità di depositi temporanei e laboratorio di pronto intervento sui beni mobili, con i seguenti compiti di:
  - a. gestione dei depositi temporanei;
  - b. gestione dei laboratori di pronto intervento.

L'obiettivo è l'organizzazione finalizzata ad assicurare la fluidità delle azioni di comando, garantita da una gerarchizzazione delle funzioni: tutti gli enti coinvolti dovranno concordare con il Segretario generale ogni iniziativa, mentre tutti gli istituti del Ministero con sede territoriale dovranno far riferimento al Segretariato Regionale, sia per le comunicazioni dei danni subiti sia per gli interventi di rilievo e messa in sicurezza (Circolare del Segretario generale 29 maggio 2012, n. 24). Inoltre, il Segretario generale stabilisce, con Decreto 20 giugno 2012, n. 8, che il Comando tutele del patrimonio culturale concorre, come ufficio di diretta collaborazione del Ministro, con le unità operative per:

- a. la cooperazione con i tecnici del Ministero, il personale delle Diocesi e dei Vigili del Fuoco nelle attività interessate dal sisma;

- b. la messa in sicurezza delle opere, collaborando con i soggetti interessati nella gestione dell'emergenza;
- c. fornire assistenza al trasporto delle opere spostate presso i luoghi di ricovero;
- d. mediare con l'Arma territoriale e coordinarsi con le altre Forze dell'ordine, per organizzare una vigilanza dinamica relativa agli obiettivi sensibili.

## **1.2. Le procedure in caso di emergenza**

La fase di emergenza crea un modello gestionale adeguato ad ogni situazione per poter garantire una struttura, delle procedure e degli strumenti operativi specifici. Quello che viene a formarsi è una “filiera di attività” che stabilisce i compiti operativi, la pianificazione delle risorse umane e finanziarie e infine la sinergia tra le istituzioni coinvolte. Il modello gestionale infatti disciplina:

- l'attivazione della struttura operativa e le comunicazioni fra la struttura centrale e territoriali, sia immediate che “a regime”, su tutte le attività svolte, come il rilievo, la messa in sicurezza, la ricostruzione, le indagini ed attività preventive;
- il coordinamento con le strutture di Protezione Civile e con gli enti coinvolti;
- le attività di rilievo dei danni al patrimonio culturale;
- le attività di messa in sicurezza dei beni immobili e mobili, le attività di allontanamento, ricovero e primo intervento dei beni danneggiati;
- la gestione dei depositi temporanei e dei laboratori di pronto intervento sui beni mobili;
- la gestione delle informazioni.

Inoltre, è previsto il monitoraggio dalla progettazione degli interventi di messa fino al restauro dei beni culturali danneggiati. Per quanto riguarda i beni culturali di interesse religioso ogni intervento previsto su di essi sarà eseguito in collaborazione con le istituzioni ecclesiastiche responsabili (Protocollo attuativo 4 maggio 2014 fra il Ministero e la Conferenza Episcopale Italiana, ai sensi dell'Intesa 26 gennaio 2005).

La procedura di attivazione della struttura operativa e delle comunicazioni, dopo un evento emergenziale, prevede la mobilitazione di una serie di processi normati come segue:

- I Decreti n. 7 del 25 maggio 2012 e n. 8 del 20 giugno 2012 stabiliscono il primo meccanismo che si attiva, ovvero l'UCCR-MiBAC, da parte dei segretari regionali su disposizione dell'UCCN-MiBAC del Segretario generale, secondo i rispettivi decreti istitutivi e con la composizione idonea alla tipologia di evento, alla localizzazione ed estensione territoriale. Il coordinatore dell'UCCN-MiBAC trasmetterà le informazioni ricevute dall'UCCR-MiBAC al Segretario generale, che a sua volta informerà il Ministro ed il comitato operativo della Protezione Civile, qualora convocato.
- Su disposizione del Segretario regionale che coordina e è responsabile di tutte le attività, l'UCCR-MiBAC pianifica ed organizza l'attività di rilievo dei danni e di interventi di messa in sicurezza dei beni immobili e mobili e per questi ultimi l'eventuale intervento di recupero e sistemazione in depositi temporanei. Il Segretario regionale coordinerà la gestione dei depositi temporanei e degli eventuali laboratori di pronto intervento. Mentre la collocazione dei beni culturali mobili nei depositi temporanei richiede la collaborazione con il Comando Carabinieri Tutela e Patrimonio Culturale (TPC) e con gli Istituti del Ministero affinché individuino i luoghi più idonei in relazione sia alle esigenze di sicurezza sia di conservazione dei beni. Per i beni mobili ecclesiastici, art. 6 comma 5 dell'intesa fra il Ministero e la Conferenza Episcopale Italiana del 26 gennaio 2005 e dell'art. 4 del protocollo attuativo del 4 dicembre 2014, il Segretario regionale con il Vescovo delegato per i beni culturali ecclesiastici della Conferenza Episcopale Regionale individueranno eventuali depositi temporanei presso musei ecclesiastici presenti sul territorio. Il coordinatore dell'UCCR-MiBAC è garante del raccordo per la gestione dell'emergenza con i centri di coordinamento della Protezione Civile in funzione dell'entità e dell'estensione dell'evento.
- L'UCCR-MiBAC aggiorna tempestivamente di tutte le informazioni l'UCCN-MiBAC. Nelle prime settimane l'aggiornamento è a cadenza quotidiana, successivamente settimanale.
- Il coordinatore dell'UCCR-MiBAC ha il compito di inviare all'UCCN-MiBAC la scheda di monitoraggio delle attività, allegata alle procedure e

progressivamente compilata ed aggiornata in funzione dell'evolversi delle attività svolte. La condivisione delle informazioni (tutte le schede compilate nella prima e nella seconda fase del rilievo) avviene tramite l'applicativo Community Ministero.

La normativa indica che in caso di eventi catastrofici di estensione e intensità elevate la procedura per il coordinamento con le strutture di Protezione Civile veda, a livello centrale, il coordinamento e la direzione unitaria delle attività in emergenza da parte del Comitato operativo della Protezione Civile, che stabilisce gli interventi delle amministrazioni e degli enti interessati al soccorso (art. 10 della legge 24 febbraio 1992, n. 225 e dall'art. 5 comma 3ter del Decreto Legge 7 novembre 2001, n. 343 convertito in n. 401 con modificazioni dalla Legge 9 novembre 2001).

In caso di evento di rilevanza nazionale il Dipartimento, dopo aver raccolto ogni informazione sia sugli interventi attuati sia sulle misure adottate a livello locale e regionale e secondo la valutazione del Capo del Dipartimento della Protezione Civile, convoca il Comitato operativo della Protezione Civile e attiva le diverse componenti e strutture operative che gestiscono l'emergenza in coordinazione con i livelli territoriali.

Qualora sia necessaria la presenza in loco di una struttura di coordinamento nazionale viene convocata dal Dipartimento della Protezione Civile la DICOMAC (Direzione di Comando e Controllo), che opera in continuità con il Comitato operativo. Inoltre, il Ministero invia i propri rappresentanti presso la DICOMAC che, in raccordo con l'UCCR, parteciperanno alle attività con funzione di supporto al censimento danni e agibilità post evento delle costruzioni previste dal Programma nazionale di soccorso per il rischio sismico, nonché, alle riunioni di coordinamento, garantendo il collegamento con le strutture del Ministero. Questo raccordo risulta una strategia efficace, in grado di operare sia a livello centrale sia periferico, poiché le attività, come il censimento, il rilievo del danno e la messa in sicurezza e l'eventuale allontanamento e ricollocazione dei beni culturali, avvengono nei termini previsti dalle leggi vigenti in materia di Protezione Civile.

La valutazione del patrimonio immobiliare e mobiliare avviene attraverso dei sopralluoghi, organizzati dal Ministero, al fine di procedere alla messa in sicurezza e all'eventuale movimentazione. Il sopralluogo e la messa in sicurezza si svolgono in coordinamento con la funzione di Censimento danni e agibilità post-evento delle costruzioni. I sopralluoghi sono effettuati tramite

squadre specialistiche che procederanno alla compilazione delle schede di rilevamento del danno, avvalendosi del supporto del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, per il tramite delle rappresentanze presenti in DICOMAC.

Nel caso si verifichi evento catastrofico di minor rilevanza, il coordinamento seguirà il modello organizzativo di Protezione Civile rispettando le competenze regionali, provinciali e comunali e il livello territoriale coinvolto. Mentre, a livello provinciale e secondo il modello adottato in ambito regionale, si attiva il centro di coordinamento di Protezione Civile con il compito di dirigere unitariamente gli interventi da coordinare con i Sindaci dei comuni interessati e in raccordo con la DICOMAC se istituita. Nel caso in cui l'estensione dell'area colpita sia sovracomunale vengono attivati i Centri operativi intercomunali e i rappresentanti del Ministero parteciperanno ai Centri di coordinamento di livello provinciale o intercomunale attraverso il diretto raccordo con la DICOMAC se istituita. Nell'eventualità che l'evento catastrofico non preveda l'attivazione del Comitato operativo della Protezione Civile, in ogni caso si farà riferimento al protocollo d'intesa tra il Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo, il Segretariato generale e il Ministero dell'Interno, il Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso pubblico e della Difesa civile.

### **1.2.1. La procedura del rilievo dei danni al patrimonio culturale**

Le procedure del rilievo dei danni si attivano con tempestività subito dopo l'evento catastrofico con l'Unità di crisi e coordinamento regionale (UCCR-MiBAC), il settore dedicato al rilievo dei danni al patrimonio culturale. Tale unità, come dice lo stesso nome, procede al rilievo dei danni immobili e mobili strutturato in due fasi: la prima speditiva detta di primo livello, la seconda di approfondimento definita di secondo livello.

L'attività di rilievo del danno ha la funzione specifica di valutare i danneggiamenti e formulare previsioni di possibili ulteriori aggravamenti subiti dal patrimonio culturale mobile ed immobile; inoltre, vengono valutate le eventuali opere provvisorie per evitare danni aggiuntivi alle strutture e per salvaguardare i beni mobili contenuti all'interno degli stessi.

L'attività di sopralluogo è organizzata in funzione dell'entità dell'evento e programmata in coordinamento con i centri operativi di Protezione Civile valutando gli specifici ambiti di intervento e delle eventuali esigenze segnalate



dalle strutture operative della Protezione Civile nazionale, ma soprattutto della reale accessibilità dei luoghi.

Il rilievo del danno consiste di due fasi specifiche di pari importanza poiché determineranno tutte le operazioni successive da intraprendere.

- I. La prima fase è la ricognizione speditiva, in cui ci si avvale dell'aiuto delle schede per il rilievo speditivo del danno sul patrimonio culturale in caso di calamità naturale. L'accento di questa fase è la tempestività; infatti l'obiettivo è l'individuazione della tipologia, dell'ampiezza territoriale e della quantità del danno. Inoltre, si devono valutare le eventuali attività di pronto intervento per la salvaguardia dei beni culturali danneggiati o a rischio di un aggravamento del danno e infine soppesare sulle priorità dei successivi rilievi. I dati raccolti in questa fase serviranno alla precompilazione delle schede di rilievo di dettaglio del danno.
- II. La seconda fase riguarda la rilevazione di dettaglio del danno, la quale serve a raggiungere una stima più approfondita del danno e a valutare la messa in sicurezza, gli interventi di restauro del patrimonio culturale mobile e l'agibilità per le chiese.

Le squadre che effettuano i sopralluoghi pianificano le operazioni da compiere tenendo conto di diversi aspetti che riguardano l'area interessata dall'evento: gli immobili in consegna al Ministero, i beni di particolare rilevanza, le segnalazioni degli enti preposti, come gli enti locali, i Vigili del Fuoco e dei possessori di beni, come le Diocesi, gli enti pubblici e i privati, le segnalazioni da parte degli uffici periferici del Ministero o delle altre amministrazioni.

Inoltre, per i rilievi riguardanti la seconda fase si tengono conto dei risultati dei sopralluoghi speditivi, delle condizioni di accessibilità e del livello di danneggiamento.

Il rilievo di prima fase viene effettuato durante il sopralluogo da parte dei tecnici del Ministero, selezionati valutando la tipologia di appartenenza del bene per una più specifica analisi. Poiché tali sopralluoghi hanno come obiettivo il quadro generale della distribuzione del danno sul territorio, devono realizzarsi in tempi stretti per poter, poi, passare alla fase successiva del rilievo di seconda fase.

Una volta realizzato il rilievo speditivo il coordinatore dell'unità di rilievo dei danni ha il compito di garantire una serie di operazioni:

1. l'aggiornamento quotidiano della scheda di monitoraggio delle voci «anagrafica del bene» e «fase del rilievo del danno» (vedi Fig. 1.3.1. Scheda di monitoraggio);
2. il controllo sulla completezza dei dati essenziali rilevati;
3. la trasmissione delle schede di rilievo speditivo del danno all'unità di coordinamento tecnico degli interventi di messa in sicurezza.

I risultati ottenuti in questa prima fase permetteranno la pianificazione dei sopralluoghi della seconda fase e degli interventi di messa in sicurezza.

Il coordinatore dell'unità di rilievo dei danni al patrimonio culturale in raccordo con il centro di coordinamento di Protezione Civile attivato sul territorio costituiranno le squadre e pianificheranno l'itinerario dei sopralluoghi di seconda fase in base alle condizioni di accessibilità rilevate in fase speditiva.

Per quanto riguarda gli edifici di particolare rilevanza architettonica e culturale, come le chiese e i palazzi, è previsto un apposito tavolo interistituzionale al fine di ottenere una definizione e una programmazione specifica delle attività di rilievo del danno, dell'agibilità e degli interventi di messa in sicurezza.

Successivamente al rilievo di seconda fase, il coordinatore dell'unità di rilievo dei danni al patrimonio culturale deve garantire:

1. l'aggiornamento quotidiano della scheda di monitoraggio relativa alle sezioni «anagrafica del bene» e «fase del rilievo del danno»;
2. il controllo dei dati rilevati, con l'eventuale supporto di esperti strutturisti;
3. l'eventuale necessità di ulteriori sopralluoghi laddove non risultassero esaustive le informazioni rilevate o a seguito di aggravamenti del danno rilevato;
4. la scansione digitale delle schede di rilievo e degli allegati, la loro archiviazione digitale secondo le specifiche fornite dall'UCCN e l'inserimento nell'applicativo Community Ministero, una volta completata la compilazione dei dati;
5. l'archiviazione di tutta la documentazione cartacea acquisita ed il backup su proprio server dei dati;
6. lo scambio dei risultati dei sopralluoghi con i centri di coordinamento di Protezione Civile.

Le informazioni apprese dai rilievi andranno a completare la stima dei costi degli interventi di messa in sicurezza del patrimonio mobile ed immobile e la valutazione dei costi di ripristino e consolidamento effettuata dall'UCCR e eventualmente, attraverso un gruppo di tecnici specializzati usando parametri e modelli di valutazione elaborati e condivisi con l'UCCN, al fine di ottenere un'omogeneità nei risultati per tipologie di danno per l'intero territorio nazionale con un'unica variabile legata ai prezzari di riferimento.

Al fine di ottenere risultati specifici e dettagliati potrebbe essere necessario effettuare un ulteriore sopralluogo per realizzare una stima dei costi degli interventi di messa in sicurezza, salvaguardia delle opere d'arte e pronto intervento. In questo caso saranno convocati i tecnici dell'unità operativa di coordinamento tecnico degli interventi di messa in sicurezza sui beni architettonici, storico-artistici, archeologici, archivistici e librari.

Nella composizione delle squadre verranno coinvolti tecnici con formazione ed addestramento già acquisiti e, in parallelo, verrà organizzata la formazione di altre unità di personale da inserire nelle squadre in un secondo momento. Per quanto riguarda il Ministero, la formazione del personale delle squadre di rilievo di prima e seconda fase sarà effettuata preferibilmente in tempo ordinario, presso tutte le UCCR ed in coordinamento con l'UCCN, con periodici incontri formativi e di aggiornamento. Una formazione specifica e divulgata mette a disposizione personale formato proveniente da uffici del Ministero e non operante in aree interessate dall'evento. Oltre alle conoscenze specifiche richieste, la formazione del personale tecnico fornirà le nozioni fondamentali per la compilazione delle schede e le informazioni sui rischi connessi all'attività legata all'emergenza nella situazione. Le squadre di rilievo, una volta formate e dopo aver sottoscritto la consegna in un apposito verbale, saranno dotate di un disciplinare operativo per il rilievo del danno al patrimonio culturale, l'attrezzatura e i dispositivi di protezione individuale.

### **1.2.2. La gestione della messa in sicurezza, delle informazioni e degli interventi sul patrimonio danneggiato**

La pianificazione e la gestione degli interventi di messa in sicurezza del patrimonio culturale mobile e immobile è effettuata dal coordinatore dell'unità operativa di coordinamento tecnico degli interventi di messa in sicurezza sui beni architettonici, storico-artistici, archeologici, audio-visivi, archivistici e librari,

coordinandosi con i centri di Protezione Civile su riferimento di quanto descritto nelle schede del rilievo speditivo.

A seguito del rilievo di seconda fase dei beni immobili, verrà riunita la commissione dei tecnici che hanno effettuato il sopralluogo per definirne l'intervento di messa in sicurezza, che dovrà compilare le sezioni relative alla descrizione delle opere di pronto intervento delle schede modello A-DC e B-DP. Le schede, dopo la compilazione, si dovranno trasmettere all'unità operativa di rilievo dei danni al patrimonio culturale dell'UCCR per il perfezionamento e per le successive archiviazioni.

L'organizzazione degli interventi sarà pianificata in base alle condizioni di agibilità e sicurezza e valutando i diversi ambiti di operazione e delle esigenze segnalate dalla Protezione Civile e dai Vigili del Fuoco. Queste operazioni riguarderanno la messa in sicurezza dei beni con la realizzazione di opere provvisorie e di interventi necessari per evitare o limitare ulteriori danni alle strutture, aggravamenti di danno al patrimonio culturale in esse contenuto e rischi per l'incolumità delle persone; nello specifico tali interventi riguardano:

- a. le strutture per la messa in opera di presidi che forniscono una risorsa aggiuntiva nei confronti di meccanismi di rottura già attivati o in fase di attivazione;
- b. il patrimonio culturale mobile sia per la messa in sicurezza in loco con i presidi che li preservino da agenti esterni dannosi, sia per lo spostamento in depositi temporanei.

La messa in sicurezza del patrimonio immobile avviene secondo schemi standard di riferimento tenendo conto del rispetto della compatibilità architettonica del bene.

Nel caso in cui l'intervento risulti complesso e quindi le procedure standard non applicabili, la progettazione sarà compito di tecnici competenti selezionati dal Ministero e in seguito il progetto sarà verificato dal gruppo che ha effettuato le precedenti valutazioni, riguardo alla compatibilità architettonica e tutela dei beni culturali presenti; inoltre, saranno sottoposti alla stessa verifica tutti i progetti di messa in sicurezza elaborati da parte dei vari enti interessati. Nel momento in cui si verificano i progetti di messa in sicurezza, un fattore di rilevanza lo possiede il costo dell'intervento; se questo risulta elevato si procederà direttamente al progetto di restauro, ricostruzione o consolidamento in modo tale da avanzare più celermente.

La messa in sicurezza viene eseguita da ditte specializzate o dai Vigili del Fuoco, con l'ausilio di attrezzature messe a disposizione del Ministero o da altre istituzioni o privati. Se durante la messa in sicurezza si devono spostare dei beni mobili, gli addetti del Ministero provvedono alla compilazione della scheda del rilievo del danno ai beni mobili modello C-BM e alla compilazione dell'apposita scheda di accompagnamento dei beni mobili rimossi e della scheda di intervento sui beni mobili, contenente l'elenco di tutti i beni rimossi, corredato dall'indicazione del luogo di originaria collocazione nell'immobile e la dislocazione al suo interno e, inoltre, dai rispettivi luoghi di ricovero. Per gli interventi d'emergenza della messa in sicurezza del patrimonio culturale e gli interventi emergenziali occorre precisare che per gli immobili demaniali in consegna al Ministero sussiste l'obbligo di intervenire tempestivamente, mentre per gli immobili di interesse culturale non in consegna al Ministero l'intervento è subordinato all'acquisizione della dichiarazione del possessore dell'indisponibilità di risorse proprie agli interventi di messa in sicurezza nei tempi prescritti, in seguito alla fase di rilievo del danno (art. 204, comma 4, Decreto Legislativo 12 aprile 2006, n. 163 e successive modificazioni; artt. 175 e 176 del Decreto del Presidente della Repubblica 5 ottobre 2010, n. 207 e successive modificazioni).

In merito alla rimozione o allontanamento delle macerie di immobili di interesse culturale, il personale del Ministero fornirà le necessarie indicazioni operative.

Il Ministero si adopera alla salvaguardia e tutela dei beni culturali oltre livello di danneggiamento, ma nel momento in cui si esige garantire la pubblica incolumità, a causa delle situazioni eccezionali, si deve intervenire con opere di smontaggio di parti di immobili; tali operazioni sono dirette dai tecnici del Ministero. A interventi ultimati, il personale dell'unità di coordinamento tecnico degli interventi di messa in sicurezza dell'UCCR inserirà tutta la documentazione tecnica nell'applicativo Community Ministero, riguardante gli interventi di messa in sicurezza e quelli successivi di consolidamento e restauro.

Le procedure per la gestione dei depositi temporanei e dei laboratori di pronto intervento sui beni mobili vengono gestite dall'Unità operativa depositi temporanei e laboratori di pronto intervento sui beni mobili, che esegue una serie di procedure per la gestione dell'emergenza riguardante tutti i beni mobili, come: l'inventariazione dei beni; la verifica della schedatura effettuata in occasione del prelevamento; l'abbinamento con la scheda di catalogo se non effettuato in precedenza; la verifica dello stato di conservazione dell'opera e la

sua registrazione sul modulo nominato schede di pronto intervento fornito dall'UCCN; la predisposizione di documentazione fotografica; la valutazione delle operazioni da eseguire e la loro registrazione; gli interventi di messa in sicurezza, la loro registrazione sul modulo schede di pronto intervento con documentazione fotografica; l'attribuzione del codice urgenza; l'idonea collocazione nel deposito; l'inserimento in un sistema informativo del Ministero delle schede di pronto intervento; l'aggiornamento delle schede di intervento in funzione delle attività di pronto intervento effettuate nel laboratorio.

L'attività sui beni mobili, come la gestione dei depositi e dei laboratori, viene gestita dall'unità operativa con il supporto delle soprintendenze e degli istituti centrali del Ministero, come l'Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro (ISCR), l'Opificio delle Pietre Dure e l'Istituto centrale per il restauro e la conservazione del patrimonio archivistico e librario. La gestione avviene con il continuo aggiornamento informatico dell'ISCR, permettendo all'UCCN e ai possessori dei beni il monitoraggio dei beni presenti nei depositi e delle attività di pronto intervento. La validità di questo sistema informatico si basa sul continuo aggiornamento ad opera del coordinatore dell'unità operativa, che rende tracciabile ogni bene e mostra lo stato di avanzamento del pronto intervento.

L'informatizzazione e l'archiviazione su sistemi web è alla base della gestione delle informazioni, garantendo così la condivisione immediata dei documenti e quindi un'efficace gestione delle attività in fase emergenziale. I sistemi condivisi sono validi per ogni situazione, soprattutto in quelle di emergenza, poiché offrono un controllo sui dati circolanti evitandone la duplicazione. Tali sistemi condivisi saranno esclusivamente quelli predisposti dall'amministrazione centrale:

- per la condivisione della documentazione come le schede di rilievo dei danni, le schede di intervento sui beni mobili o quelle di monitoraggio si utilizza l'applicativo «Community Ministero» della rete intranet del Ministero, dove si raccolgono i progetti sviluppati dal Ministero, sotto un'area riservata, accessibile solo ai soggetti coinvolti;
- per l'archiviazione dei dati relativi al rilievo del danno alle chiese ed ai palazzi si utilizzano i due applicativi A-DCWeb e B-DPWeb, predisposti per l'archiviazione delle schede derivanti da diversi eventi sismici, accessibili dalla rete intranet e da Internet tramite opportune credenziali; tali applicativi gestiscono l'archiviazione informatizzata di tutte le informazioni

raccolte durante il rilievo del danno, consentendo di accedere velocemente ai risultati dei rilievi e quindi di avere informazioni immediate sullo stato di danno e sulla stima sommaria dei costi di riparazione-rinforzo;

- per l'archiviazione dei dati relativi al contenuto delle schede di pronto intervento sui beni rimossi si utilizza il sistema informativo territoriale Carta del rischio, disponibile presso l'Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro.

Per la condivisione delle informazioni territoriali utili alla pianificazione e gestione delle emergenze di Protezione Civile, il Ministero collabora con il Dipartimento della Protezione Civile per l'interscambio e la consultazione dei dati (art. 58, Decreto Legislativo n. 82 del 2005, Codice dell'amministrazione digitale, e nell'ambito delle intese esistenti in materia di realizzazione, gestione e sviluppo di banche dati di interesse comune).

La gestione della fase di progettazione e degli interventi di ricostruzione, consolidamento e restauro dei beni culturali danneggiati in una area estesa richiede un'organizzazione e una procedura specifica per garantire la corretta gestione delle risorse pubbliche. Il controllo è possibile grazie all'attivazione di verifiche puntuali in corso d'opera, che monitorano progressivamente le attività fino al loro completamento.

Per questo motivo una specifica conferenza dei servizi in seduta permanente valuterà e approverà i progetti relativi ai beni culturali, esaminando progetti e computi sulla base di uno schema di elaborati fisso e particolareggiato. Questo consiste nel rinviare in presenza di documenti incompleti, bocciare con adeguate motivazioni e approvare con prescrizioni da realizzare in corso d'opera.

Nella fase di presentazione dei progetti, i professionisti saranno chiamati a rispettare i parametri e i requisiti previsti dalla normativa di riferimento. Tale dichiarazione va confermata dall'impresa appaltatrice che, come per le Pubbliche Amministrazioni, ne attesta la correttezza, la fattibilità delle opere progettate e la conformità del progetto. Questo iter serve a garantire il rapido avvio degli interventi di ricostruzione e un sistema di controlli in corso d'opera. I controlli sulle dichiarazioni servono per le assunzioni di responsabilità dei professionisti e delle imprese e per il controllo sulle infiltrazioni criminali. Inoltre, si concorda preventivamente con le amministrazioni competenti i termini di applicazione delle disposizioni relative alle criticità riguardanti le normative e i

parametri di contributo della Pubblica Amministrazione, come nel caso di edifici a tutela parziale collegati strutturalmente a edifici ordinari. Per tutti gli interventi di ricostruzione, consolidamento e restauro di manufatti tutelati e per gli interventi di messa in sicurezza strutturale in condizioni sismiche dei manufatti architettonici d'interesse culturale in muratura si dovrà far riferimento alle relative norme tecniche (Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 e successive modificazioni, recante il Codice dei beni culturali e del paesaggio; Direttiva del Presidente del Consiglio 9 febbraio 2011, Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 14 gennaio 2008, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26 febbraio 2011 - Supplemento ordinario n. 54).

I controlli riguardano la valutazione della sicurezza strettamente vincolata allo studio del comportamento in condizioni statiche delle strutture. Tale studio va progettato con un intervento di miglioramento sismico; per ogni intervento progettato viene richiesta la scheda di monitoraggio della progettazione degli interventi di messa in sicurezza, ricostruzione, consolidamento dei beni culturali danneggiati, nella quale sono presenti le verifiche di sicurezza. Tale scheda, una volta completata, dovrà essere inviata all'UCCN.

La necessità di programmare non riguarda solo le attività, ma anche il flusso finanziario e il coordinamento degli interventi al fine di non creare interferenze tra i cantieri sia per le opere private sia per le opere pubbliche o di interesse pubblico.

La programmazione predisporrà i progetti e gli incarichi, nei termini predefiniti ed improrogabili, degli enti preposti ad effettuare progettazioni interne o dei gruppi di progettazione esterni. Riguardo alle opere pubbliche, grazie all'istituzione di una struttura specifica che dispone di personale specializzato e distaccato dalle amministrazioni pubbliche o con contratti a tempo determinato e assistita da consulenti giuridici esperti nel settore, si valuterà un sistema di gestione degli appalti e degli affidamenti professionali con tempistiche legate all'urgenza.

Per quanto riguarda gli stati di avanzamento, i corrispondenti pagamenti saranno verificati e autorizzati dal personale tecnico delle Amministrazioni Pubbliche competenti in materia, riunito in commissioni di collaudo in corso d'opera.



### **1.3. I disciplinari e gli strumenti operativi alle attività di messa in sicurezza e salvaguardia**

I disciplinari operativi riguardanti le attività di messa in sicurezza e salvaguardia del patrimonio culturale in caso di calamità naturali prevedono che le operazioni di rilievo del danno valutino i danni subiti dal patrimonio culturale mobile ed immobile, le condizioni di funzionalità di chiese e palazzi e l'eventuale esigenza di opere provvisorie per eludere aggravamenti alle strutture. In caso di terremoto, le operazioni di rilievo stimeranno i danni derivanti dall'episodio principale e tutti gli eventuali aggravamenti successivi.

Le procedure prevedono due fasi per le operazioni di rilievo del danno e dell'agibilità:

1. sopralluoghi di prima fase: la ricognizione speditiva ha il compito di acquisire i dati che serviranno alla precompilazione delle schede di rilievo di dettaglio del danno; inoltre, ha il fine di individuare con tempestività la tipologia, la diffusione territoriale e l'entità del danno, le attività di pronto intervento da attuare per i beni danneggiati o che rischiano un aggravamento del danno e, di conseguenza, l'organizzazione delle priorità dei successivi rilievi;
2. sopralluoghi di seconda fase: la rilevazione di dettaglio del danno ha il compito di stimare i costi degli interventi di messa in sicurezza e di ripristino e consolidamento dei beni mobili e immobili; la stima è il risultato di una valutazione approfondita del danno e dei necessari interventi di messa in sicurezza e di agibilità per le chiese.

Le squadre che eseguono i sopralluoghi vengono equipaggiate dal seguente materiale: copia del disciplinare della messa in sicurezza; elenco dei beni da rilevare; schede per il rilievo; cartografia delle località con la collocazione dei beni da rilevare, se disponibile; planimetria dei beni da rilevare, se disponibile; elenco e ubicazione delle opere d'arte più importanti presenti nell'edificio oggetto del sopralluogo, sempre se disponibili; numeri di telefono dei referenti per i sopralluoghi e di coloro che garantiscono l'accesso agli immobili (Direttiva del 23 aprile 2015). Inoltre, riguardo i sopralluoghi e il loro svolgimento in sicurezza, i rilevatori avranno un'attrezzatura minima composta da: dispositivi di protezione individuale, come l'elmetto secondo le norme di conformità EN397; guanti secondo le norme di conformità EN420; calzature di sicurezza secondo le norme di conformità EN345; imbragatura e corde di sicurezza, ove necessarie, secondo le norme di conformità EN361; binocolo per esaminare

dettagli lontani; macchina fotografica digitale corredata da scheda di memoria di adeguata capacità e dispositivo GPS per la corretta localizzazione del bene oppure una camera digitale dotata di GPS; torcia elettrica per esaminare locali senza luce; metro o distanziometro per una stima di massima delle dimensioni della fabbrica; doppio decimetro per misurare le lesioni più significative; infine, livella o filo a piombo per valutare i fuori piombo (Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 e successive modifiche ed integrazioni).

Il rilievo di prima fase consiste in un'ispezione esterna dell'immobile; in caso di accertata assenza di pericolo, si può procedere a un'ispezione interna limitata alle aree contenenti beni mobili o immobili per destinazione, come affreschi o statue solidarizzate alla struttura.

Gli operatori del rilievo speditivo sono tecnici del Ministero, individuati secondo la tipologia dei beni mobili presenti nell'oggetto del rilievo. Il sopralluogo è gestito con l'ausilio delle schede per il rilievo speditivo del danno sul patrimonio culturale in caso di calamità naturale (modelli I-EC, P-ES, C-ES).

Il rilievo di seconda fase deve esser svolto con modalità che prevedano la salvaguardia e l'incolumità della squadra chiamata ad operare; per questo motivo devono svolgersi nel pieno rispetto delle procedure. Il sopralluogo deve avvenire solo dopo un'ispezione preliminare esterna e, nel caso si riscontrino pericoli, l'ispezione interna non si svolgerà e verrà segnalata la necessità di messa in sicurezza per l'accesso. Sarà inoltre richiesto il parere di un tecnico di comprovata esperienza. L'ispezione interna, riguardante la fase di rilievo approfondito, segnalerà tutti i possibili meccanismi di danno attivabili nell'immobile; dove utile, è possibile effettuare dei piccoli saggi sulle malte delle murature o prelevare ridotte porzioni di intonaco per un'analisi più accurata delle lesioni. Il sopralluogo consiste nel completare l'ispezione per avere un quadro generale sullo stato di fatto dell'edificio, esprimendo una prima ipotesi di giudizio; in un secondo momento verranno compilate le schede e ripercorrendone tutte le sezioni si arriverà a formulare il giudizio finale.

I sopralluoghi di seconda fase sia per i palazzi sia per le chiese hanno l'obiettivo del rilievo del danno e dell'agibilità e saranno realizzati da squadre composte da:

1. un tecnico del Ministero;
2. un funzionario del Nucleo NCP dei Vigili del Fuoco;

3. un ulteriore tecnico del Ministero, come ad esempio un restauratore o altro, qualora sia opportuno, avente competenza specifica sul tipo di beni culturali presenti nell'edificio;
4. un esperto strutturista per i palazzi, almeno due tecnici per le chiese che siano adeguatamente formati ed iscritti al Nucleo tecnico nazionale per il rilievo del danno e la valutazione di agibilità nell'emergenza post sismica (o comunque di comprovata esperienza).

Nel caso di eventi sismici le schede a supporto del rilievo sono le schede A-DC, B-DP e C-BM. Per le chiese in muratura si utilizza il modello A-DC (Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 13 marzo 2013, pubblicato in Gazzetta Ufficiale n. 231 del 2 ottobre 2013); per i palazzi, invece, si utilizza il modello B-DP; per i beni mobili il modello C-BM; per beni archivistici e librari la scheda C-B (Decreto Interministeriale 3 maggio 2001 pubblicato in Gazzetta Ufficiale n. 116 del 21 maggio 2001). (vedi Appendice B).

I sopralluoghi di seconda fase sulle chiese in cemento armato, in assenza, allo stato attuale, di strumenti di rilievo specifici per questa tipologia, saranno effettuati utilizzando la scheda AeDES di primo livello di rilevamento del danno, eventualmente corredata da una relazione di dettaglio.

La scheda guida ha come scopo la diagnosi preliminare dei meccanismi di danno attivati a causa del sisma; per non rallentare l'operazione laddove non sono possibili informazioni aggiuntive della risposta strutturale si deve evitare un rilievo dimensionale dettagliato. Le informazioni nelle schede ricostruiscono la gerarchia del complesso architettonico prevista dagli standard catalografici del Ministero organizzati nel seguente modo: bene complesso, componente e individuo. A tal fine le schede sono divise in due sezioni: la prima riguarda le informazioni dell'intero complesso, mentre l'altra quelle dei singoli beni componenti. Quando il manufatto oggetto del rilievo è costituito da un insieme di opere interconnesse si compilerà la prima sezione, specificando il bene complesso, mentre la seconda sezione andrà compilata per ognuno dei beni componenti, come ad esempio la chiesa e la canonica. Nel caso in cui l'oggetto del rilievo è costituito da un'opera isolata, verrà compilata la prima sezione specificando il bene individuo, mentre la seconda parte si compilerà una sola volta come unico bene componente.

Per gli interventi di messa in sicurezza per chiese e palazzi, nelle schede per il rilievo speditivo del danno si compileranno le sezioni C8 e C12, riguardanti i

provvedimenti di pronto intervento, specificandone la tipologia e una quantificazione sommaria.

Ogni scheda contiene voci specifiche e indicazioni per la compilazione. Ad esempio, per quanto riguarda l'agibilità delle chiese in muratura, la sezione A18 della Scheda A-DC sarà compilata solo alla presenza nella squadra di due tecnici formati e iscritti al Nucleo Tecnico Nazionale per il rilievo del danno e la valutazione di agibilità nell'emergenza post sismica (o comunque di comprovata esperienza).

Le voci riguardanti la stima dei costi presenti nella scheda sono compilate secondo le seguenti specifiche:

- la conservazione e il restauro per i beni mobili: voce C15.4 - Scheda C-BM;
- la salvaguardia delle opere d'arte: per le chiese voce A21.3 - Scheda A-DC, per i palazzi B28.3 - Scheda B-DP e per i beni mobili C15.3 - Scheda C-BM;
- il ripristino strutturale: per le chiese voce A22.1 - Scheda A-DC, per i palazzi voce B29.1 - Scheda B-DP; per le opere finitura, impiantistica e miglioramento sismico voce A22.2 - Scheda A-DC e voce B29.2 - Scheda B-DP;
- le opere di pronto intervento: voce A22.3 - Scheda A-DC e voce B29.3 - Scheda B-DP (non vanno compilate in fase di rilievo).

L'UCCN-MiBAC, al fine di raggiungere una quantificazione omogenea delle opere da attuare, mette a disposizione parametri e modelli di valutazione ai tecnici specializzati dell'UCCR-MiBAC che formeranno il gruppo che si occuperà della stima dei costi.

Nel rilievo del danno delle chiese gli elementi essenziali da rilevare e documentare con schemi grafici e fotografie sono:

1. principali caratteristiche costruttive quali: il tipo di pianta e le navate presenti; la tipologia del tetto e delle volte;
2. campanile: dimensioni; posizione rispetto alla chiesa; collegamento con le strutture della chiesa;
3. facciata: vista fotografica d'insieme della facciata principale, anche se non si evidenziano danni; distacco, senza crolli, dalle pareti longitudinali, quasi sempre presente con catene efficienti lungo i muri perimetrali se a più navate, in corrispondenza dei colonnati interni, con caduta di cornicioni,

pinnacoli, ecc.; cedimento fuori del piano del timpano; rotture per taglio nel piano; crollo per mancanza di collegamenti efficienti;

4. transetto: ribaltamenti delle pareti; rotture per meccanismi di taglio;
5. abside: innesco di fenomeni di ribaltamento;
6. copertura: danni alle capriate in legno o in corrispondenza dei loro appoggi; lesioni nelle cupole; copertura e cordoli di c.a.; danni agli archi ed alle volte; danni ai pilastri-colonne; lesioni interne sulle pareti; controsoffitti;
7. campanile: fusto; pinnacoli; guglie; cella campanaria.

La compilazione della specifica sezione relativa alla descrizione delle opere di pronto intervento delle schede di rilievo del danno (modelli A-DC per le chiese, B-DP per i palazzi, C-BM per i beni mobili) dovrà esplicitare la priorità di intervento e gli elementi fondamentali quantitativi e qualitativi del tipo di interventi necessari. L'unità di coordinamento tecnico degli interventi di messa in sicurezza si occuperà della definizione dettagliata.

Il disciplinare operativo per gli interventi di messa in sicurezza sui beni culturali mobili e rimozione delle macerie comprendono sia la messa in sicurezza in loco sia lo spostamento del patrimonio culturale mobile in depositi temporanei. I beni mobili, situati in edifici danneggiati, vengono messi in sicurezza attuando presidi e attività idonee a garantirne la conservazione e minimizzare eventuali danni causati dalla variazione microclimatica, dall'esposizione ad agenti atmosferici e dal pericolo di crolli.

La messa in sicurezza delle opere viene pianificata, in funzione dell'entità e dell'estensione dell'evento per la gestione dell'emergenza, dai coordinatori dell'unità operativa di coordinamento tecnico degli interventi di messa in sicurezza sui beni architettonici, storico-artistici, archeologici, audio-visivi, archivistici e librari, sulla base delle schede compilate durante la prima fase del rilievo, le quali vengono trasmesse dall'unità di rilievo dei danni in raccordo con i centri di coordinamento della Protezione Civile attivati dalle autorità competenti.

La messa in atto degli interventi è effettuata da squadre composte da:

1. un tecnico del Ministero;
2. un funzionario del nucleo NCP dei Vigili del Fuoco;

3. un ulteriore tecnico del Ministero, restauratore, storico dell'arte, archivista e se necessario un tecnico con competenza specifica sulla tipologia di beni culturali mobili presenti nell'edificio;
4. un esperto strutturista, qualora la complessità della struttura lo richieda;
5. personale del Comando Carabinieri del Nucleo tutela del patrimonio culturale, qualora siano da effettuare spostamenti di beni mobili;
6. eventuale personale esterno adeguatamente formato di supporto alle operazioni, appartenente ad organizzazioni di volontariato di Protezione Civile.

Il personale del Ministero impiegato nelle attività di messa in sicurezza è preventivamente formato in relazione alla specificità del lavoro previsto; nel caso di beni mobili in un edificio danneggiato, il personale del Ministero provvederà sempre alla compilazione delle relative schede di rilievo del danno e, nel caso in cui sia si renda necessario l'allontanamento del bene, verrà compilata sia la scheda di accompagnamento dei beni mobili rimossi sia la scheda di intervento sui beni mobili, contenenti l'indicazione dell'immobile con la collocazione originaria e quella del luogo di ricovero (Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 23 febbraio 2006 pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 55 del 7 marzo 2006,). La scheda di intervento sui beni mobili è firmata dal responsabile delle attività di rimozione dei beni e dal responsabile della struttura di ricovero dei beni rimossi; il tutto è garantito dalla scheda che verrà trasmessa alla Soprintendenza ed al Nucleo Carabinieri per la tutela del patrimonio culturale, nonché al responsabile dell'unità operativa dei depositi temporanei e laboratori di pronto intervento sui beni mobili, anche nel caso di beni collocati in depositi non direttamente gestiti dal Ministero.

Particolare attenzione si richiederà nel caso in cui si spostino beni culturali mobili appartenenti a collezioni, come i beni librari od archivistici; in questo caso le operazioni di inscatolamento avverranno secondo l'ordine sistematico di collocazione originario presente nella scheda di accompagnamento e un'ideale documentazione fotografica per la ricollocazione corretta dei beni.

Il responsabile della struttura di ricovero dei beni mobili dislocati dovrà garantire l'aggiornamento costante del sistema informatico del Ministero riguardo al monitoraggio dei depositi e alle attività di pronto intervento.

I tecnici del Ministero, con i relativi dispositivi di sicurezza (Decreto Legislativo n. 81 del 2008 e successive modificazioni) vigileranno sugli interventi che

presuppongono la rimozione o l'allontanamento delle macerie degli immobili di interesse culturale, fornendo le disposizioni operative sulle principali fasi da eseguire quali:

- movimentazione con piccole pale meccaniche, tipo Bobcat;
- selezione mediante controllo visivo di materiale di evidente interesse, come pietrame di notevoli dimensioni, pietre lavorate, materiale erratico, portoni, opere d'arte, materiale in cotto antico, coppi, tegole, pianelle, materiale integro, ferramenta storiche, vario materiale erratico di interesse;
- stesa a raso terra delle macerie non selezionate;
- selezione del materiale di interesse più leggero, come cotto, pianelle e altro, in seguito accatastato in bancali di legno;
- selezione del materiale più pesante, come ad esempio materiale lapideo lavorato, squadrato o comunque di interesse, ed accatastamento in bancali in carpenteria metallica leggera e tavolato ligneo;
- protezione temporanea con l'uso di dispositivi idonei, come transenne e teli;
- trasporto in spazi per lo stoccaggio, la selezione e l'eventuale pronto intervento;
- ricollocazione nell'ambito del cantiere di restauro o in depositi-aree musealizzate.

Le schede da utilizzare per le attività di messa in sicurezza e salvaguardia del patrimonio culturale in caso di calamità naturali nascono dalla necessità di monitorare operazioni complesse, disporre di informazioni immediate ed omogenee sui danni subiti, sugli interventi di messa in sicurezza e sulla stima sommaria dei costi di riparazione-rinforzo.

Per le attività di messa in sicurezza e salvaguardia del patrimonio culturale vengono utilizzate i seguenti strumenti schedografici:

1. per il rilievo degli eventi calamitosi non riconducibili al sisma viene utilizzata la scheda per il rilievo speditivo del danno sul patrimonio culturale in caso di calamità naturali, modello I-EC e modello EM, compilata e aggiornata dall'Unità operativa rilievo dei danni al patrimonio culturale;

2. per il rilievo speditivo del danno da eventi sismici di prima fase si hanno le schede per il rilievo speditivo del danno sul patrimonio culturale, modello I-EC, modello P-ES per i palazzi e modello C-ES per le chiese; la compilazione e l'aggiornamento sono a cura dell'Unità operativa di rilievo dei danni al patrimonio culturale;
3. per il rilievo del danno di seconda fase alle chiese e ai palazzi si hanno le schede modello A-DC e modello B-DP, predisposte in collaborazione con il Dipartimento della Protezione Civile (Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 23 febbraio 2006 nella Gazzetta Ufficiale n. 55 del 7 marzo 2006); queste sono compilate dalla squadra che effettua il sopralluogo per il rilievo del danno e vengono aggiornate dall'Unità operativa di rilievo dei danni al patrimonio culturale; riguardo al rilievo del danno alle chiese in cemento armato viene utilizzato il modello AeDES, (primo livello di rilevamento del danno), eventualmente corredato da una relazione, da allegare alla Scheda A-DC.
4. per il giudizio di agibilità dei palazzi si utilizzerà il modello AeDES (primo livello), per il giudizio di agibilità delle chiese in muratura è previsto il modello A-DC, per le chiese con altro tipo di struttura il modello AeDES (primo livello);
5. per il rilievo del danno ai beni mobili la scheda di riferimento è il modello C-BM, predisposta in collaborazione con il Dipartimento della Protezione Civile (Decreto Interministeriale 3 maggio 2001, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 116 del 21 maggio 2001); la compilazione e l'aggiornamento sono a cura dell'Unità operativa rilievo dei danni al patrimonio culturale o dall'Unità operativa di coordinamento tecnico degli interventi di messa in sicurezza sui beni architettonici;
6. per l'identificazione di ogni bene mobile imballato e spostato dal luogo originario si utilizzerà la scheda di accompagnamento dei beni mobili rimossi, la cui compilazione è a cura della squadra che effettua l'intervento di messa in sicurezza, mentre la verifica e aggiornamento spetta all'Unità operativa di coordinamento tecnico degli interventi di messa in sicurezza sui beni architettonici, storico-artistici, archeologici, audio-visivi, archivistici e librari;
7. per l'individuazione degli interventi di messa in sicurezza effettuati sui beni mobili si utilizzerà la scheda di intervento sui beni mobili, in cui sono indicati gli interventi di messa in sicurezza effettuati in loco e l'elenco di



tutti i beni rimossi (con l'indicazione dell'immobile di originaria collocazione ed il luogo di ricovero); la scheda è compilata dalla squadra che effettua l'intervento di messa in sicurezza e verificata ed aggiornata dall'Unità operativa di coordinamento tecnico degli interventi di messa in sicurezza sui beni architettonici, storico-artistici, archeologici, audio-visivi, archivistici e librari;

8. per gli interventi di restauro dei beni mobili il riferimento è alla scheda di pronto intervento, contenente lo stato di conservazione e gli interventi necessari; questa viene compilata e aggiornata dall'Unità operativa di depositi temporanei e laboratori di pronto intervento;
9. per il monitoraggio della progettazione degli interventi di messa in sicurezza, ricostruzione, consolidamento dei beni culturali danneggiati si utilizzerà la scheda di monitoraggio della progettazione, la cui compilazione spetta al progettista;
10. per il monitoraggio di tutte le attività svolte il documento di riferimento è la scheda di monitoraggio delle attività di rilievo del danno e di messa in sicurezza, da compilare ed aggiornare a cura del coordinatore dell'UCCR-MiBAC.

La diversa tipologia delle schede offre un'analisi specifica dei danni rilevati permettendo di realizzare procedure mirate sia a livello organizzativo, sia a livello di messa in sicurezza. Di fronte ad un evento catastrofico la tempestività è un elemento fondamentale, resa possibile solo se si predispone un'organizzazione dettagliata. Ad oggi la Direttiva del 23 aprile 2015 ha stilato procedure organizzative e attuative urgenti che in seguito al sisma del 24 agosto 2016 si sono avviate immediatamente permettendo di intervenire in tempi ridotti rispetto alle esperienze del passato.



Ministero  
dei beni e delle  
attività culturali  
e del turismo

MINISTERO DEI BENI E DELLE ATTIVITA' CULTURALI E DEL TURISMO

EVENTO:

SCHEMA DI MONITORAGGIO DELLE ATTIVITA' EFFETTUATE DI RILIEVO DEL DANNO E DI MESSA IN SICUREZZA															
PRINCIPALE EVENTO	ANAMNESI DEL BENE							FASE: RILIEVO DEL DANNO (I FASI)		FASE: INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA					NOTE
	INSTRUMENTI MONITORAGGIO (CENSI)	VALUTAZIONE CAUSE, LOCALITÀ	INTERESSI	CONTINUITÀ	LOCALITÀ	IMPATTO	PROTEZIONE	RILIEVO DEL DANNO (I FASI)	RILIEVO DEL DANNO (II FASI)	PROGETTO INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA	COSTO INTERVENTO	REGOLAZIONE DEL RILIEVO	STATO DI MESSA IN SICUREZZA	SPEZZAMENTO BENI MOBILI	

Figura 1.3.1. Scheda di monitoraggio delle attività effettuate di rilievo del danno e di messa in sicurezza.

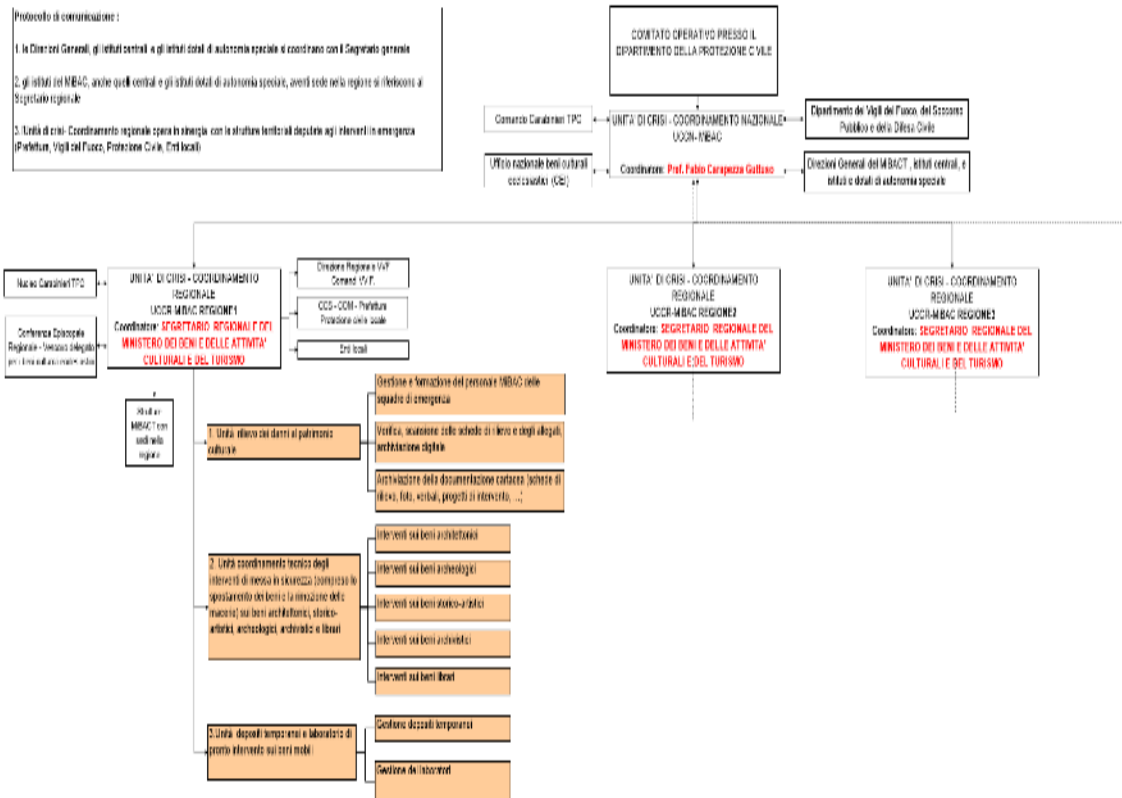


Figura 1.3.2. Struttura delle attività di messa in sicurezza e salvaguardia del patrimonio culturale in caso di emergenza derivanti da calamità naturali.

## Capitolo 2

### L'ACQUISIZIONE DEI DATI E LA RAPPRESENTAZIONE

---

La documentazione dei Beni Culturali è fonte di interesse crescente da parte della comunità scientifica, in quanto questa guarda ad un livello di accuratezza comprensivo di informazioni sulla posizione, sulla forma e sulla geometria, applicato a siti archeologici e a complessi d'importanza storico-architettonica. L'evoluzione del "rilevamento architettonico" (DOCCI-MAESTRI, 2009) avuta negli ultimi anni, grazie allo sviluppo sia dell'elettronica sia dell'informatica, ha permesso un ampliamento delle applicazioni del rilievo rendendolo un campo interdisciplinare.

"La conoscenza è operazione preliminare alla realizzazione di qualsivoglia azione su un manufatto storico. In particolare, la prima imprescindibile azione consiste nell'attuazione di una attenta attività scientifica di rilievo geometrico-architettonico del Bene e ciò, a maggior ragione, se quest'ultimo ha subito danni in seguito ad eventi sismici e quindi presenta porzioni di crollo e ambienti parzialmente o difficilmente accessibili" (MESCHINI-FERIOZZI, 2017). Come esprime la citazione, la conoscenza di un Bene è frutto delle operazioni di rilievo che, se eseguite in una zona terremotata, presentano difficoltà legate alla sicurezza e all'agibilità del manufatto.

Il rilievo è una disciplina investigativa che raccoglie informazioni sull'oggetto di studio, sia esterne che interne, consentendo di andare oltre il visibile. Con i dati raccolti è possibile ricostruire la storia delle fasi costruttive di un edificio, motivare crolli, degrado o dissesti, capire gli interventi da attuare per il restauro e tanto altro.

Quando si parla di rilievo occorre specificare che, a seconda dello strumento che si impiega, si tratta di rilievo diretto, rilievo indiretto e rilievo fotogrammetrico e informatico. Il primo viene impiegato per rilevare le distanze, il secondo gli angoli e i dislivelli, mentre il terzo è impiegato per creare e verificare gli allineamenti. La fotogrammetria occupa un posto fondamentale nei metodi di rilievo moderni poiché consente di analizzare i manufatti fino alle più minute dimensioni e con un livello di precisione elevatissimo grazie a misure ottenute da fotografie terrestri o aeree. Inoltre, questo tipo di metodo,

oltre ad essere affidabile per la sua precisione, permette una grande velocità di esecuzione delle operazioni di ripresa fotografica.

Ad oggi l'ultima innovazione impiegata in fotogrammetria in termini di strumenti è il laser scanner 3D, molto diffusa in archeologia poiché consente di ottenere con rapidità e precisione una qualità quasi fotografica. Ottenere questo livello qualitativo è possibile grazie agli impulsi luminosi che creano punti (coordinate cartesiane) di acquisizione vicini fra loro, circa 3 x 3 mm, che vanno a costituire una nuvola densa di punti della superficie rilevata.

METODI	STRUMENTI	APPLICAZIONI	PRECISIONI	OUTPUT	VANTAGGI	SVANTAGGI	
<b>Diretto e strumentale</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distanziometri</li> <li>• Stazione totale</li> <li>• Strumentazione tradizionale</li> </ul>	Rilievo di oggetti architettonici 3D	DA 1:2000 FINO A 1:5 con precisione in funzione dello strumento e dell'accuratezza dell'operatore	Rappresentazione discreta dei punti rilevati nello spazio	Controllo completo del processo di acquisizione ed ottimizzazione dei punti rilevati	Fase di acquisizione molto dipendente in termini di tempo	
<b>Fotogrammetria stereoscopica (RFD...)</b>	aerea	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Camera professionale</li> <li>• Software di restituzione stereoscopica</li> </ul>	Rilievo di complessi architettonici 3D a grande scala	La precisione tipicamente va da 1/1000 a 1/100000 della distanza dall'oggetto. Fino ad 1 mm di errore per 10m di distanza	Rappresentazione discreta dei punti rilevati nello spazio e delle linee rappresentative collimate sull'immagine dell'oggetto (wireframe 3D)	Velocità, oggettività del dato e molteplicità di informazioni in fase di acquisizione. Possibilità di restituzione di superfici complesse e curve	Costo Fase di acquisizione tramite prese impegnative
	terrestre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Camera professionale</li> <li>• Software di restituzione stereoscopica</li> </ul>	Rilievo di superfici architettoniche 2D e 3D				
<b>Fotogrammetria da singolo fotogramma</b>	da camera metrica (MSR...)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Camera metrica</li> <li>• Cavalletto</li> <li>• Software di calcolo</li> </ul>	Rilievo di superfici architettoniche 2D. Superfici perfettamente planari.	La precisione va da 1/500 a 1/50 in funzione della distanza di presa (da 2mm a 20m per ogni metro).	Rappresentazioni ortogonali di ogni singolo piano come fotogramma rettificato (Ortofoto) - Rappresentazione continua e materica	Economicità, velocità, oggettività del dato e molteplicità di informazioni in fase di acquisizione	Impossibilità di restituzione di superfici curve
	spedite (Giotto 3 Plus, Trimble e...)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Camera amatoriale</li> <li>• Software di raddrizzamento</li> </ul>	Rilievo di superfici architettoniche 2D. Superfici perfettamente planari. Si presuppone l'ortogonalità tra i piani che definiscono l'oggetto			Facilità di presa, economicità, velocità, oggettività del dato e molteplicità di informazioni in fase di acquisizione	Impossibilità di restituzione di superfici curve. Metodo applicabile se è possibile rilevare 3 punti di fuga nelle tre direzioni principali
<b>Restituzione fotogrammetrica 3D</b>	multimmagine monocopica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Camera amatoriale</li> <li>• Software tipo "Photomodeler"</li> </ul>	Rilievo e modellazione a wireframe di oggetti architettonici 3D			Economicità, velocità, oggettività del dato e molteplicità di informazioni in fase di acquisizione	
	da panoramiche sferiche	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Camera amatoriale</li> <li>• Cavalletto</li> <li>• Software per mappatura panoramiche sferiche</li> <li>• Software di restituzione delle superfici</li> </ul>	Rilievo e modellazione a wireframe di oggetti architettonici 3D - documentazione realistica fotografica delle superfici	La precisione va tipicamente da 1/1000 a 1/500 della distanza di presa. Da 1-2mm di errore per metro di distanza dall'oggetto.	Rappresentazione discreta dei punti rilevati nello spazio e delle linee rappresentative collimate sull'immagine dell'oggetto (wireframe 3D)	Economicità, oggettività del dato e molteplicità di informazioni in fase di acquisizione - Ottimizzazione tra velocità e quantità di informazioni acquisite - Molteplicità di utilizzo del panorama sferico oltre all'applicazione metrica.	Impossibilità di restituire linee curve e oggetti naturali
<b>Scansione Laser 3D</b>	aerea		Rilievo dello sviluppo della superficie del terreno				
	terrestre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Scanner Laser 3D</li> <li>• Notebook</li> </ul>	Rilievo di superfici ed oggetti architettonici 3D	in funzione del passo di scansione impostato e della distanza oggetto-strumento	"Nuvola di punti" Modello discreto dell'oggetto 3D rappresentativo della superficie nella geometria e nei materiali	Oggettività del dato e molteplicità di informazioni in fase di acquisizione - Ottimizzazione tra velocità e quantità di informazioni acquisite - Restituzione in tempo reale	Costo dell'attrezzatura in fase di acquisizione Fase di restituzione ancora troppo impegnativa per la mancanza di software adeguati Necessità di strumentazione hardware molto potente
	del vicino		Rilievo di particolari e piccoli oggetti 3D				

Figura 2.1. Schema riassuntivo dei metodi di rilevamento, strumenti impiegati, ambiti di applicazione, caratteristiche, vantaggi e svantaggi (Fonte: Il rilievo dell'architettura. Tecniche, metodi ed esperienze, Perugia, 2008, pp.14-15).

Esistono due tecniche fotogrammetriche: la prima è definita image based, la seconda range based. Entrambe verranno approfondite nel successivo paragrafo.

## 2.1. Il rilievo e l'acquisizione dei dati metrici: image based e range based

La tecnica della fotogrammetria che permette la determinazione di dati metrici su dimensione, forma e posizione dell'oggetto di studio, andando a creare una relazione geometrica fra immagini e scena reale nel momento in cui si effettua la ripresa fotografica, viene denominata "metodo image based". Questa relazione immagine-reale può essere tradotta attraverso un modello matematico da cui si ricavano informazioni metriche su una base di almeno due fotogrammi.

La fotogrammetria analizza un oggetto catturato in almeno due immagini inquadrate da punti di vista differenti e, in aggiunta alle diverse posizioni

dell'oggetto nelle immagini (parallasse), consente di ottenere viste stereoscopiche e di ricavare informazioni tridimensionali dalle aree di sovrapposizione nelle immagini. Il campo di utilizzo di questa tecnica è molto ampio; viene impiegato, ad esempio, in campo medico, nei video giochi, nelle produzioni cinematografiche, nell'incidentistica stradale e nella documentazione del patrimonio culturale (FANGI, 2011).

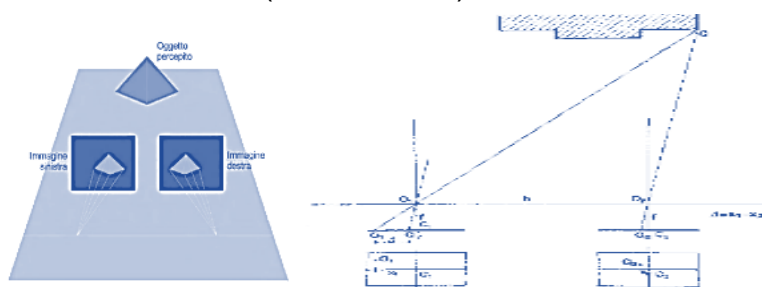


Figura 2.1.1. A destra: Schema della visione stereoscopica. A sinistra: Schema della ripresa stereofotogrammetrica di un punto Q (Fonte: Manuale del rilevamento architettonico e urbano, Bari, 2009, p.65).

Questa tecnica, a confronto con altre tecniche image based per ricavare dati tridimensionali (come la computer vision), si pone l'obiettivo di raccogliere dati metrici accurati, precisi e affidabili dal punto di vista geometrico.

Il monoplottting, con la georeferenziazione e la vettorializzazione di fotografie con punto di vista terrestre, è una tecnica che restituisce il modello digitale della scena tridimensionale da un'ortofoto (GABELLIERI-GEMIGNANI, 2019).

Il principio che regola la fotogrammetria è la collinearità fra il centro di proiezione della fotocamera  $P_c$  e il punto  $P$  nello spazio; in altre parole i punti  $P_c$  e  $P$  devono giacere sulla stessa retta. Questo principio, ripetuto per una serie di punti  $e$ , quindi, intersecando diversi raggi di collinearità che partano almeno da due fotogrammi, permette di ricavare coordinate tridimensionali di punto dello spazio andando a effettuare una triangolazione fotogrammetrica.

La fotogrammetria moderna, con i suoi obiettivi e strumenti, risulta una disciplina che risolve molti problemi nel campo del rilievo dei Beni Culturali poiché risulta flessibile, adattandosi a ogni caso, sia dal punto di vista dell'acquisizione del dato sia per i processi di elaborazione dei prodotti finali ottenibili. Inoltre, l'acquisizione delle immagini è rapida e, non richiedendo contatto con l'oggetto essa, può avvenire anche mediante camere digitali economiche. L'avvento del digitale ha ampliato gli ambiti di impiego della fotogrammetria che, a livello pratico, cambia la scala del rilievo interessando la fotogrammetria aerea a tutte le scale per i siti archeologici, i centri storici urbani, i complessi monumentali e le fortificazioni, gli edifici storici. La fotogrammetria

close range, o fotogrammetria terrestre o dei vicini, è utilizzata per la descrizione di singole facciate di edifici, i particolari architettonici, le strutture e i reperti archeologici.

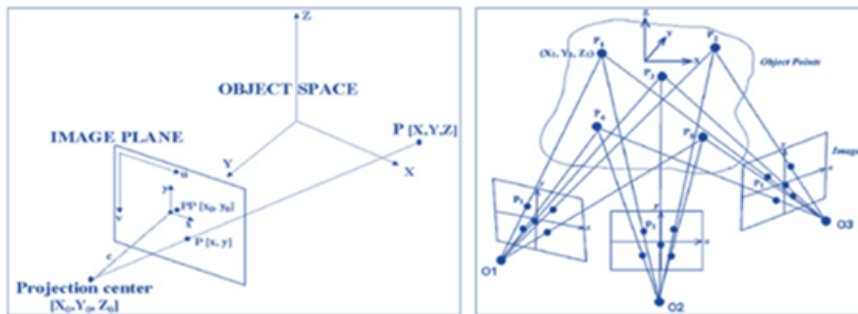


Figura 2.1.2. Principio della collinearità. A destra: Principio della triangolazione fotogrammetrica. A sinistra: Principio della triangolazione fotogrammetrica con immagini.

Questa metodologia di lavoro consente di adottare un approccio multiscala e di inserire l'oggetto di studio nel contesto in cui si trova agevolando l'interpretazione e l'analisi storica. L'operatore che effettua il rilevamento fotogrammetrico deve progettare in maniera dettagliata e specifica il rilievo in base al manufatto oggetto di studio, al prodotto finale che si vuole realizzare, alle risorse disponibili e ai vincoli logistici dell'operazione.

La fotogrammetria aerea riveste senza dubbio un ruolo fondamentale nella creazione di cartografie per le aree archeologiche e per i complessi edificati, ma per quanto riguarda la scala di destinazione risulta di bassa qualità e povera di dettagli. Quando, in questi casi, il rilievo classico non è realizzabile, possono venire impiegate metodologie alternative, come gli aquiloni o i palloni, che risultano efficaci ma presentano delle problematiche che compromettono la qualità dell'output e riguardano, ad esempio, le condizioni meteorologiche, le camere leggere, l'uso di software per la correzione delle geometrie.

Nel campo della fotogrammetria close range le impostazioni dell'operazione variano in base l'esigenza di ogni singolo rilievo. Se l'obiettivo del rilievo di una facciata di un edificio è la sola rappresentazione geometrica, si può applicare una scala di fotogramma specifica, ad esempio pari a 1:50, che consenta una leggibilità efficace per ottenere un buon prodotto finale. Se lo scopo è il restauro o, ad esempio, il rilievo delle condizioni strutturali, il dettaglio e la precisione saranno adeguate al fine e secondo il tipo di camera, lo schema di acquisizione e lo strumento restitutore da utilizzare.

Una tecnica di ultima generazione del rilevamento indiretto è chiamata image based modeling: da essa si ottiene un modello geometrico dell'oggetto di studio

sulla base di fotografie digitali. Questa tecnica restituisce in uscita un modello digitale in wireframe (a fil di ferro) oltre ad un modello numerico mappato con texture del colore del manufatto rilevato oppure un modello matematico. La valenza aggiunta dell' image modeling, grazie alla combinazione di fotogrammetria classica e modellazione geometrica, è la possibilità di scalare l'output restituendo sia informazioni puntuali di un elemento sia la possibilità di creare elaborati più vasti, come ad esempio la creazione di un modello digitale di un intero complesso edificato.

È opportuno puntualizzare che questa tecnica di rilevamento indiretto viene supportata dal rilevamento diretto, grazie ad una serie di misurazioni indispensabili al processo di restituzione, al fine di ottenere un modello tridimensionale in scala adeguata, poiché i fotogrammi delle camere reflex digitali non supportano questo tipo di dati. Le immagini sono acquisite da sensori e fotocamere digitali, normalmente utilizzati da terra o di tipo satellitare. Per quanto riguarda i primi, li troviamo montati su piattaforme aeree come aeroplani, palloni, aquiloni, elicotteri, UAV, droni, mentre tra i secondi si hanno Ikonos, World-View, Spot, Quickbird (lanciato il 13 agosto 2014, WorldView-3 è il sesto satellite in orbita della Digital Globe, insieme a Ikonos, QuickBird, WorldView-1, GeoEye-1 e WorldView-2 ([www.planetek.it](http://www.planetk.it))).

Le fotocamere digitali terrestri oggi disponibili sul mercato sono diverse. Queste si possono distinguere in due tipologie: le compatte o amatoriali e le reflex o SLR professionali, che inoltre variano a seconda del tipo di sensore (CCD o CMOS, a matrice o lineare), ottica (fissa o intercambiabile), stabilità, costo, utilizzo. Si possono trovare anche camere panoramiche, cioè con sensori lineari, in grado di catturare immagini sferiche ad alta risoluzione, geometrica e radiometrica; o ancora camere avio-trasportate, suddivise in piccolo, medio e grande formato, che consentono un'acquisizione delle immagini con sensori digitali lineari oppure frame. Le camere aeree analogiche invece sono ormai fuori utilizzo. Per quanto riguarda le specifiche dei sensori montati su piattaforme satellitari, in genere, questi sono di tipo lineare, con un'ottica che consente di catturare le immagini da 400-700 km d'altezza con elevate risoluzioni geometriche, inferiori a 1 m, e radiometriche con 8-16 bit. Se si effettuano riprese terrestri, l'acquisizione delle immagini deve interessare la superficie dell'oggetto da rilevare in ogni sua parte per poter escludere zone d'ombra e garantire una continuità della sovrapposizione dei fotogrammi. Un punto appartenente a un oggetto da rilevare può essere restituito in 3D

solamente se è osservabile, quindi con possibilità di effettuare misurazioni, in almeno due fotogrammi catturati da due punti di origine differenti.

La fotogrammetria terrestre è una tecnica che consente molto margine di flessibilità poiché le acquisizioni possono essere effettuate da diversi punti di origine, mentre nel caso della fotogrammetria aerea i punti hanno assi di presa tutti paralleli e la tecnica risulta meno elastica. La qualità della macchina fotografica e dell'obiettivo utilizzato, unite all'accuratezza della calibrazione, consentono di ottenere un risultato in output dalla fotomodellazione preciso e affidabile. Questa metodologia di lavoro non è immediata e richiede il tempo corretto per ottenere il risultato prefissato che permette l'utilizzazione del maggior parte possibile del fotogramma per l'identificazione dei punti omologhi sulle foto. In generale, le fotocamere compatte e bridge sono sconsigliabili: l'obiettivo non intercambiabile e le dimensioni del sensore ridotte, simili a quello delle compatte, non le rendono idonee alla fotomodellazione. Mentre le reflex, con un obiettivo a focale fissa (come nel caso, ad esempio, di un 35 mm), risultano essere più idonee ai fini del rilevamento fotogrammetrico. Queste ultime hanno una dimensione superiore alle altre per quanto riguarda il sensore, in formato APS-C e sempre più di frequente in formato full frame (ovvero delle stesse dimensioni del classico 24 x 36 mm della macchina fotografica tradizionale); inoltre, la gestione delle impostazioni dei parametri dello scatto risulta più flessibile.

La campagna fotografica va progettata poiché la scala di rappresentazione è un fattore che gestisce la pianificazione, determinando la distanza di presa dall'oggetto da rilevare, la distanza focale con cui si scatta, la dimensione del pixel e la determinazione del Ground Sample Distance (GSD), il quale rappresenta la porzione dell'oggetto rilevato contenuta e rappresentata da un pixel dell'immagine (NESPECA, 2018). Inoltre, bisogna avere un'adeguata strumentazione calibrata, utilizzando un cavalletto, ed effettuando le prese con comando a distanza per evitare oscillazioni che comprometterebbero la qualità della foto. I fotogrammi vanno realizzati con un'accuratezza tale da documentare ogni lato in maniera tale da permettere, nella fase successiva, il riconoscimento di un numero minimo di tre punti omologhi fra un'immagine e la seguente.

I punti da individuare per una restituzione qualitativamente accettabile devono essere superiori rispetto ai punti indispensabili, sia per una documentazione più ampia dell'oggetto rilevato, sia per distribuire l'errore su un numero maggiore di punti. Le distorsioni maggiori si hanno in prossimità del bordo dei fotogrammi;



per questo motivo, quindi, è consigliabile porre il soggetto da rilevare al centro dell'immagine, affinché i punti omologhi rientrino nella zona affidabile per le successive fasi di riconoscimento.

Alla campagna fotografica va affiancato il rilevamento diretto o strumentale di alcune delle misure principali dell'oggetto di studio. Le misure, ad esempio in un rilevamento topografico, possono utilizzarsi per referenziare rispetto ad un'unica terna cartesiana non solo le foto, ma anche ulteriori rilevamenti. Questa caratteristica permette la condivisione di un unico ambiente tridimensionale grazie all'integrazione della fotomodellazione con altri metodi di acquisizione del dato.

Le fotocamere e l'elaborazione basata sul cloud rendono il rilevamento fotogrammetrico di un sito un'attività posta su piani differenti, che vanno da quello basilare a quello avanzato, utilizzando le caratteristiche della fotocamera e di alcuni software che sfruttano i principi di corrispondenza tra punti. Esistono software open source e software proprietari che rendono intuitiva e veloce l'applicazione della tecnologia adottata nell'ambito della fotografia tridimensionale, utilizzando i processi di reverse modeling per la triangolazione delle misure all'interno di uno spazio tridimensionale. Questi tipi di software, individuando i punti di riferimento comuni tra i fotogrammi dell'oggetto rilevato, partono da un oggetto reale e scattano una serie di fotografie realizzate in modo tale che ogni punto dell'oggetto sia presente in almeno tre foto. Grazie alle regole di triangolazione cloud computing dato uno spazio 3D è possibile identificare la reale posizione di un dato punto dell'oggetto di studio.

La ripresa fotografica è una fase del rilievo che influenza notevolmente il risultato finale del modello tridimensionale. Essa avviene posizionando lo strumento, la fotocamera, a completa copertura dell'oggetto di studio influenzando notevolmente l'acquisizione dei dati quindi, per cui occorre una buona progettazione delle operazioni fondamentali al fine di ottenere una efficace acquisizione delle informazioni. L'omogeneità dei fotogrammi e l'assenza di ombre nette sulle superfici servono a non alterare l'aspetto cromatico del manufatto. Per questo motivo la luce della prima mattina, che consente una ripresa omogenea dello spazio con un'ombreggiatura costante, viene considerata un criterio indispensabile per la fase di ricostruzione e analisi del dato dal punto di vista del materiale di fattura.

Durante il rilievo del complesso di San Francesco, durato complessivamente due giornate, la ripresa laser scanner è stata affiancata da quella fotografica

con il fine di ottenere elaborati descrittivi dello stato di fatto post sisma. La prima giornata di lavoro è stata dedicata al rilievo della chiesa, con particolare attenzione alla zona del coro e della cappella dell'Annunciazione posta alla base della torre campanaria, alla cappella di San Sebastiano, in adiacenza alla chiesa principale, e infine alla sacrestia. Durante la seconda giornata è stata rilevata la parte che un tempo era interessata dalla zona conventuale: il piano terra con il chiostro, l'archivio storico, il museo "Parco dei Sibillini", il primo piano con le zone riservate al museo e infine le parti esterne con il cortile esterno e interno.

L'ambiente della chiesa è stato ampiamente fotografato per poter documentare e analizzare gli apparati decorativi e strutturali al fine di creare un modello funzionale al futuro progetto di restauro e ripristino delle parti danneggiate dal terremoto. La sovrapposizione delle superfici tra i fotogrammi ottenuti ha una qualità notevole e snellisce il processo rendendo facilmente identificabili i punti di sovrapposizione comuni nei vari passaggi dei software.

Alla campagna di rilievo laser scanner è stata affiancata la metodologia di acquisizione dati Structure from Motion (SFM), ovvero un sistema di rilevamento per il quale da una sequenza fotografica viene generato direttamente un modello 3D altamente affidabile e dotato delle informazioni materiche provenienti dalle fotografie. Le modalità con le quali vengono acquisiti dati relativi ai manufatti architettonici variano in funzione delle condizioni del contesto, come quelle meteorologiche oppure, come in questo caso, relative all'agibilità e morfologia dell'oggetto stesso.

Il complesso di San Francesco, seppur articolato in diversi edifici, risulta circoscritto in un'area ben definita dal suo stesso perimetro. Occorre specificare che lo stato della chiesa, a causa dei danni riportati dal terremoto e, quindi, della presenza di macerie e accatastamenti di mobilio, non ha consentito di acquisire perfettamente alcune aree in un'unica di sequenza fotografica. In questa fase sono stati acquisiti, tramite fotogrammetria tridimensionale da terra, la chiesa e il chiostro. Per quanto riguarda l'acquisizione delle informazioni, degli ambienti interni ed esterni del complesso, questa è stata finalizzata alla completa copertura fotografica di tutte le superfici del manufatto con un'accuratezza che va dalla muratura all'inquadramento generale. Racchiudere più superfici all'interno di una stessa sequenza fotografica permette di ottenere un modello più generale del complesso e di controllare maggiormente le rotazioni relative tra i singoli setti murari; ciò agevola il programma di fotomodellazione nel riconoscimento di punti omologhi tra modelli generali e

porzioni più dettagliate degli stessi. La fase di post produzione richiederà particolari attenzioni, come ad esempio il dover riconoscere manualmente punti corrispondenti tra modelli, quali target o geometrie stesse dell'architettura (DOCCI, MAESTRI, 2009).

L'intero lavoro di rilevamento fotografico è stato organizzato in macroattività al fine di ottenere qualità e quantità di informazioni sufficienti a ricreare i modelli geometrici. La suddivisione in sottozone degli ambienti per una gestione ottimale dell'archivio non ha generato problematiche, dato che il complesso ha una forma regolare, con stanze ben definite; l'unica problematica è stata quella di effettuare sequenze fotografiche non esaustive dal perimetro esterno verso la zona a Est del complesso.

Una buona e omogenea condizione di luce è presente nelle sequenze fotografiche finalizzate all'affidabilità dei dati raccolti. Al termine di ogni giornata della campagna di acquisizione è stato verificato il dato caricando le fotografie scattate sul software di elaborazione dati. L'unione dei singoli modelli è stata realizzata in un secondo momento, per una questione di gestione delle tempistiche elevate di elaborazione dei dati. I tempi di processamento e la pesantezza dei file sono un inconveniente legato a questa tecnica di rilevamento.

L'importanza di stabilire anticipatamente l'output finale, in cosa consisterà il fine della restituzione del manufatto, consente di ottimizzare i tempi di elaborazione e finalizzare la gestione del dato ad uno scopo specifico.

La metodologia SFM è stata utilizzata nell'intera area del complesso da rilevare. La valutazione dei risultati ottenuti subito dopo il rilievo ha permesso di strutturare una metodologia efficiente e rapida basata sulla programmazione preventiva e ponderata.

I sistemi laser nascono negli anni Novanta come strumenti per rilevare il sito industriale di una raffineria. Attualmente l'utilizzo del laser si sta ampliando anche al rilievo architettonico e dei Beni Culturali, come chiese, palazzi e castelli. I sensori tridimensionali permettono la generazione di un'immagine 3D di ciò che inquadrano; questo processo di modellazione dei dati è definito range based. È possibile operare una distinzione in funzione dell'origine della luce emessa. Ad esempio, la luce naturale è usata dai metodi di misura definiti passivi, come il teodolite; se invece la luce è codificata al fine di consentire un processo di misura, si parla di sensori attivi, come il laser scanner, strumenti a proiezione di luce strutturata, radar, GPS, stazioni totali e altri. Le tipologie di

strumenti oggi in uso sono due e, seppur operando con principi di funzionamento diversi, hanno caratteristiche simili. Si hanno quindi gli scanner che operano con differenza di fase (triangolazione) e gli scanner TOF (time of flight), detti a tempo di volo (DOCCI-MAESTRI, 2009). Da entrambe queste tipologie si ottiene come risultato la distanza fra il centro dello strumento e il primo punto che il raggio incontra. Questa distanza con la misura dei due angoli di emissione del raggio permette di conoscere la posizione del punto rilevato in coordinate polari.

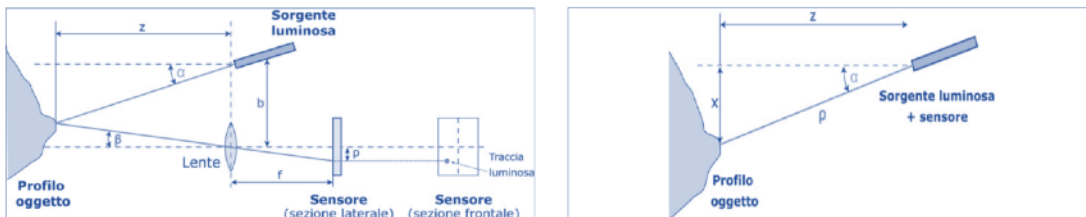


Figura 2.1.3. Schemi di principio di un laser scanner 3D. A destra: a triangolazione con emissione di un singolo spot di luce laser. A sinistra: TOF, a tempo di volo. (Fonte: Russo, 2011, p.174)

I sistemi laser a differenza di fase hanno un'elevata densità di punti acquisiti e una velocità di acquisizione di circa 625.000 punti al secondo, operando in un range di 100 m e con un'accuratezza che va dai 25  $\mu\text{m}$  al centimetro. La risoluzione dell'acquisizione dei particolari è costante in ogni punto ed è talmente elevata da essere paragonata a una fotografia panoramica.

Questi sistemi utilizzano un raggio laser modulato con un'onda armonica per scansionare lo spazio, procedendo punto per punto e calcolando l'intervallo dal punto al centro dello strumento, con un circuito che determina la differenza di fase tra l'impulso emesso e quello riflesso e il tempo necessario all'onda per percorrere la distanza da calcolare. La precisione di questo strumento è notevole, ma l'elaborazione dei dati rilevati è molto articolata, causando tempi dilatati rispetto altri sistemi. Uno dei limiti di questo principio è il fatto che necessita di un segnale di ritorno dotato di adeguata potenza per funzionare; ne consegue una riduzione della portata dello strumento e la possibilità di avere, nella griglia di acquisizione, un numero consistente di punti non definiti.

Lo scanner TOF è costituito da un laser, tradizionalmente un semi-conductor laser, che emette impulsi di luce infrarossa, diretti e canalizzati da una lente di emissione e costituiti da: un sistema di specchi rotanti che deflettono il raggio; una lente di ricezione che coglie il segnale di eco del raggio laser riflesso dalla superficie di impatto dell'oggetto; un diodo ricevitore definito a valanghe in quanto indica un processo di accumulazione di elettroni che, per collisione, ne

genera altri, producendo un segnale di ricezione elettrico; un orologio stabilizzato al quarzo che misura l'intervallo di tempo tra segnale emesso e riflesso. Questo ultimo tipo risulta meno accurato nella misura (nell'ordine di alcuni mm fino ad un paio di cm), ma è vantaggioso poiché opera in un range più ampio (dai 1.500 metri) e possiede una capacità di acquisizione dei punti elevata di circa 12.000 punti al secondo. Le applicazioni del laser a tempo di volo riguardano rilievi di oggetti di grandi dimensioni, garantendo una relativa accuratezza nella misura che rimane costante a un range elevato.

L'accuratezza dei sistemi laser scanner è legata alla precisione della ripetibilità del dato, in quanto lo strumento rileva l'oggetto per singoli punti, e dall'unione di diverse scansioni si ottiene sempre la stessa misura del medesimo punto.

L'unione delle scansioni è il frutto di una ridondanza nella misura delle superfici, ma non del singolo punto, per il fatto che il punto ha un risultato preciso del dato della misura propagato dagli errori di misurazione dell'angolo, della distanza e altri parametri che portano a una variazione del dato di misurazione. Inoltre, un fattore che influenza questa caratteristica è la divergenza del raggio laser che, comportandosi in maniera direttamente proporzionale alla distanza attraversata dal raggio, viene assimilata come diametro, quindi lineare per i grandi spazi, a cui viene addizionato un fattore di espansione lineare espresso in milliradiante.

Esistono delle specifiche di accuratezza relative a ogni strumento riferite a test di laboratorio che ogni ditta produttrice effettua sullo strumento; per questo motivo non si può effettuare una scelta in base a questa caratteristica, ma occorre valutare lo strumento in base al settore di applicazione.

Un problema legato alla grandezza di dimensione dell'ordine di qualche millimetro (fino a diversi centimetri) è legato alla lettura degli spigoli, che è facilmente risolvibile impostando la macchina sulla misura del punto dove effettuare il rilievo. La misurazione effettuata dal laser distanziometrico dipende esclusivamente dal segnale di riflessione della superficie dell'oggetto, mentre nel caso di laser a triangolazione la misura dipende dalla camera. In ogni caso l'intensità del segnale è disturbata da fattori esterni allo stesso strumento, come la distanza, le condizioni meteorologiche, l'angolo di incidenza e la capacità di riflessione della superficie dell'oggetto di studio.

Un problema che insorge spesso è legato alla riflettanza delle superfici colorate, in quanto, a causa della differente riflettività, si generano errori sistematici nella misura. Per quanto riguarda le superfici di colore bianco si ha un'ottima

riflessione, mentre per quelle nere è scarsa. Le superfici che si presentano lucide risultano difficili da rilevare. I problemi legati alla riflessione generata dalle diverse colorazioni sono stati parzialmente risolti dalla dotazione nello scanner di un dispositivo di regolazione che riconosce gli errori nei primi punti rilevati e conseguentemente, dopo aver effettuato un test delle misurazioni, applica una correzione della misura. Inoltre, gli oggetti di studio costituiti sia da una colorazione non omogenea sia da materiali differenti riporteranno errori di un certo peso nel risultato della distanza. Le misurazioni del laser, come detto sopra, possono essere generate da errori dello stato dell'oggetto del rilievo, ma anche da problematiche legate a particolari condizioni meteorologiche, come pioggia o temperature troppo elevate; anche la presenza di vapore o di pulviscolo può inficiare la precisione della misura.

Le procedure per l'acquisizione dei dati metrici con il laser scanner terrestre (TLS) hanno inizio con la scelta dello strumento adeguato al tipo di rilievo da realizzare. Per un rilevamento nel campo della documentazione di un edificio storico si opterà, quindi, per un laser molto preciso, con un'alta risoluzione di scansione e con velocità di esecuzione, al fine di raccogliere maggiori informazioni possibili in un arco di tempo gestibile, in funzione della forma e della dimensione dell'oggetto di studio. Altre considerazioni riguardano la divergenza del raggio laser, la portata del laser in rapporto ai diversi materiali che si devono studiare, il campo di misura, l'opportunità di riconoscere in automatico i target e i punti presegnalizzati, la presenza di sensori RGB accoppiati, l'autonomia operativa di attività, il tipo di software utile a monitorare l'attività di rilievo e a gestire la nuvola di punti. Le caratteristiche appena elencate vanno valutate attentamente nella scelta dello strumento.

Un'operazione importante, preliminare al rilievo, è lo studio dell'oggetto compiuto analizzando i potenziali punti di acquisizione dei dati al fine di creare una nuvola di punti senza zone non rilevate. Alcuni TLS sono equipaggiati, ad esempio, di camere RGB, calibrate e in posizione nota rispetto al laser, per realizzare un modello fotorealistico e perseguire un rilievo laser integrato a un rilievo fotografico. Le considerazioni fatte in precedenza sono di grande importanza ai fini del rilievo, ma vista la versatilità e affidabilità della misura, questo strumento viene ampiamente adottato in diverse situazioni come il monitoraggio dei beni culturali che potrebbero essere situati in luoghi non facilmente raggiungibili oppure il rilievo in zone terremotate. Per questo motivo è importante valutare la trasportabilità e l'autonomia dell'alimentazione del laser.

L'attività di acquisizione dei dati del Complesso di San Francesco si è svolta secondo il principio di integrazione dei dati tra metodologie tradizionali di rilievo diretto e rilievo laser scanner 3D con la tecnica Structure from Motion, al fine di ricavare informazioni utilizzando al massimo le peculiarità di entrambi i rilievi.

Per quanto riguarda le strutture storiche, il laser scanner è uno strumento che soddisfa pienamente gli aspetti della documentazione, del monitoraggio e del restauro, consentendo di approfondire aspetti come la valutazione e il ripristino dei danni sia architettonici che strutturali. I risultati del rilievo laser permettono di indagare con accuratezza e dettaglio anche quando la documentazione è incerta o insufficiente riguardo la geometria, le proprietà dei materiali e la tecnica costruttiva (ERCAN-CAKTI, 2017). L'origine topografica del laser scanner consente l'acquisizione di una innumerevole quantità di coordinate spaziali, quindi anche di superfici ampie, in un lasso di tempo relativamente ristretto, con il vantaggio di posticipare ad una fase successiva l'elaborazione dei dati acquisiti in elementi rappresentabili attraverso la modellazione bidimensionale o tridimensionale.

In sintesi, il rilievo laser risulta vantaggioso per diverse valide motivazioni. Tra le principali si evidenziano i tempi ridotti di acquisizione della campagna di rilievo e la possibilità di effettuare il rilievo di geometrie complesse, come le modanature e gli elementi decorativi.

Lo strumento utilizzato per realizzare il rilievo della Chiesa di San Francesco di Amandola è il laser scanner Scan Station P40 della Leica. Questo laser è definito un sistema "all in one" caratterizzato da altissima velocità, compattezza e un sistema a impulsi corredato da scanner, batterie, sistema di controllo, memorizzazione dati, fotocamera/videocamera con auto esposizione, compensatore biassiale, precisione per il rilievo in caso di pendenze, piombo laser, campo visivo completo e lunga portata. Le caratteristiche del campo di ripresa sono la capacità "full dome", nello specifico  $360^{\circ} \times 290^{\circ}$ , con una scansione di raggio fino a 270 m e una velocità di scansione di circa 1 milione di punti al secondo; ciò permette di realizzare scansioni di elevata qualità in un tempo inferiore ai 2 minuti. La scansione risulta così veloce perché il design Smart X-Mirror Tm consente di conseguire scansioni "full dome" in pochi minuti attraverso una serie di specchi rotanti. Il laser P40 permette di ottenere nuvole di punti molto dettagliate con una mappatura di definizione realistica e a colori, grazie all'elevata portata e all'ottima fedeltà angolare, oltre ad una riduzione del rumore e alla compensazione biassiale per la topografia. Il display, aggiornato

al sistema touch screen, rapportandosi con un'interfaccia grafica on board, rende l'interazione con lo strumento, nel complesso, snella e intuitiva.

Per quanto riguarda l'archiviazione dei dati acquisiti, lo strumento è predisposto con un hard disk di 256 GB che consente il trasferimento su computer tramite usb o ethernet. Inoltre, il laser è corredato da una fotocamera digitale a colori integrata con zoom per le riprese video, con una qualità di acquisizione delle immagini HD panoramiche di 700 megapixel. Una volta trasferiti su computer, i dati raccolti dal laser scanner vengono rielaborati con la piattaforma software per le nuvole di punti 3D leader del settore che comprende il software Leica Cyclone, i plug-in Leica CloudWorx per i sistemi CAD e il software gratuito Leica TruView.

La prima fase del progetto di scansione, previsto da ogni rilievo, è la progettazione della campagna di acquisizione, che avviene con un'organizzazione di massima. L'acquisizione va progettata principalmente in funzione dello scopo del rilievo e in base alla visione ottimale dell'oggetto legata al rapporto delle distanze fra laser e l'oggetto stesso. Lo schema di lavoro ha come scopo la copertura di tutto il sistema architettonico con metodo, ottimizzando i tempi di acquisizione e assicurando più scansioni di aree di sovrapposizione in modo da evitare buchi nella nuvola. Il sito, reso inagibile dal sisma, ha reso gestibile la programmazione, avvenuta con molta cura a causa della fragilità dell'edificio. La notevole dimensione del fabbricato ha provocato coni d'ombra, ma aumentando il numero di scansioni e cambiando più punti di vista, si è risolto il problema, sebbene il tutto sia stato complicato dai percorsi obbligati delle stazioni causati dalle macerie e dal mobilio fuori posto.

La regolazione dello strumento preliminare al rilievo avviene mediante le seguenti operazioni. In primo luogo si procede al posizionamento dello strumento sul cavalletto nel luogo e all'altezza ritenuti più idonei per la scansione; ad esso segue il controllo del livello, verificando la bolla delle livelle. Una volta acceso il laser, bisogna attendere il tempo del check di verifica del sistema. Terminata la fase preparatoria, lo scanner effettua una rotazione di 360° per poi posizionarsi nella direzione del punto che valuta come punto di partenza, emettendo un segnale spia verde di ready. Successivamente, si procede all'inserimento dei parametri prescelti, con una specificazione della densità dei punti da rilevare. Nello specifico, l'immissione riguarda i seguenti valori:



- risoluzione, che permette di definire quanti punti riportare in ogni scansione e quindi la precisione ed il dettaglio desiderato, valore calibrato secondo il rapporto direttamente proporzionale tra distanza e risoluzione (per cui maggiore sarà la distanza media, maggiore dovrà essere la risoluzione impostata e viceversa);
- velocità di scansione, indirettamente proporzionale alla precisione richiesta dalla scansione. Per garantire omogeneità in termini di accuratezza è opportuno posizionare lo scanner ad una distanza mediamente costante rispetto alla parte di interesse da rilevare. Fissato il passo di scansione un oggetto più lontano sarà descritto con un numero di punti minore rispetto ad un oggetto vicino. Questo implica che la scelta del passo di scansione andrà effettuata sulla base della distanza media dell'oggetto dallo scanner, in modo da ottenere un rilievo costituito da una serie di scansioni con precisioni omogenee.

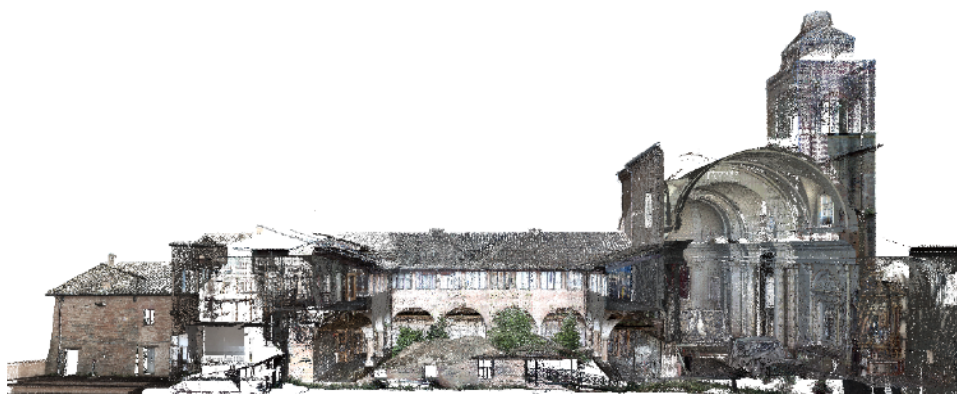
La realizzazione della scansione può essere eseguita in due modi: la prima può avvenire direttamente sull'intera scena visibile dallo strumento, mentre la seconda vede una partizione visiva con la possibilità di segnare l'area scansionata direttamente sul fotogramma acquisito. Ogni punto sottoposto a scansione è caratterizzato da quattro informazioni che indicano le tre coordinate lungo gli assi principali x, y, z e i valori di riflettanza specifici del materiale e dell'angolo di incidenza del raggio laser. Inoltre, lo strumento effettua una nuova scansione limitata alla zona ad alta riflettanza, con l'obiettivo di individuare il punto centrale con estrema precisione, il quale una volta trovato viene segnato con una croce e viene classificata la mira.

Riassumendo, il progetto di rilievo geometrico è basato sull'uso integrato di tecniche di rilevamento diretto e indiretto, fondate su sensori passivi ed attivi, al fine di validare i dati acquisiti. Entrambi i metodi consentono di ottenere risultati molto accurati, ma spesso incompleti, come nel caso dei dati provenienti da laser scanner 3D che mostrano zone d'ombra in corrispondenza della copertura oppure le ortoimmagini acquisite dalla fotogrammetria, essenziali in fase di analisi di facciate, ma contenenti errori legati alla fase di creazione della texture. L'uso integrato dei due metodi, dunque, permette di ottenere un sistema di conoscenza che garantisce l'affidabilità del dato, sfruttando le potenzialità di ogni singolo approccio metodologico, arrivando ad una completa e corretta sintesi del dato non raggiungibile con l'utilizzo di un singolo metodo.

## 2.2. La gestione dei dati acquisiti

Una volta che è stata effettuata la campagna e sono stati acquisiti i dati si passa alla fase di gestione del dato tramite la rappresentazione bidimensionale.

La principale differenza tra i sistemi di rilievo image based e i sistemi range based è che nei primi è necessario passare da dati di acquisizione (immagini bidimensionali) a dati tridimensionali per la costituzione del modello; questo passaggio nei sistemi come i laser scanner non è presente, in quanto il dato acquisito è già tridimensionale (NESPECA, 2018). La gestione delle fasi operative di un rilievo digitale rappresenta un aspetto fondamentale per la creazione di elaborati grafici bidimensionali affidabili e utili alla lettura di un oggetto architettonico. Rientrano in queste fasi tutte quelle attività che in un primo tempo sono connesse all'acquisizione strumentale e, successivamente, all'elaborazione grafica (ovvero la vettorializzazione degli elementi architettonici e delle sezioni che si vuole restituire in forma bidimensionale dell'oggetto di studio).



*Figura 2.2.1. Sezione prospettica della nuvola di punti del complesso di San Francesco.*

Il dato di output di un rilievo laser scanner permette di controllare dimensione e morfologia dell'oggetto in uno spazio virtuale tridimensionale. Tuttavia la mole di dati ottenuti è difficilmente gestibile per una sintesi grafica bidimensionale. Per questo motivo la tecnologia Leica Geosystem, in sinergia con Autodesk, fornisce strumenti utili a questo tipo di operazioni, consentendo di aprire la nuvola di punti direttamente in ambiente CAD. Nelle fasi di restituzione e discretizzazione dei dati, questa procedura permette di effettuare letture con il minimo grado di approssimazione, ottenendo restituzioni affidabili. Inoltre, per ottenere una maggiore affidabilità del rilievo, occorre mantenere una corrispondenza fra l'errore della fase di acquisizione e l'errore dell'interpretazione del dato prodotto nella relativa fase di restituzione, al fine di

interpretare correttamente la morfologia dell'oggetto visualizzato come una nuvola di punti. Nella restituzione del rilievo 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. La gestione del livello di dettaglio richiesto, in funzione della densità della maglia dei punti acquisiti, è gestita dal disegnatore che deve garantire una coerenza grafica funzionale alle possibilità di stampa richieste, dalla scala rappresentativa del disegno e dalle specifiche esigenze del rilievo. "Con la possibilità di gestire successivamente differenti scale di rappresentazione senza modificare la nuvola di punti stessa e non da una immagine statica di quest'ultima definita ed elaborata a priori in funzione di una sola possibilità di scala rappresentativa, questa procedura conferma un vantaggio procedurale nella costruzione di una coscienza grafica fondata nel disegno" (BERTOCCI-BINI, 2012). Inoltre, con la "rappresentazione bidimensionale dell'architettura" si fa riferimento ad un insieme di documenti aventi lo scopo di mostrare e far comprendere il bene oggetto di studio (SAINT AUBIN, 1999). Lo scopo della restituzione bidimensionale è sintetizzare per facilitare la percezione dell'edificio.

La fotogrammetria ha un ruolo fondamentale e certo come moderna e rigorosa tecnica di rilievo nel campo dei Beni Culturali in quanto, dal momento in cui il documento stesso è il risultato del rilievo, questo deve fissare le forme dell'oggetto, le sue dimensioni e proporzioni ed esporre le relazioni architettoniche delle singole parti che costituiscono l'intero organismo. Inoltre, il documento deve mettere in luce i dettagli dello stato di fatto e diagnosticare il degrado, per poter chiamare in causa gli strumenti di intervento per la salvaguardia. Il vantaggio che la fotogrammetria permette nella riproduzione dei Beni Culturali è quello di unire fotografia e disegno metrico accurato. Rappresentare l'architettura con un rilevamento affidabile definisce gli aspetti geometrici e morfologici riportati nel sistema di rappresentazione spaziale bidimensionale e tridimensionale con una discretizzazione dei dati appropriata al fine della rappresentazione stessa. L'uso della tecnologia laser scanner, nella Chiesa di San Francesco, ha permesso di acquisire un'elevata quantità di informazioni sulle condizioni spaziali del monumento e del relativo stato di fatto, rimandando a un secondo momento l'elaborazione dei dati e le analisi relative alla rappresentazione. Prima della restituzione del rilievo, in ambiente AutoCAD, si devono effettuare operazioni preliminari sulla nuvola di punti, all'interno del software Cyclone; tra queste, particolare attenzione va prestata al controllo

finale dell'allineamento delle singole scansioni ed alla pulitura della nuvola di punti da elementi estranei all'architettura rilevata. Il controllo di eventuali errori di allineamento delle scansioni è la prima operazione effettuata sulla nuvola di punti dopo aver realizzato la registrazione delle singole scansioni. Questa operazione, che in parte viene eseguita durante il processo di registrazione, è un ulteriore controllo di verifica sull'affidabilità del rilievo finale prima di procedere alle operazioni di restituzione grafica.

L'azione di controllo sulla nuvola di punti è essenziale per escludere problemi di rototraslazione delle singole scansioni e permette di procedere con la creazione di un piano di sezione per osservare nel dettaglio quei punti che, prossimi al punto di taglio, intendono descrivere una specifica superficie. Ponendosi con la vista perpendicolarmente alla superficie e parallelamente rispetto al piano di sezione è possibile verificare che la slice della sezione risulti unica; ciò significa che le scansioni della nuvola sono allineate senza sfalsamenti delle porzioni rilevate. Una volta verificata la correttezza dei processi di registrazione, si procede con la pulitura accurata della nuvola complessiva mediante l'eliminazione dal database dei punti ritenuti estranei (rumore), generati accidentalmente da oggetti mobili presenti al momento dell'acquisizione o da incidenze del raggio laser con condizioni di luce particolari. Queste infatti, in viste ortogonali della nuvola utilizzate per la realizzazione del disegno bidimensionale, possono sovrapporsi all'architettura creando problemi di lettura e problemi di comprensione dell'oggetto rilevato.

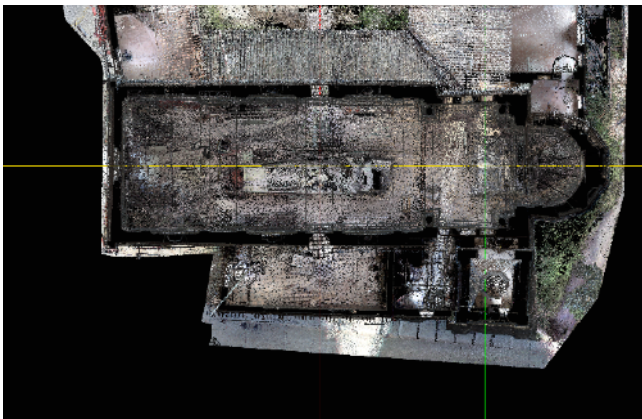


*Figura 2.2.2. Slice longitudinale della chiesa di San Francesco.*

Effettuata l'operazione di pulitura, la nuvola di punti è pronta per essere utilizzata per la restituzione bidimensionale e tridimensionale del rilievo. Tra le diverse modalità di gestione e di editing della banca dati tridimensionale in ambiente Cyclone, è possibile definire l'inserimento di piani e visualizzazioni

parziali della nuvola, definendo quali sezioni grafiche siano più rappresentative. La scelta del posizionamento dei piani sezionanti è fondamentale, in quanto comporta una prima discretizzazione del dato acquisito nella costruzione di un sistema di riferimento attraverso il quale veicolare il racconto del luogo. La visualizzazione dell'ambiente virtuale in proiezione parallela (assonometria) consente poi di progettare la restituzione bidimensionale del rilievo, dando la possibilità di comparare le diverse sezioni e optando per quelle che descrivono in modo più esaustivo la complessità del sito.

Nello specifico caso di San Francesco è stato scelto un piano di sezione orizzontali, posto a +1.5 m per poter descrivere compiutamente lo sviluppo planimetrico; per il disegno degli alzati, invece, le sezioni verticali sono state impostate una longitudinalmente e due trasversalmente all'asse di sviluppo principale della chiesa, in maniera da ottenere la migliore visualizzazione possibile della maggior parte degli elementi presenti. La discretizzazione consiste nella scelta degli elementi da rappresentare e del trattamento applicato ad essi nel disegno, in funzione della scala di rappresentazione scelta.



*Figura 2.2.3. Cutplane della nuvola di punti.*



*Figura 2.2.4. Fotopiano della chiesa di San Francesco.*

Lo scopo della lucidatura è quello di ottenere un disegno bidimensionale nel quale ogni elemento dell'architettura sia riconoscibile, conservando le caratteristiche morfologiche con la garanzia della misurabilità. La rappresentazione bidimensionale dalla nuvola di punti permette di rimandare ad una fase successiva la scelta della scala di rappresentazione, grazie alla possibilità, una volta scelta l'unità di misura metrica, di disegnare concettualmente in scala 1:1 mantenendo una corrispondenza con l'architettura reale. Questo sistema di gestione della rappresentazione implica un controllo maggiore. La restituzione del rilevamento avviene con la lucidatura preliminare della linea di sezione, dei contorni dell'architettura e di eventuali altri elementi rilevanti presenti. In questa fase si realizza un disegno che costituirà la base per la realizzazione dei fotopiani.

Il risultato è un modello vettoriale tridimensionale che può essere esportato in formati standard per essere supportato da comuni programmi GIS e CAD. Dalla tecnica e strumentazione adottata, in aggiunta alla verifica di distanze reali, si può considerare la completa affidabilità e precisione del prodotto. Il fotopiano ottenuto costituisce una rappresentazione fotografica metrica che comprende vari aspetti dell'oggetto, come il colore, i materiali, la presenza di macchie d'umidità o di parti d'intonaco danneggiato e ogni altra informazione sul danneggiamento della struttura, come crepe e cedimenti. La restituzione vettoriale è una rappresentazione sintetica dell'oggetto in cui si possono mettere in risalto i principali elementi architettonici e strutturali, essendo anche organizzabile in livelli tematici differenti. Per ottenere la restituzione vettoriale il fotopiano è stato importato in CAD, mettendo in evidenza la composizione della chiesa e permettendo la lettura del complesso. Infatti, si può dire che, ai fini dello studio di un bene architettonico, l'immagine fotografica (raccogliendo una complessa quantità di informazioni) è uno strumento prezioso per rilevare le forme, le tecniche costruttive e tutti i fenomeni che hanno attinenza con la storia, l'arte, la sociologia dell'ambiente e dell'urbanistica. La rappresentazione grafica dà forma ai dati geometrici, registrandola e rappresentandola a seconda dello scopo della rappresentazione, in quanto riunisce i vantaggi descrittivi della fotografia arricchita delle informazioni metriche. La fotogrammetria invece risulta indispensabile per documentare l'architettura, per il fatto che un'immagine è una memoria globale di cui si può sempre disporre per produrre, attraverso elaborazioni numeriche e grafiche, un'analisi accurata delle forme, dimensioni e proporzioni di un oggetto, anche in caso di perdita degli edifici, come avvenuto a causa di terremoti e guerre.

La diffusione dei computer e delle fotocamere digitali, nella pratica del rilievo architettonico, ha ampliato notevolmente le tecniche della fotogrammetria. Nel rilievo architettonico, l'applicazione del fotopiano opera una trasformazione omografica, detta raddrizzamento, che porta il piano rappresentato da una posizione generica prospettica alla sua proiezione ortogonale rispetto all'asse ottico della presa stessa. Ad esempio, dall'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. L'omografia è una trasformazione fra due spazi piani governata analiticamente da 8 parametri che rappresentano le coordinate X e Y di 4 punti, di cui tre non allineati. La sua formula analitica è la seguente:

$$x' = (a_1x + a_2y + a_3) / (c_1x + c_2y + 1) \quad y' = (b_1x + b_2y + b_3) / (c_1x + c_2y + 1)$$

dove a, b, c sono le costanti che particolarizzano l'omografia.

La conoscenza delle coordinate x e x' e y e y' di 4 punti omologhi permette di scrivere 8 equazioni in 8 incognite e conoscere quindi gli 8 parametri a1, a2, a3, b1, b2, b3, c1, c2. Anche in questo caso, come nella fotogrammetria tradizionale, vi sono tre metodi di restituzione: grafico, ottico-meccanico e analitico; in altre parole esistono tre tipi di procedure per ottenere la figura "reale" ABCD (ovvero in vera grandezza), avendo a disposizione l'immagine fotografica A'B'C'D' (FANGI, 2006). Per ottenere l'immagine in vera grandezza del soggetto piano rappresentato non occorre, in generale, conoscere la distanza focale dell'obiettivo, ovvero il "cerchio di distanza" della costruzione prospettica. Ciò rende utilizzabili per le operazioni di fotogrammetria monoscopica anche le moderne fotocamere amatoriali digitali che, avendo generalmente la messa a fuoco automatica, non indicano con certezza l'effettiva distanza focale con la quale si è formata l'immagine che è possibile ricostruire graficamente.

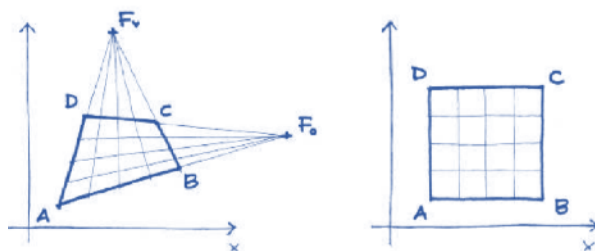


Figura 2.2.5. Schema della presa fotografica e del raddrizzamento (Fonte: RUSSO, 2011).

Dopo questa parentesi sul raddrizzamento fotografico, tecnica integrabile per conseguire una rappresentazione accurata, è possibile riprendere il discorso della gestione dei dati relativi alla nuvola di punti, che consiste in una grande quantità di informazioni da organizzare per renderle gestibile la restituzione grafica. La fase preliminare delle lavorazioni sulla nuvola consiste nella corrispondenza dei dati rilevati. Per la gestione del lavoro, si necessita dell'integrazione di dati attraverso specifici programmi; per ottenere un adeguato prodotto grafico occorre verificare quali proprietà deve avere il supporto, verificare quali software, controllare formati e compatibilità dei prodotti. I software di modellazione 3D e di tipo CAD disponibili non sono in grado di elaborare la quantità di dati ottenuta con questi strumenti in maniera fluida. In generale le funzioni di base di un software ideale per il rilievo nei Beni Culturali sono:

- controllo e gestione dell'acquisizione dei dati;
- pretrattamento dei dati acquisiti (rimozione del rumore, filtraggio, registrazione delle scansioni);
- trattamento dei dati filtrati (modellazione);
- integrazione con altre informazioni (mappatura di immagini digitali).

In generale, questi programmi consentono di definire i parametri generali dell'acquisizione, come l'area di scansione ed il passo incrementale dello strumento, la visualizzazione in tempo reale del risultato della scansione, le distanze misurate o la riflettività e l'eventuale immagine RGB registrata. Al termine della scansione l'operatore può modificare il punto di vista della scansione e muovere nello spazio la nuvola di punti acquisiti per verificare il raggiungimento dell'obiettivo prefissato. I dati acquisiti, possono essere scaricati direttamente su pc durante l'acquisizione oppure memorizzati all'interno dello strumento e scaricati solo al termine della sessione di misura. I formati di memorizzazione possono essere quelli tipici del software oppure in formato testo o .DXF (facilmente leggibili da qualsiasi software di visualizzazione). Il data cleaning è un'operazione necessaria laddove si ha la parziale riflessione del raggio in corrispondenza degli spigoli, gli errori nel calcolo della distanza dovuti alla presenza di materiali dotati di diversa riflettività, i punti errati causati da oggetti molto brillanti e gli effetti atmosferici. In aggiunta a questi errori vanno sommati i punti causati dalla riflessione di oggetti sullo sfondo, le riflessioni originatesi nello spazio tra scanner e oggetto (come



alberi od oggetti in primo piano, persone che si muovono o traffico) e le riflessioni multiple del raggio laser.

Dopo questa fase si passa all'operazione di registrazione, la quale può avvenire secondo due modalità: utilizzando punti oppure correlando forme complesse. Le tecniche di registrazione che si basano sull'utilizzo di punti prevedono che le scansioni adiacenti abbiano un sufficiente grado di ricoprimento, non inferiore al 30%, e che all'interno di questa fascia esistano punti naturali e individuabili direttamente sulla nuvola, in numero sufficiente a garantire la stima dei parametri della trasformazione spaziale che consente di mettere tutte le scansioni nello stesso sistema di riferimento. L'operazione di scelta dei punti di collegamento all'interno di due scansioni e la definizione dei punti omologhi può avvenire in modo completamente manuale. L'utilizzo di questi punti è possibile solo quando l'oggetto è accessibile; tuttavia molti software consentono un'acquisizione automatica ad elevata risoluzione e il rilevatore deve gestire la sola collimazione.

L'allineamento di nuvole di punti avviene con il metodo punto-punto, che si contrappone al metodo punto-piano sviluppato da Chen e Medioni (CHEN-MEDIONI, 1992). In entrambi i metodi adottati, la registrazione avviene tramite la ricerca del minimo di una funzione obiettivo. Nel primo metodo la funzione è data dalla somma dei quadrati delle distanze dei punti corrispondenti delle nuvole. I punti corrispondenti si definiscono come la coppia formata da un punto di una nuvola e quello più vicino appartenente alla nuvola opposta. Nel secondo metodo, punto-piano, sono da minimizzare le distanze tra i punti di una nuvola ed i piani di best-fit passanti per i punti dell'altra. Quest'ultimo metodo permette una convergenza con un numero di iterazioni di un ordine di grandezza minore, grazie al fatto che possiamo muoverci su un piano bidimensionale per trovare il minimo della funzione. Tale processo di best-fit dei piani è piuttosto oneroso dal punto di vista computazionale, mentre il metodo punto-piano resta più veloce e più preciso di quello punto-punto. L'allineamento avviene per due sole nuvole per volta; tuttavia alcuni software commerciali (come PolyWorks, Innovmetric; Geomagic Studio, Geomagic Inc.; RapidForm, INUS Technology) permettono di eseguire, dopo una prima fase di allineamento delle nuvole a coppie in cui ogni nuvola viene allineata con l'ultima, un allineamento globale di tutte le nuvole insieme, con una minimizzazione dell'errore di registrazione fra le scansioni.

La restituzione dei dati scansionati con lo scanner 3D avviene secondo un processo opposto al tradizionale metodo di rilievo. All'inizio si ha la fase di registrazione con il software Cyclone e, di conseguenza, l'unione di tutte le

scansioni in un'unica nuvola di punti. Per poter riunire tutte le scansioni effettuate dalle diverse postazioni è necessario definire un unico sistema di coordinate arbitrario, ma comune a tutte le nuvole, mentre per un sistema georiferito è necessario riportare i dati ottenuti dalle misurazioni effettuate con il GPS, riferite ad un sistema cartografico di coordinate.

La precisione e la densità di punti vengono stabilite durante la fase iniziale della progettazione del rilievo. L'acquisizione deve rispondere ai requisiti richiesti dai committenti, per cui è necessario specificare, nella fase preliminare, quale sarà la dimensione dell'impronta del raggio laser (che non può superare il doppio della densità dei punti), il numero e la posizione delle scansioni (al fine di non ottenere delle lacune nei dati), il grado di sovrapposizione tra scansioni adiacenti e in quale modo filtrare i dati per implementare le performance del software.

Arrivando alla rappresentazione tridimensionale del dato metrico acquisito, si ottiene un modello virtuale in tre dimensioni visibile in modo interattivo su un computer. In sostanza si tratta del passaggio da una nuvola di punti ad una superficie continua (DE LUCA, 2011). La modellazione tridimensionale di oggetti e scene è di grande interesse non solo nell'industria, nella robotica, nella navigazione, nel body scanning, ma anche nell'ambito dei Beni Culturali, dove viene utilizzata in diversi campi quali: documentazione in caso di distruzione o danneggiamento, creazione di musei e turismo virtuale, didattica e studi strutturali. Il valore di questo settore è giustificato dall'alta precisione e dalla capacità di riprodurre fedelmente i dettagli, caratteristiche indispensabili che si aggiungono al basso costo, maneggevolezza e alto livello di automazione nel processo. La conoscenza, avvenuta per via fotogrammetrica, delle coordinate dei punti visibili nelle nuvole in un certo sistema di riferimento consente infine la georeferenziazione dell'oggetto in un sistema di riferimento esterno, operazione fondamentale se si vuole utilizzare il rilievo in modo integrato con i dati acquisiti con altre metodologie. Il prodotto della scansione è costituito da una o più nuvole di punti ad altissima densità che descrivono con estremo dettaglio la superficie dell'oggetto. L'acquisizione del dato, però, costituisce soltanto una prima fase del rilievo; vi è una seconda parte del lavoro molto lunga e complessa, la fase di elaborazione o post processing dei dati acquisiti, che diventa l'elemento chiave per la costruzione di un modello tridimensionale corretto. In questa operazione sono riassunti tutti i processi informatici, automatici e manuali, che contribuiscono all'evoluzione della nuvola di punti "grezza", output dello strumento, al prodotto grafico finale. Va

puntualizzato come l'enorme quantità di dati ottenibili da un rilievo laser scanner rappresenti una forma di riproduzione dell'oggetto più complessa rispetto alla restituzione di un rilievo in ambiente CAD. L'efficacia della nuvola di punti sta nel poter realizzare una rappresentazione esaustiva, ottenuta da un modello reale complesso, consentendo di esplorare l'oggetto, ricavando misure e sezioni da qualsiasi punto o posizione. Il modello 3D texturizzato e navigabile dell'edificio è una descrizione dell'oggetto molto dettagliata, da cui si può estrarre una grande quantità di dati metrici accurati. Nel passaggio dalla nuvola alla restituzione tridimensionale i dati vengono rielaborati secondo un rilevamento affidabile, che permette di cogliere aspetti geografici e morfologici e trasferirli in un sistema grafico tridimensionale.

La tecnologia laser scanner applicata alla Chiesa di San Francesco ha consentito di ottenere un elevato numero di informazioni sullo stato di fatto, posticipando ad un secondo momento considerazioni riguardanti il disegno e il sistema architettonico da rappresentare. Le informazioni ottenute tramite metodo indiretto sono rielaborate fino all'ottenimento di elaborazioni di tipo bidimensionale e di tipo tridimensionale. La documentazione tridimensionale memorizza i beni architettonici nella loro situazione attuale; permette di studiare il passato, i metodi di conservazione e può essere utilizzata per interventi futuri. Inoltre, questa tipologia di rilievo conserva digitalmente il patrimonio qualora ci fossero perdite o danneggiamenti, come in caso di catastrofi naturali.

Il passaggio successivo al dato tridimensionale e quello relativo alle applicazioni di mesh (superficie frammentata in poligoni triangolari connessi mediante i loro bordi e vertici) permette la generazione ottimale per la corretta elaborazione della superficie. Per gli oggetti complessi normalmente è necessario suddividere la nuvola di punti in porzioni (segmentazione), in cui ciascuna entità viene modellata separatamente, mentre il modello complessivo è generato dall'unione delle singole entità modellate. I software in commercio consentono di effettuare l'operazione di segmentazione esclusivamente in modo manuale: l'operatore sceglie e seleziona una porzione della nuvola di punti dallo schermo e lancia il tool di modellazione. La generazione di un modello tridimensionale fotorealistico, supportato da più scansioni dell'oggetto, permette la riproduzione dell'intera geometria senza buchi e zone nascoste. L'operazione di modellazione vera e propria avviene con la trasformazione della nuvola di punti in una superficie discreta tramite la generazione delle mesh. L'operazione di smoothing è una lisciatura della mesh e costituisce un passaggio essenziale nell'elaborazione della geometria in relazione a numerose applicazioni, fra cui,

ad esempio, la progettazione di superfici ad alta qualità, la riduzione del rumore dei dati ottenuti, il blending delle superfici e la chiusura di eventuali buchi dati dalla mancanza di sufficienti punti su una data porzione dell'oggetto. La decimazione delle mesh definisce criteri di qualità come la distanza geometrica o l'apparenza visiva, che contraddistingue le mesh allo scopo di realizzare le specifiche proprietà reali dell'oggetto. L'obiettivo della tecnica di remeshing è quello di incrementare la qualità della mesh nell'utilizzo di vari algoritmi di modellazione. A partire da una mesh tridimensionale si determina quindi una nuova superficie poligonale che deve essere in grado di soddisfare i requisiti di qualità, offrendo una buona approssimazione della mesh iniziale. Le operazioni di remeshing sono finalizzate ad ottenere una mesh con distribuzione uniforme; ciò è possibile uniformando ulteriormente la mesh operando sulla dimensione dei triangoli oppure sulla densità dei vertici.

Per quanto riguarda le NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) sono rappresentazioni matematiche della geometria 3D che definiscono accuratamente qualunque forma, come una semplice linea, un cerchio, un arco o una curva, un complesso solido o superficie a forma libera o organica 3D. Grazie alla loro accuratezza e flessibilità, i modelli nurbs possono essere usati nei più svariati processi, dalle illustrazioni ed animazioni sino alla fabbricazione. Le geometrie nurbs hanno importanti caratteristiche che le rendono una scelta ideale per la modellazione poiché rappresentano accuratamente sia oggetti geometrici standard sia geometrie free-form; inoltre, la quantità di informazioni per tale rappresentazione è inferiore a quella necessaria per riprodurre la stessa geometria con le mesh. Curve e superfici nurbs si comportano in modo analogo ed una curva nurb è definita da quattro caratteristiche: il grado, i punti di controllo, i nodi e la regola di stima. Il grado è un numero intero positivo, che varia da 1 a 5; in genere le linee e le polilinee nurbs hanno grado 1 e le curve free-form ha grado 3 o 5. I punti di controllo sono una fila di punti in numero pari a grado +1. Uno dei modi più semplici per modificare la forma di una curva nurbs consiste nel variare la posizione dei suoi punti di controllo.

Dopo la generazione della superficie, il modello può essere visualizzato in modalità wireframe, shaded o textured model. Uno degli strumenti più adeguati alla documentazione di oggetti tridimensionali è rappresentato dal modello geometrico texturizzato poiché fornisce una visualizzazione fotorealistica su una rappresentazione geometrica. Si possono utilizzare immagini a colori per ottenere la visualizzazione fotorealistica di un modello 3D, soprattutto nelle applicazioni terrestri. Quando invece si vuole mappare sul modello

tridimensionale delle immagini con parametri di orientamento incogniti, si ha bisogno del modulo UV mapping per l'individuazione della relazione fra immagini e oggetto 3D. Tale modulo crea una pellicola che riveste il modello, attraverso l'assegnazione dei coordinate UV (coordinate della texture) ai poligoni. Tutte queste operazioni garantiscono l'aggiunta di un gran numero di dettagli in fase di texturizzazione grazie all'impiego di bump e displacement mapping. In conclusione, utilizzando i sistemi di rielaborazione SFM per il modello mesh, sul quale è possibile ricollocare gli scatti, si ottengono in output immagini ortografiche texturizzate in scala. Dopo questa ampia panoramica sui metodi image based e range based si arriva alla fusione dei dati per ottenere un'unica rappresentazione grafica.

Gli elaborati finali possono essere realizzati con il CAD tradizionale o con la più attuale tecnologia BIM, la quale comprende informazioni dal progetto fino alla demolizione di un manufatto. Nel BIM il flusso di lavoro è gestito tramite un database, gerarchizzato e organizzato secondo settori, che può essere messo in connessione con un modello HBIM al fine di ottenere in "un'unica soluzione le attività di gestione degli edifici" (QUATTRINI-PIEDICCA-MORBIDONI, 2017). Inoltre, è possibile trasferire la nuvola di punti ottenuta dal laser scanner al software strutturale per l'analisi delle deviazioni (DA) e per la modellazione degli elementi finiti (FE). Il metodo degli elementi finiti (FEM) permette di studiare il comportamento strutturale dinamico fornendo, nel caso di beni immobili, informazioni per la salvaguardia degli edifici storici che rendono il FEM "lo strumento più versatile e comunemente usato per la simulazione numerica delle risposte non lineari e dinamiche di grandi strutture" (CLEMENTI-GAZZANI-POIANI-LENCI, 2016).



## Capitolo 3

### IL CASO STUDIO: LA CHIESA DI SAN FRANCESCO DI AMANDOLA

---

#### 3.1. La città di Amandola: inquadramento territoriale e storico



*Figura 3.1.1. Vista di Amandola sullo sfondo dei monti Sibillini*

La città di Amandola è situata nell'entroterra marchigiano, in provincia di Fermo, a 550 m s.l.m., su di un territorio costituito principalmente da tre colli denominati Agello, Leone e Marrubbione, che prendono il nome dai relativi castelli edificati in precedenza. L'intero territorio di Amandola è composto da 48 frazioni ed è il terzo più vasto della provincia di Fermo. Grazie alla sua collocazione, la città rappresenta uno dei centri più importanti dell'area montana in termini di storia, cultura e paesaggio.

Dal punto di vista paesaggistico le forti valenze naturalistiche sono parte integrante e punto di forza della città, considerata la porta orientale dei Monti Sibillini che la incorniciano, rendendola un luogo di particolare bellezza. A valle si trova il Fiume Tenna che solca il territorio fino al Lago di San Ruffino e lungo il quale si snoda un percorso naturalistico che giunge all'Abbazia di San Ruffino e Vitale, oggi chiusa a causa del sisma del 2016.

Risalente al lontano VI secolo d.C. e riedificata nel XIII secolo con stile romanico, l'Abbazia di San Ruffino e Vitale presenta numerosi affreschi di pregio e dei particolari capitelli cubici all'interno nella cripta.

La Città di Amandola possiede un centro storico estremamente caratteristico e ricco di vicoli suggestivi. Alla piazza principale, Piazza Risorgimento, si accede tramite la Porta gotica di San Giacomo, dalla quale è possibile vedere il

Santuario del Beato Antonio, risalente al XIV secolo. Salendo per le vie cittadine si arriva alla Piazza panoramica Umberto I, dove è possibile ammirare il Palazzo del Podestà del 1352 (il cui torrione è stato ricostruito parzialmente nel 1547), il Teatro Comunale La Fenice, risalente al 1800, e il Palazzo del Popolo, che oggi ospita un monastero di benedettine. Da citare, inoltre, la presenza di una seconda abbazia dedicata ai Santi Vincenzo e Anastasio, un Ospedale Civile attualmente in uso e un edificio denominato della Ex-Collegiata, risalente al 1700, oggi adibito a struttura cine-teatrale.

Nel centro della città si trova il particolare ed importante complesso di San Francesco, il cui chiostro è attualmente accessibile ed ospita il Museo Antropogeografico Parco dei Sibillini, dotato di applicazioni interattive, mentre la chiesa, risalente al 1200 e riedificata nel Trecento, è purtroppo chiusa al pubblico in seguito ai danni causati dal sisma del 2016. Un crocifisso in legno di epoca romanica e vari affreschi della scuola umbro-marchigiana del Quattrocento sono solo alcuni degli elementi di notevole pregio presenti all'interno della Chiesa di San Francesco (di cui si parlerà successivamente in dettaglio).

L'etimologia della città di Amandola non ha origini latine e secondo una tradizione il nome deriverebbe dalla presenza di un grande albero "il bel mandorlo sullo spianato di Castel Leone" (FERRANTI, 1985).

La leggenda narra di Fillide, figlia del re dell'antica Sparta, legata a una promessa d'amore infranta dall'eroe greco Demofonte, figlio di Teseo. Disperata per essere stata abbandonata, la donna fuggì lontano fino ad arrivare alle pendici dei Monti Sibillini, dove si uccise. Apollo, che assistette alla scena, la trasformò in un mandorlo senza foglie né fiori. Demofonte partito a sua volta per cercare l'amata, giunto dinnanzi al mandorlo, non poté far altro che abbracciarlo. L'albero, attraversato da un fremito di vita, si riempì all'istante di foglie e fiori.

Dal punto di vista storico, è l'Atto-Pergamena n. 33 del 1249 uno dei primi scritti ufficiali reperibili che testimonia l'unione dei Castelli Agello, Leone e Marrubbione e l'istituzione di un unico Comune corrispondente a quello di Amandola. Il simbolo scelto per rappresentare questa unione raffigura tre livelli di monti su sfondo rosso, sormontati da un mandorlo; completa l'emblema, ancora oggi in uso, una corona a sette punte posta in alto. Un secondo documento che sancisce a tutti gli effetti l'istituzione del Comune risale al 1290-92: si tratta delle *Rationes Decimarum Italiae* versate dal "Plebano de Amandula".



Grazie alla sua collocazione strategica, il territorio di Amandola risulta popolato fin dall'età preromana; Il ritrovamento di sepolcreti piceni e suppellettili di vario genere testimonia lo svolgersi, fin dai tempi antichi, di scambi commerciali e culturali. La presenza di popolazioni preromane è documentata dal ritrovamento di reperti quali: un vaso bronzeo utilizzato per i banchetti, chiamato "dinos", un cippo di centuriazione dell'età augustea e una stele funeraria risalente al I-II secolo dopo Cristo.

Anche riguardo al periodo romano si hanno documentazioni certe poiché Amandola rientrava nella Quinta Regio del territorio Piceno. Dopo la caduta dell'Impero Romano causata dalle popolazioni barbariche il territorio venne segnato da devastazioni e saccheggi. In seguito, nel 771, i Longobardi istituirono il Ducato di Spoleto con la zona a Est dei Sibillini chiamata Marca Fermana, estesa dal Fiume Esino ad oltre la città di Vasto. Con l'arrivo dei Normanni, la Marca Fermana si ridimensionò nella parte meridionale arrivando fino al Fiume Tronto e ad Ovest comprendendo il territorio di Amandola. Dai Longobardi il dominio passò ai Franchi, come testimoniano alcuni documenti relativi alle donazioni effettuate in favore della Chiesa. I Monaci di Farfa, presenti all'epoca nel luogo, su un documento catastale registrarono Amandola nell'ampliamento dei loro possedimenti territoriali. Sotto il presidio dell'Abbazia di Farfa vennero comprese numerose città e castelli di origine antica: Fermo, Ascoli, Santa Vittoria, Montelparo, Montano, Patignone, Porchia, Ripatransone, Monterubbiano, Montefiore, Offida, Castignano, Rotella, Force, Montemonaco, Santa Maria in Gallo oggi Montegallo, Arquata, Amandola, Montefortino, Penna San Giovanni, Monte San Martino.

Risale alla fine del Novecento il codice n. 1030 dell'Archivio di Stato di Fermo che offre un interessante scorcio di vita religiosa, sociale e economica delle Abbazie di San Ruffino e San Vincenzo e Anastasio.

La fondazione di Amandola avvenne nella fase storica in cui le piccole realtà si univano sotto la protezione della Chiesa o di un signore emergente. Attraverso la fusione dei Castelli Agello, Leone e Marrubbione venne compresa in un unico luogo una popolazione sparsa, ma accomunata da una fisionomia ben definita e codificata: usanze e costumi vennero trascritti negli Statuti del 1336 e stampati con una tiratura di 100 copie al costo di 80 fiorini. Negli anni seguenti, Amandola riuscì a svilupparsi e a mantenere una propria autonomia seppur lottando con Ascoli, fino al processo che si svolse durante il pontificato di Nicolò IV, Papa ascolano, in cui si accusò la popolazione di Amandola di aver assalito il Monte Passillo.

Il XIV secolo vide il fiorire di diverse attività legate all'industria della lana, del rame e della carta, registrando un aumento della popolazione, come documentano le Costituzioni Egidiane del 1336 a Fano ad opera del cardinale Egidio Albornoz. Le città della Marca vennero organizzate in maggiori, grandi, mediocri e piccole: Amandola, con una popolazione di 3.750 anime, si collocava nella fascia definita "mediocre", alla pari di Osimo, Sarnano, San Ginesio, Civitanova, Monte Granaro.

Nel XIV e XV secolo si susseguirono i domini di diverse signorie tra cui i Signori di Varano, il Conte Francesco Sforza, Cesare Borgia, i Malatesta e Nicolò Piccinino.

Nel corso del XVI secolo si verificarono incursioni da parte dei Francesi che arrestarono un periodo di pace durato 40 anni, finito nel 1492 con la morte di Lorenzo De Medici.



Figura 3.1.2. Stralcio della carta storica "La Marca di Ancona" del 1564 ad opera di V. Luchino con evidenziazione di Amandola (Fonte: BEDINI-BRONZINI-MARINELLI, 2012).

Nel 1586 Papa Sisto V istituì il Presidiato di Montalto e i Francesi costituirono il Dipartimento del Tronto, con capoluogo Fermo, eleggendo Amandola capoluogo del Cantone omonimo, da cui dipendevano Comunanza, Montefortino, Montegallo e Montemonaco.

Nel novembre del 1643 la città di Amandola venne invasa da truppe di soldati e banditi; ne seguì, oltre alla devastazione, la crisi economica e politica della Marca di Ancona, che portò ad un arresto economico e sociale fino al Settecento.

Alla fine del XVIII secolo avvenne un progressivo spopolamento della zona. In questo periodo Amandola fu "la prima località delle Marche ad avere il pubblico reggimento in tre gradi: nobili, artigiani e contadini" (ANTONELLI-GAGLIARDI-VIRGILI, 1995). Nel 1818, sotto il governo pontificio, Amandola fu annessa definitivamente alla delegazione di Ascoli.



Figura 3.1.3. Carta dell'edificato del Comune di Amandola risalente al 23 gennaio 1888 (Fonte: Archivio di Stato di Ascoli Piceno).

Dopo la proclamazione del Regno d'Italia, nel 1861, il territorio di Amandola attraversò un periodo di modernizzazione e sviluppo economico. Si avviarono nuove opere infrastrutturali per migliorare le vie di comunicazione come la strada provinciale Sub-Appenninica dei Sibillini. Il cantiere della strada provinciale che mette in comunicazione Arquata del Tronto con Amandola, lunga 41 km, iniziò nel 1865 e venne terminato solamente nel 1963. Il 14 dicembre 1908, inoltre, venne inaugurata la linea ferroviaria Porto San Giorgio-Amandola, lunga 57 km, elettrificata nel 1927 e chiusa dopo l'ultima corsa nell'agosto del 1956 a causa dello sviluppo del trasporto su gomma.



Figura 3.1.4. Fotografia panoramica di Amandola del 1915.

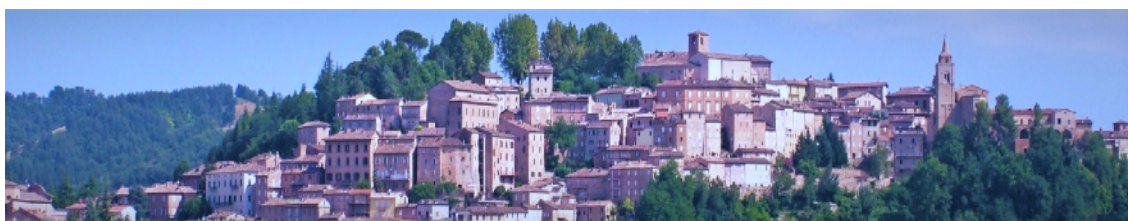
Durante la Seconda Guerra Mondiale il territorio dei Sibillini divenne teatro di numerose battaglie fra partigiani e milizie tedesche. Nell'autunno del '43 giunsero nella cittadina due famiglie ebrae a cui venne offerto un ricovero da parte di Giuseppe Brutti e della consorte Elvira Lucci. In ragione di ciò la famiglia Brutti è stata insignita dall'Istituto Yad Vashem a Gerusalemme dell'alta onorificenza di "Giusti tra le nazioni". Nell'ottobre del 1943 il partigiano Angelo Biondi venne fucilato in piazza ad Amandola e l'anno successivo altri dieci uomini furono fucilati al termine di una rappresaglia avvenuta tra partigiani e

tedeschi. Terminata la guerra, Amandola registrò una ripresa dal punto di vista commerciale e demografico, arrivando a contare 6.000 abitanti, ma nei decenni successivi il territorio attraversò una crisi delle attività produttive che portò allo spopolamento del luogo verso aree più industrializzate. Oggi il Comune conta nel suo comprensorio poco più di 3.700 abitanti che vivono principalmente di turismo, allevamento di bestiame, agricoltura e taglio dei boschi.

Attualmente Amandola è un territorio “ferito” dal sisma del 2016: questa condizione chiaramente visibile nei danni e nell’inagibilità degli edifici riflette una situazione di fragilità umana.

### **3.2. La Chiesa di San Francesco e il suo Complesso: descrizione e inquadramento storico**

La Chiesa di San Francesco è situata in Piazzale Leopardi ad Amandola e la sua edificazione è avvenuta su di un primitivo insediamento noto come Santa Maria Sterparia dei Conventuali Francescani, risalente al 1215. La presenza dei frati in Amandola è testimoniata da un documento datato 1265, mentre la consacrazione della chiesa al Santo è indicata negli Statuti Comunali fin dal 1336.



*Figura 3.2.1. Vista panoramica di Amandola dove è visibile la chiesa di San Francesco prima del sisma del 2016.*

Il primo restauro dell'edificio inizia nel 1313 sulle “ruinam minante prima ecclesia” (GESUÈ, 2000) e viene terminato nel 1423 come testimonia un'epigrafe murata sulla facciata. L'edificio è composto di un'unica navata terminante con un'abside poligonale. La struttura architettonica risulta, nel suo complesso, semplice e formale.

La facciata principale si presenta di forma rettangolare, sormontata da un coronamento terminante a timpano. Il portale di tipo lombardo mostra un leggero strombo formato da eleganti colonne tortili alternate e definite da un arco a tutto sesto incorporante una lunetta. Sull'architrave compare la scritta

"MCCCCXXIII FACTUM TEMPORE M. RI ANTONIUS EGIDIJ" che prosegue separata da un rosone che riporta "ANTONIUS de MILANO HOC OPUS FECIT".

L'ingresso è delimitato da paraste decorate a racemi, mentre all'estremità superiore del timpano cuspidato è rappresentato l'Eterno (Figura 3.2.2.).

Nel 1423 viene posizionato il portale realizzato da Antonio da Milano, come datato sull'architrave, ma solo nell'anno 1430 viene compiuta la costruzione della facciata in stile romanico con inserti gotici. L'opera ordinata dai Frati impiega molti anni per il suo compimento a causa dei finanziamenti provenienti esclusivamente da opere caritatevoli e lasciti, come si evince dalla registrazione di un lascito datato agosto 1429 che ne attesta il fine per il completamento dell'edificio.

Una volta entrati, sul lato destro del presbiterio, si può osservare la Cappella dell'Annunciazione appartenente al primo ambiente della torre campanaria.

In questo ambiente si osserva un ciclo di affreschi appartenenti all'originale decorazione pittorica del XV secolo. Sulla volta a crociera sono raffigurati i quattro Evangelisti, mentre sulla parete interna di sinistra, alla base del campanile, si vede l'Annunciazione compresa fra le immagini dei Santi Giovanni Battista e Ludovico. Nel lunettone sovrastante si può osservare la Crocifissione, mentre nell'intradosso dell'unica monofora presente si vede San Bernardino da Siena collocato di fronte a Sant'Antonio da Padova (Figura 3.2.3.). Questi affreschi di origine incerta possono essere datati intorno al 1480; confrontandoli con altri situati nelle Chiese di San Salvatore a Norcia e di Santa Maria Bianca di Ancarano possono essere attribuiti alla bottega degli Sparapane, in particolare ad Antonio, mentre se confrontati con la Chiesa di Santa Maria di Collepiccione a Spelunga risultano appartenenti alle opere di Panfilo da Spoleto (ROTONDI, 1934).

Un documento del 1474, appartenente ai registri comunali, attesta il perenne cantiere a cui è sottoposta la chiesa, riportando l'impiego di una fornitura per la ricostruzione del tetto ammontante a 40 travi di legno.

Fra il 1486 e il 1492 è edificata la cappella dedicata a San Sebastiano, realizzata sotto la guida del mastro Venanzio Lombardo. Vi si può accedere dalla chiesa principale attraverso un ingresso posto a metà navata. La cappella ha una facciata semplice ed è ornata da due angeli trecenteschi che raffigurano l'Annunciazione e sono situati ai lati di un affresco chiamato "Madonna con Bambino", attribuito al bolognese Pompeo Bagnoli e risalente al 1620 circa. Tra

i numerosi ornamenti che si possono osservare è presente una cornice scolpita con quindici formelle raffiguranti i Misteri del Rosario ad opera del Malpiedi, a testimonianza del passaggio della chiesa nel 1616 alla Confraternita del Rosario. La cornice accoglie l'immagine quattrocentesca della "Madonna del latte" del pittore ginesino Stefano Folchetti. All'interno della cappella è possibile vedere il maestoso altare ligneo realizzato nel 1653 da Scipione Paris di Matelica, successivamente dorato da Giovanni Palocci (Figura 3.2.4.). Il manufatto rappresenta un esempio di simmetria compositiva: è realizzato in bottega con quattro colonne scanalate, due per ogni lato, decorate con motivi floreali terminanti con capitelli corinzi, sormontati da un timpano aperto centralmente su cui si affaccia una colomba circondata da putti.

Tornando nella navata principale, posta di fronte all'altare si trova la balaustra in legno policromo realizzata dagli amandolesi Giuseppe e Filippo Benattendi.

Nell'abside sopra l'altare maggiore si può osservare l'imponente statua in legno scolpita secondo i canoni iconografici del Cristo trionfante sulla Morte nella Resurrezione. La sua provenienza è originaria dell'Abbazia dei Santi Vincenzo ed Anastasio; la sua datazione risale intorno al 1200. La statua mostra una fattura particolarmente curata: i capelli sono raccolti e divisi nel centro in lunghe trecce, i baffi e la barba definiscono le labbra sottili, il naso è lungo ed aquilino, gli occhi sono aperti; la veste è una tunica medioevale tipica dei sacerdoti chiamata "colobium", legata in vita con un doppio nodo; il torace presenta un breve probabilmente sede di una reliquia (Figura 3.2.5.).

Il Chiostro del Complesso di San Francesco è una struttura su due ordini di arcate sorrette da colonne esagonali. Nei pressi del chiostro attualmente si trova il nuovo complesso museale che ospita il Museo Antropogeografico, il Museo della Civiltà Contadina e la Casa del Parco, vera e propria "finestra multimediale e interattiva" sul territorio dei Sibillini.

Gli interventi di ristrutturazione del complesso conventuale sono stati eseguiti nel corso del XVII secolo, periodo al quale possono essere ricondotte le lunette raffiguranti alcune scene di vita di San Francesco con distici esplicativi sottostanti in cui sono stati raffigurati i blasoni delle diverse famiglie amandolesi benefattrici dell'opera di restauro.

Nel XVII secolo la chiesa ha subito una serie di restauri che nel 1623 hanno portato al rifacimento della facciata, del pavimento e delle sepolture; la sagrestia e l'ammodernamento dell'apparato decorativo interno sono avvenuti



tra il 1660 e il 1670, come testimoniato da una lapide in onore di padre Andrea Ascenziani.

Nel 1681 anche il campanile è oggetto di restauro con un adeguamento al gusto barocco e la trasformazione del pinnacolo di coronamento.

All'inizio del 1800 inizia la costruzione delle volte di copertura della chiesa, interrotta nel 1810 a causa della soppressione napoleonica e della successiva vendita del convento a Paolo Gorini; la copertura viene completata solo nel 1843, quando i Francescani vi ritornano. Nello stesso anno viene sostituito il pavimento e spostata la primitiva cantoria pensile dalla controfacciata al presbiterio, dove viene collocato anche l'organo, acquistato nel 1839 dalla Confraternita del Rosario.

Dopo la fondazione dello Stato italiano, la legge emanata il 7 luglio 1886 stabilisce la soppressione di tutti gli Ordini e le Corporazioni religiose, acquisendo di conseguenza beni e proprietà di loro appartenenza. Il complesso conventuale viene quindi adibito a scuola e uffici pubblici.

Nel 1886 la torre è interessata da un radicale restauro ad opera dell'ingegnere Carlo Pascucci che riporta il coronamento a pinnacolo della torre campanaria alla struttura originaria lombarda (Figura 3.2.6).

Tra il 1970 e il 1980 tutte le strutture orizzontali originarie, escluse quelle riguardanti il chiostro, sono state sostituite con solai in cemento armato.

Un'opera di restauro del 1990 ha interessato gli affreschi delle lunette del chiostro.

Nel settembre del 1997 la città è stata colpita da uno sciame sismico che ha interessato i territori di Umbria e Marche. Queste scosse causano numerosi danni alla chiesa: fessurazioni nella parete interna affrescata del braccio orientale del chiostro, ribaltamento della parete orientale in contiguità con la Chiesa di San Francesco con fenomeni di incoesione muraria, lesioni nelle volte a crociera del portico, lesioni in chiave d'arco e negli architravi delle aperture di alcuni ambienti al piano terra e al primo piano, lesioni nella parete nord del vano scala. Una volta avviati i lavori di restauro della chiesa sono riemersi, coperti negli anni dalla muratura, due importanti affreschi situati a sinistra del portale (Figura 3.2.7.).

Questi affreschi, posti fra l'ingresso e il secondo altare, sono databili intorno al 1482 e rappresentano due stili e soggetti differenti. Il primo raffigura un

soggetto originale: disegni di animali e rondini con in alto posto un nido con una rondine in rilievo, mentre al di sotto si trovano due angeli reggicortina. Il secondo mostra i Santi Luca Evangelista, Bonaventura, Bernardino e Girolamo in adorazione ai lati della Madonna con Bambino. Sullo sfondo di questo secondo affresco è rappresentato il trigramma bernardiniano che lascia supporre che l'opera sia stata commissionata dalla Confraternita francescana. I Santi rappresentati infatti appartengono al medesimo Ordine. La paternità dell'affresco non è nota, ma viene attribuita a Campilio da Spoleto.

Passando al XXI secolo, il mese di luglio del 2002 vede un cambio d'uso del chiostro con l'allestimento del Museo Antropogeografico al primo piano del fabbricato.

Ad oggi la Chiesa di San Francesco è in condizione di inagibilità, esattamente dal 24 agosto 2016, a causa della sequenza sismica denominata di Amatrice e Norcia che l'ha investita.

La chiesa ha riportato notevoli danni ai cornicioni e crolli parziali, ma i più ingenti riguardano l'abside, la facciata, il timpano sopra l'abside e il crollo di parte del pinnacolo della torre campanaria, simbolo della ferita ancora aperta.

Di seguito sono riportate alcune immagini riguardanti gli aspetti più significativi della chiesa.



*Figura 3.2.2. A sinistra: Facciata della Chiesa di San Francesco da Pia. A destra: particolare del portale.*





Figura 3.2.3. Particolare della volta a crociera e dell'affresco dell'Annunciazione situati nell'omonima Cappella, XV secolo (Fonte: [www.luoghidelsilenzio.it](http://www.luoghidelsilenzio.it)).



Figura 3.2.4. Altare ligneo situato nella cappella di San Sebastiano (Fonte: [www.luoghidelsilenzio.it](http://www.luoghidelsilenzio.it) )



Figura 3.2.5. Vista dell'abside con il Cristo Trionfante e suo particolare (Fonte: [www.luoghidelsilenzio.it](http://www.luoghidelsilenzio.it)).



Figura 3.2.6. Particolare del pinnacolo della torre campanaria ripristinato allo stile lombardo a fine 1800 (Fonte: [www.luoghidelsilenzio.it](http://www.luoghidelsilenzio.it)).



Figura 3.2.7. Affreschi scoperti dopo il sisma del 1997 (Fonte: [www.luoghidelsilenzio.it](http://www.luoghidelsilenzio.it)).

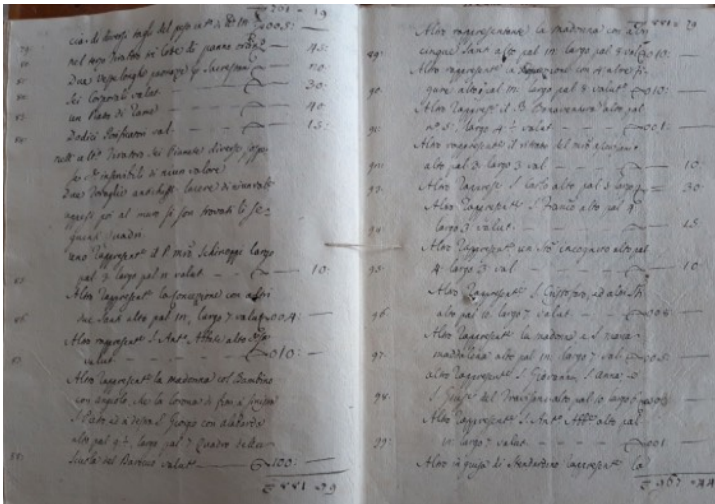


Figura 3.2.8. Stralcio della stima notarile dei beni mobili della chiesa di San Francesco del 1808: Affresco della Madonna con bambino e affresco della Madonna con cinque Santi.

### 3.3. Le caratteristiche strutturali delle chiese francescane nelle Marche e la tipologia edilizia

La Chiesa di San Francesco di Amandola è uno degli esempi di architettura che si possono incontrare lungo la via percorsa da San Francesco e possiede caratteristiche tali da rientrare nella tipologia Umbro-Marchigiana delle Chiese Francescane.

Questo ordine di religiosi, chiamati francescani o frati minori, fu istituito da Francesco d'Assisi nel 1209 e si stabilì progressivamente nelle città o nei pressi dei centri abitati apportando un notevole impatto architettonico. In un quadro più ampio del paesaggio, come afferma Lorenzo Bartolini Salibeni: “i Francescani costituirono in terra marchigiana circa trecento insediamenti. Dai grandi conventi urbani agli umili romitori isolati i luoghi della presenza francescana hanno segnato città e campagne, formando parte inscindibile della storia, della vita civile e della stessa immagine del territorio” (PACIOCCO-PELLEGRINI, 2001, p.124).

Questi edifici, che nel corso dei secoli hanno subito diversi restauri, sono di difficile lettura a livello architettonico poiché sono stati adeguati nel tempo alle correnti relative al momento storico. Per citare alcuni nomi di architetti che si sono occupati dell'ammodernamento, vediamo nel periodo Barocco e Neoclassico, ad esempio, Filippo Barigioni, Andrea Vici e Francesco M. Ciaraffoni, mentre nel XIX secolo Giuseppe Sacconi e Cesare Bazzani.

Le chiese francescane dovevano assolvere non solo il compito di luogo di pratica del culto; San Francesco di Amandola assolve ad esempio anche funzioni civili e simbolico-istituzionali come luogo di elezioni dei Priori e luogo di offerta, secondo un ordine gerarchico sociale che andava dai “judices” fino agli artigiani “sartores et pigulocti” (GESUÈ, 2000).

Gli adeguamenti relativi alle modificazioni delle funzioni, in aggiunta agli eventi bellici e i terremoti, hanno complicato il riconoscimento di uno stile chiaro e leggibile dove l'unica caratteristica evidente è quella di una costante ricerca formale.

La struttura originale della primitiva chiesa, a navata unica con capriata a vista, rientrava ad esempio nella cosiddetta tipologia della “chiesa fienile”. I requisiti specifici della chiesa-fienile trovano fondamento nella capienza e nella semplicità costruttiva sia per facilitare la partecipazione popolare sia perché un impianto basilicale sarebbe risultato estremamente più oneroso.

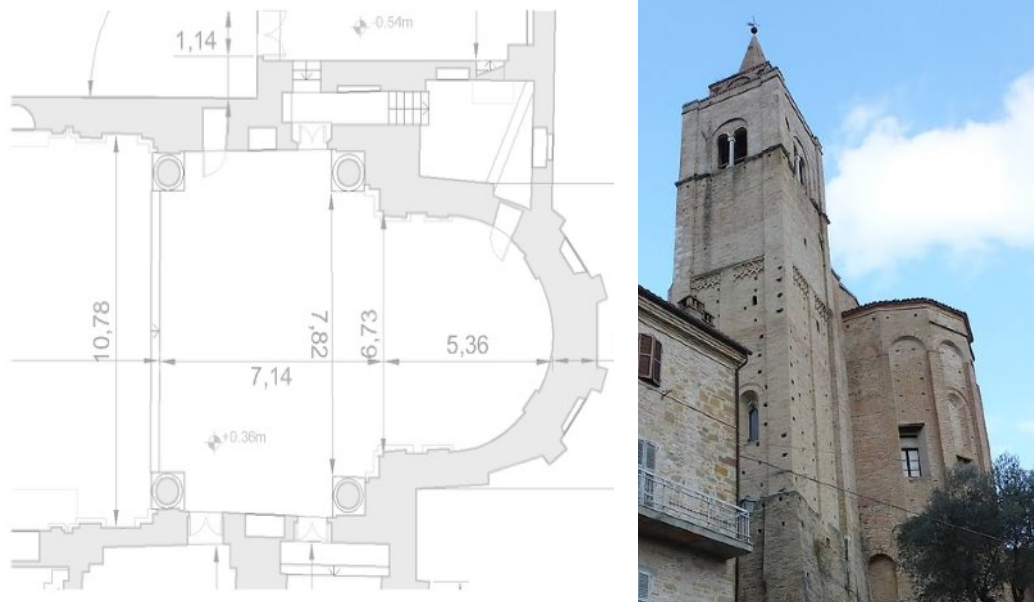


Figura 3.3.2. A sinistra: particolare dell'abside poligonale del rilievo laser scanner di San Francesco. A destra: immagine del lato Sud della chiesa con particolare dell'abside poligonale (Fonte: <http://www.luoghidelsilenzio.it>).

L'Ordine francescano è un ordine mendicante che solo dal 1228, sotto Gregorio IX, ha ottenuto il permesso, seppur utilizzando altari portatili, di costruire nelle sue sedi cappelle e oratori. Risale a questo periodo la prima documentazione per l'attività edilizia legata ai Frati in questione e il passaggio dunque da strutture provvisorie a costruzioni in espansione. A testimonianza di ciò esistono numerose bolle per indulgenze in favore della fabbrica di chiese e conventi firmati da Innocenzo IV (1243-1254) e Alessandro IV (1254-1261).

La disciplina edilizia legata a questi edifici è ufficialmente definita nel capitolo generale di Narbona del 1260 che contiene la struttura amministrativa delle province francescane. Riguardo all'aspetto amministrativo si trovano diverse testimonianze; relativamente all'aspetto architettonico invece non esistono molti documenti. L'unica fonte di archivio emergente è il manoscritto "De Genealogia seraphica Provinciae Marchiae" di padre Ilario Altobelli, in cui viene descritta l'organizzazione in pianta delle chiese con disegni schematici prima dei restauri baroccheggianti (Figura 3.3.1.).

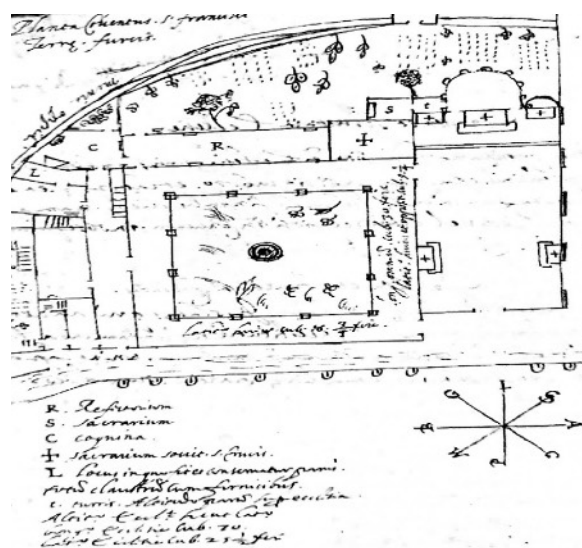


Figura 3.3.1. Disegno della pianta del convento di Forze (AP) ad opera di padre Altobelli (Fonte: PACIOCCO-PELLEGRINI, 2001, p.127).

Dai disegni di padre Altobelli e dall'esame visivo diretto è possibile definire alcune caratteristiche tipologiche di progettazione, come l'orientamento tipico, la riduzione dell'aula a un'unica navata, la presenza di eventuali cappelle laterali con coro quadrato e presbiterio leggermente sopraelevato.

La copertura, data la mancanza di informazioni originarie, è individuabile in una struttura a capriata con un eventuale controsoffitto in legno.

Per quanto riguarda l'abside è di forma semicircolare e segue i dettami dell'architettura paleocristiana e romanica. Spesso si riscontra un'abside poligonale, com'è direttamente visibile nella chiesa-fienile di San Francesco e anche nelle piante di Altobelli, con la presenza di contrafforti esterni e costoloni interni (Figura 3.3.2).

In generale, le chiese-fienile marchigiane che subiscono interventi edilizi fra la metà del 1200 e quella del 1300 seguono tutte gli stessi dettami, riassumibili



nelle seguenti caratteristiche: semplice pianta rettangolare senza suddivisione in navate che lascia percepire la sua regolare volumetria; copertura a tetto; copertura a falde inclinate con capriata; cora con sistema di volte arricchito con vetrate e affreschi. Solamente il coro e i portali presentano una ricercatezza nella decorazione che contrasta con l'austerità dell'aula.

Il coro poligonale è una presenza costante e tipica della zona umbro-laziale: caratterizzato da una copertura voltata, è arricchito da finestre e nervature. La geometria del coro risulta ben definita ed è leggibile in tre tipologie di varianti: la geometria formata dai 5/8 dei lati di un ottagono con le pareti laterali parallele ai lati della chiesa per consentire successivi ampliamenti, quella formata dai 6/10 con una nervatura in asse e infine esistono anche degli esempi con 7/12 dei lati.

La geometria dell'abside poligonale è leggibile anche nella sua volumetria esterna, scandita da lesene angolari unite da archi che a volte risultano come contrafforti, sia per lo spessore che per forma.

Un elemento di decorazione che mostra una certa ricerca stilistica è il portale, il cui schema ricorrente è rappresentato da un arco a tutto sesto strombato e archivoltato con la presenza di risalti e colonnette. Per realizzare questo elemento artistico molto ricercato, che appare in netto contrasto con la semplicità della facciata a capanna, all'epoca era necessario l'intervento di maestri d'arte. Il portale di San Francesco, in linea con le altre chiese francescane, è stato realizzato in stile lombardo dal maestro Antonio da Milano intorno al 1429 (Figura 3.3.3).



*Figura 3.3.3. Facciata e particolare del portale di San Francesco di Amandola (Fonte: [www.luoghidelsilenzio.it](http://www.luoghidelsilenzio.it)).*

Per quanto riguarda gli edifici conventuali è possibile codificare uno stile più identificativo seguito dai Francescani consistente in “quattro corpi di fabbrica

attorno a un chiostro centrale” con una lunghezza totale intorno i 15-20 m, corrispondenti al lato maggiore della chiesa (BARTOLINI\_SALIMBENI, 1995).

Il complesso conventuale caratterizzato dal chiostro porticato è organizzato in maniera sistemica: la chiesa posta accanto al chiostro, ma non nella posizione a Nord; nel lato in opposizione alla chiesa si trova la cucina con i suoi locali funzionali; nel lato normale alla chiesa è collocato il refettorio; nell’ultimo lato si trovano i locali di servizio e i dormitori, in genere posti al primo piano; al centro del chiostro si trova il pozzo per l’approvvigionamento dell’acqua e appena fuori il convento è posto l’orto per i bisogni della comunità.



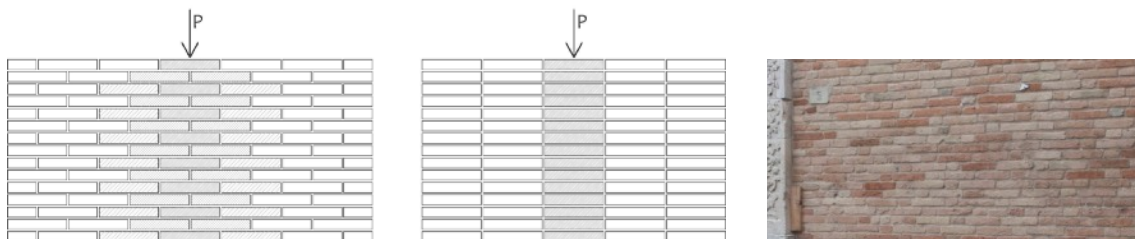
*Figura 3.3.4. Chiostro porticato del Complesso di San Francesco.*

Nelle Costituzioni del 1529 vengono stilate le indicazioni in merito alla collocazione degli edifici rispetto alla città. La distanza, ad esempio, non deve superare il miglio; per questo motivo, molti edifici risultano all’interno della mura cittadine, ad esclusione di quello Amandola che è l’unico a risultare congiunto alle mura.

La Chiesa di San Francesco di Amandola, come la maggior parte degli edifici storici delle città del Centro Italia, è costituito da una struttura in muratura. La tecnica costruttiva di questa chiesa vede il posizionamento di mattoni legati da una malta. Questa tecnica muraria va a costituire un importante volume che la rende una struttura resistente per massa. In altre parole: “la sollecitazione a compressione è collegata alla pietra come materiale resistente ed alla linea retta verticale come canale statico, ossia a sostegno di pietre impilate o, in

termini più evoluti, alla colonna, al pilastro, al muro” (PIZZETTI-ZORGNO TRISCIUOGLIO, 1980, p. 507).

La grande facciata termina con un importante timpano ed è costituita da una forte verticalità. Di fatto questa conformazione la rende particolarmente vulnerabile alle sollecitazioni sismiche poiché la tecnica della muratura lavora sull'equilibrio dei corpi rigidi e sulla diligenza del lavoro svolto che viene definito il “principio della regola dell'arte”.



*Figura 3.3.5.. A sinistra: distribuzione del carico lungo la muratura con diatoni a filari orizzontali e giunti verticali sfalsati (Vallucci, Quagliarini, & Lenci, 2013). A destra: particolare della muratura di San Francesco.*

Le tecniche conosciute al tempo in cui risale l'edificio in questione (primi decenni del 1200) non consentivano una progettazione strutturale come viene comunemente intesa oggi, ma prevedevano l'uso del metodo empirico della regola dell'arte. Per quanto riguarda gli edifici in muratura, questa deve garantire conformità e sicurezza prevedendo:

- la presenza di diatoni per il buon ammorsamento tra le pareti;
- l'uso di blocchi il più possibile di forma regolare e di dimensioni e caratteristiche meccaniche, in modo tale da consentire una buona distribuzione dei carichi;
- l'impiego di malta di buona qualità;
- i giunti verticali sfalsati e i filari orizzontali per ottenere un appoggio solido tra gli elementi e una distribuzione omogenea delle azioni verticali.

A livello di valutazione sismica gli edifici storici sono carenti di informazioni e prove scientifiche, ma hanno la storia a testimonianza della loro resistenza strutturale, intesa come dato di fatto dell'opposizione a tutte le azioni a cui un edificio in muratura è stato sottoposto nei secoli.

Questo dato di fatto costituisce sicuramente una testimonianza importante ma non sufficiente alla valutazione sismica poiché non è possibile determinare un

accumulo del danno e un limite massimo di resistenza come previsto dalle adottate per la sicurezza dello Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV). Per comprendere il comportamento d'insieme di un edificio in muratura bisogna ragionare in termini di concezione strutturale a sistema scatolare.

Il comportamento della struttura a scatola può definirsi come la resistenza della muratura alle forze agenti nel suo piano, in quanto sotto azioni che esercitano la forza fuori di esso il muro perde di resistenza e rigidità (Figura 3.3.6).

La resistenza delle azioni verticali e orizzontali di un edificio in muratura si può completamente annullare sotto le azioni di un terremoto, portando l'edificio da una destabilizzazione lieve fino al completo collasso.

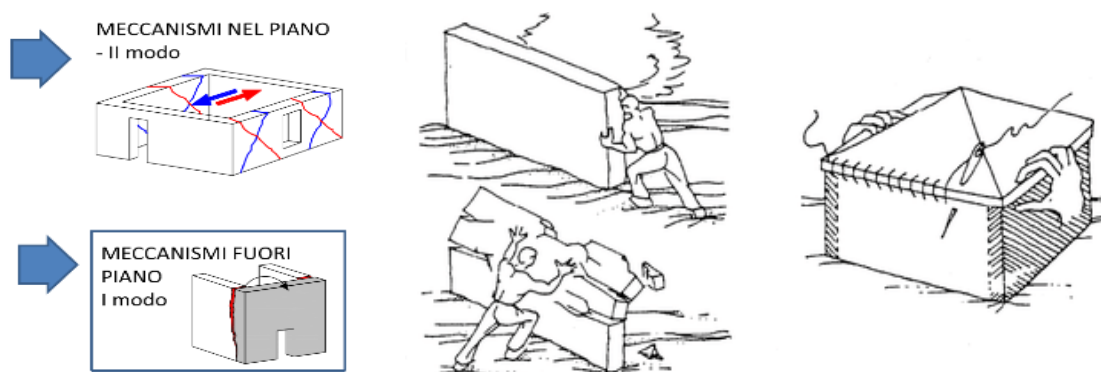


Figura 3.3.6. Immagine esplicativa del comportamento scatolare. In alto, il setto resistente e rigido nel piano; sotto, il setto che crolla sotto forze agenti fuori del piano (Fonte: Marini A., *Il comportamento delle strutture in muratura sotto il sisma – Meccanismi di danno*, 2015, pp. 5-9; immagine di Touliatos, 1996).

Per comprenderne il comportamento meccanico, questi edifici vengono percepiti nella loro volumetria, ma i problemi sono generati dalle singole parti che costituiscono la “scatola”, poiché la muratura ha un comportamento simile al materiale composito con vulnerabilità a trazione, causato dal giunto di malta.

Per poter analizzare correttamente le diverse parti che costituiscono la muratura è stata stilata una classificazione secondo la funzione, la posizione e la modalità di realizzazione. Per quanto riguarda la funzione della muratura si ha un'organizzazione di questo tipo:

- muri portanti, con resistenza ai carichi verticali;
- muri di controvento, con resistenza ai carichi orizzontali;
- muri di tamponamento, con funzione di separazione degli ambienti fra interno e esterno della costruzione;
- muri divisorii, con funzione di distribuzione spaziale interna.



Valutando la posizione della muratura si ha una differenziazione in muri di fondazione e muri di elevazione. Riferendosi alla modalità esecutiva della singola opera si hanno muri a secco e muri a getto.

L'esecuzione per i muri a getto prevede una gettata di conglomerati in casseforme, mentre per quelli a secco la realizzazione prevede l'assemblaggio senza l'utilizzo di malta. Sotto quest'ultima categoria rientra la muratura a sacco con pareti di spessore notevole costituite da due paramenti, uno interno e uno esterno di miglior qualità. Nella muratura a sacco, la qualità del conglomerato interno, che può essere sabbia e inerti oppure malta e inerti, è di fondamentale importanza ai fini della resistenza meccanica.

Per questo tipo di edifici è molto complesso riuscire a capire l'effettivo comportamento meccanico. Quello che si può realizzare è un'indagine approfondita delle sue parti come elementi indipendenti ma ben montati, al fine di ottenere un'analisi strutturale realistica.



## Capitolo 4

### GLI STRUMENTI OPERATIVI DEL POST SISMA

---

#### 4.1. Rischio sismico in Italia e sismicità di Amandola: inquadramento geologico del territorio del caso di studio

La sismicità del territorio italiano è strettamente correlata alla sua collocazione geografica, trovandosi nella zona di convergenza tra la zolla africana e quella eurasiatica. Questo particolare sito sottopone la Penisola a forti spinte compressive, rendendola uno dei Paesi del Bacino del Mediterraneo a maggiore rischio sismico sia per frequenza dei sismi sia per intensità.

Nel XX secolo si sono registrati 7 terremoti con esiti classificabili tra il grado X e XI della scala Mercalli, corrispondenti a scosse definite distruttive e catastrofiche.

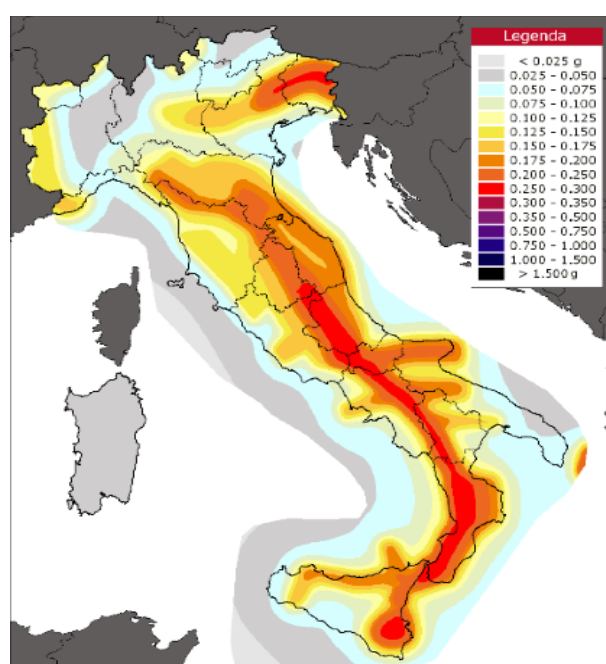


Figura 4.1.1. Mappa di pericolosità sismica, espressa in accelerazione massima dal suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Fonte: INGV).

La sismicità maggiore si riscontra lungo la parte montuosa degli Appennini, in particolare nella zona centro-meridionale (Val di Magra, Mugello, Val Tiberina, Val Nerina, Aquilano, Fucino, Valle del Liri, Beneventano, Irpinia); a Sud

interessa la Calabria e la Sicilia; a Nord riguarda solo alcune aree tra le quali il Friuli, parte del Veneto e la Liguria (Fonte: INGV).

Negli ultimi quaranta anni i danni causati da eventi catastrofici relativi ai soli terremoti ammontano a circa 135 miliardi di euro, utilizzati per il recupero e la ricostruzione; a questa cifra, inoltre, va sommata la perdita in valore economico riguardante il patrimonio storico, artistico e monumentale. La densità abitativa e la fragilità del patrimonio edilizio creano un rapporto danni prodotti/energia rilasciata, nel corso dei terremoti, molto superiore a quello che si registra in altri Paesi con elevata sismicità, come ad esempio lo Stato della California negli Stati Uniti d'America e il Giappone.

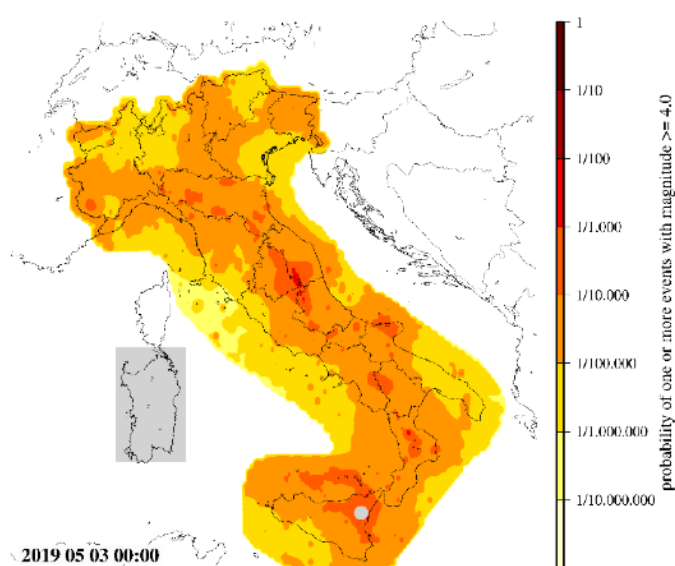


Figura 4.1.2. Mappa di stima della pericolosità sismica con probabilità settimanale di evento di magnitudo  $>4$  (Fonte: INGV).

Per queste circostanze l'Italia si colloca ad un livello medio-alto di pericolosità sismica. Ciò significa che si può attendere, in un dato intervallo di tempo, una combinazione di pericolosità, vulnerabilità, esposizione e misura dei danni in base al tipo di sismicità, di resistenza dell'edificato e di antropizzazione.

La vulnerabilità va letta nel più ampio sguardo comprendendo diversi aspetti riguardanti la fragilità delle costruzioni, l'insufficienza del sistema infrastrutturale, dei servizi, industriale e produttivo, la densità abitativa e, infine, la presenza di un patrimonio storico, artistico e monumentale di valore inestimabile.

Di seguito sono riportati alcuni dati relativi al sisma del 24 agosto 2016, riguardanti il numero dei comuni colpiti e la tipologia dei centri abitati (Fonte: Dossier della Commissione Nazionale paritetica delle Casse Edili).

AREA	NUM. COMUNI	AREE	CENTRI URBANI	NUCLEI ABITATIVI E CASE SPARSE
ABRUZZO	23	ABRUZZO	74%	26%
AQUILA	6	LAZIO	64%	36%
PESCARA	1	MARCHE	62%	38%
TERAMO	16	UMBRIA	72%	28%
LAZIO	15	AREA SISMA	66%	34%
RIETI	15	ITALIA	82%	18%
UMBRIA	19			
PERUGIA	15			
TERNI	4			
MARCHE	87			
MACERATA	46			
ASCOLI PICENO	23			
FERMO	16			
ANCONA	2			

Il verificarsi di un evento sismico di una certa magnitudo pone, dunque, l'Italia di fronte ad un elevato rischio sismico legato principalmente alle conseguenze in termini di vittime, danni al costruito, costi da affrontare post sisma. Entrando nello specifico del sito oggetto di studio, la sismicità storica di Amandola è legata dunque a quella del Centro Italia, in particolare di Abruzzo, Lazio, Marche e Umbria.

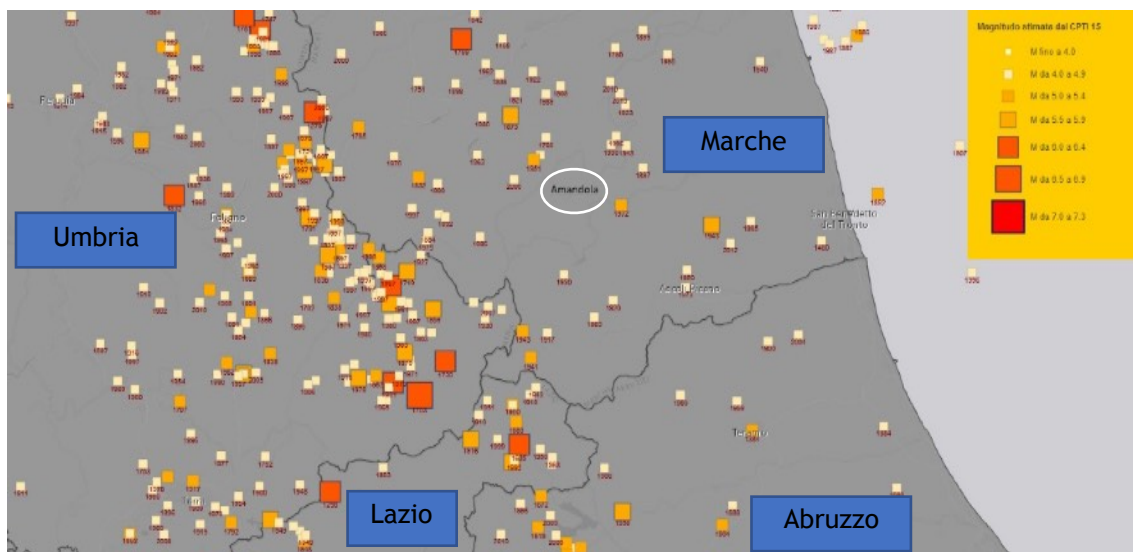


Figura 4.1.3. I Terremoti del Centro Italia dall'anno 1000 al 2014 e localizzazione del Comune di Amandola (Fonte: INGV).

Oggigiorno la conoscenza degli eventi sismici pregressi permette la valutazione della pericolosità sismica grazie a nuovi criteri di classificazione dei terremoti. Tale valutazione si basa sull'analisi della probabilità che un sito possa essere interessato, in un certo intervallo di tempo, da un evento che superi una determinata soglia di magnitudo o intensità. Questo criterio di classificazione sismica è stato emanato dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003 (successivamente aggiornata con Delibera della Giunta Regionale delle Marche n. 1046 del 29 luglio 2003). Gli aggiornamenti della mappa della

pericolosità sismica sono definiti dall'Ordinanza del PCM n. 3519 del 28 aprile 2006, individuando nell'intero territorio italiano quattro zone sismiche basate sul valore dell'accelerazione orizzontale massima su suolo rigido o pianeggiante ( $a_g$ ), con probabilità del 10% di essere superata in 50 anni (Figura 4.1.4.).

Il territorio compreso nel Comune di Amandola è stato classificato in Zona Sismica 2: zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti con un valore corrispondente di accelerazione orizzontale che oscilla fra  $0.15 \leq a_g \leq 0.25$  g.

<b>Zona sismica</b>	<b>Descrizione zona pericolosità sismica</b>	<b>Accelerazione con probabilità di superamento [<math>a_g</math>]</b>	<b>Accelerazione orizzontale massima convenzionale [<math>a_g</math>]</b>
1	ALTA: possibilità di sismi molto forti	$a_g > 0,25$ g	0,35 g
2	MEDIA: possibilità di sismi forti	$0,15 < a_g \leq 0,25$ g	0,25 g
3	BASSA: possibilità di rari sismi forti	$0,05 < a_g \leq 0,15$ g	0,15 g
4	Sismi rari: facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	$a_g \leq 0,05$ g	0,05 g

Figura 4.1.4. Classificazione sismica OPCM n.3519/2006 (Fonte: G.U.).

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha istituito un database dei Comuni italiani che fornisce dati parametrici omogenei, macrosismici e strumentali, con diversi livelli di intensità in un arco di tempo che va dall'anno 1000 al 2014 (Fonte: <https://emidius.mi.ingv.it>). Grazie al database è stato possibile ricostruire la storia sismica del Comune di Amandola dal 1700 al 2006. (vedi Appendice A1. Elenco dei terremoti storici che hanno interessato il Comune di Amandola).

Vista la collocazione in Zona 2 di medio pericolo sismico, il Comune di Amandola, d'intesa con la Regione Marche e il Centro Studi di Microzonazione Sismica (Centro MS), ha commissionato lo studio di Microzonazione Sismica di III livello. Tale studio, concluso nel marzo del 2018 dopo 19 mesi dall'evento sismico di Amatrice e Visso, ha raccolto e elaborato i dati esistenti di natura geologica, geomorfologica, idrogeologica, geotecnica e sismica, al fine di realizzare indagini ex novo di tipo geologico, geotecnico e sismico, con l'obiettivo di elaborare una risposta sismica locale delle microzone omogenee in prospettiva sismica delle principali aree urbanizzate del territorio comunale e di quelle di futura espansione.

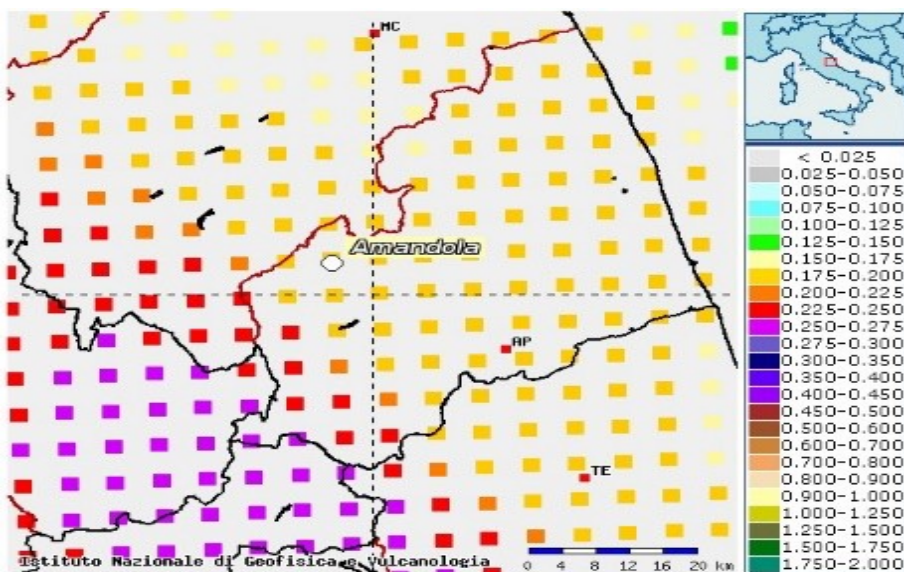


Figura 4.1.5. Estratto della classificazione sismica al 2015, Dipartimento della Protezione Civile "Mappa interattiva di pericolosità sismica" (Fonte: <http://esse1-gis.mi.ingv.it>).

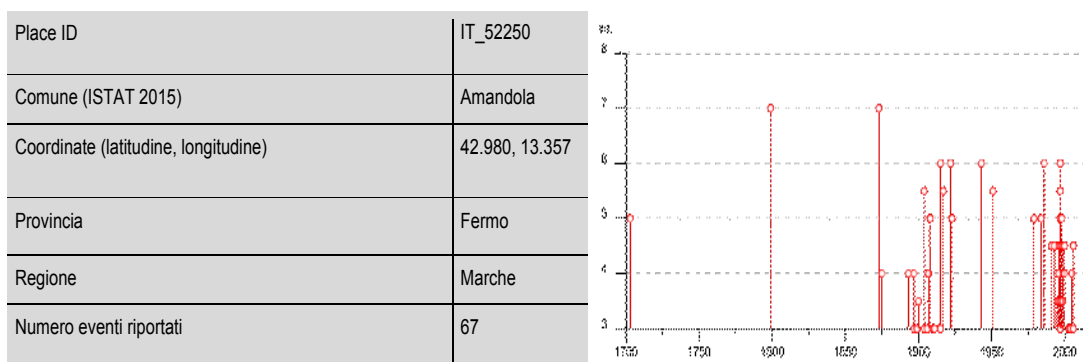


Figura 4.1.6. Localizzazione GPS di Amandola e relativo diagramma esplicativo fra rapporto dell'intensità del sisma e l'incidenza nella storia dal 1700 al 2006 (Fonte: INGV).

I dati raccolti, secondo quanto previsto dagli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.0 e dagli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS), elaborati dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento Nazionale di Protezione Civile nel settembre 2008, sono stati riportati in quattro distinti elaborati cartografici propedeutici (Fonte: <http://www.comune.amandola.fm.it/>).

1. La Carta delle Indagini ha lo scopo di fornire informazioni sulle indagini geognostiche e geofisiche effettuate all'interno del territorio comunale.
2. La Carta Geologico-Tecnica (scala 1:2000) restituisce informazioni finalizzate alla classificazione dei litotipi presenti in classi predefinite, definendone le varie situazioni stratigrafiche potenzialmente suscettibili di

amplificazione locale o di instabilità.

La Carta delle Indagini insieme a quella Geologico Tecnica, su base della cartografia del PRG, vanno a costituire un modello del sottosuolo sintetizzato in un unico strumento rappresentato dalla Carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica di livello 1.

3. La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) individua aree omogenee in base alle caratteristiche geologiche, stratigrafiche, geomorfologiche e geomeccaniche in base alle quali si può ipotizzare un analogo comportamento a fenomeni di amplificazione locale indotta dal sisma (amplificazione del moto, induzione e riattivazione di frane e altri dissesti, liquefazione dei terreni, cedimenti differenziali).
4. La Carta di Microzonazione Sismica è la sintesi delle indagini di microzonazione sismica di livello 3, ottenuta da analisi di Risposta Sismica Locale (RSL) eseguita per ogni tipologia zona relativa alle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS).

La Carta di Microzonazione Sismica è dunque il risultato finale delle indagini di Microzonazione Sismica di Livello 3 congiunte alle analisi di Risposta Sismica Locale (RSL), il tutto eseguito per ogni microzona omogenea in prospettiva sismica (MOPS). L'obiettivo è di suddividere il territorio in aree omogenee in risposta a fenomeni di amplificazione locale causati da sismi, come amplificazione del moto, induzione e riattivazione di frane, liquefazione dei terreni e cedimenti differenziali.

Per ottenere i dati utili all'indagine sia a livello sismico sia a livello stratigrafico sono state effettuate, su ogni area individuata, 2 tipologie di analisi:

- la prima riguarda la risposta elastico-lineare (Acceleration Transfer Function) utilizzata per calibrare il modello tra la curva di amplificazione ottenuta dall'analisi e la curva H/V in funzione della Frequenza derivante da indagini puntuali di tipo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratios o Analisi dei Rapporti Spettrali);
- la seconda si incentra sulla modalità lineare equivalente per la valutazione della risposta sismica locale e per fornisce gli spettri e gli accelerogrammi in superficie.





Figura 4.1.7. Stralcio della Carta della Microzonazione Sismica FAO105s del centro urbano del Comune di Amandola e localizzazione della Chiesa e del Complesso di San Francesco.

Le informazioni sulla Carta di Microzonazione Sismica sono suddivise in:

- *zone stabili* - nelle quali non si prevedono effetti locali significativi, poiché caratterizzate da substrato geologico rigido ( $V_s \geq 800$  m/s) in affioramento e morfologie pianeggianti o con inclinazioni  $< 15^\circ$ ;
- *zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattori di amplificazione da simulazioni numeriche* - nelle quali si prevedono amplificazioni del moto sismico legato al particolare assetto litostratigrafico e morfologico;
- *zone suscettibili di instabilità* - nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio.

Tra queste ultime, in particolare, si riconoscono:

- *zone suscettibili di instabilità di versante* (sia attiva che passiva);
- *zone suscettibili di instabilità per liquefazione* (di tipo 1);
- *zone di attenzione per faglie attive e capaci*;
- *zone suscettibili di instabilità per cedimenti differenziali*;
- *zone di attenzione per sovrapposizione di instabilità differenti*.

## Legenda


### Zone di attenzione per instabilità


 ZA fr - Zona di attenzione per instabilità di versante


### Microzonazione sismica di livello 3

#### Zone stabili e stabili suscettibili di amplificazioni locali


 Zona stabile (FA = 1)


 Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (FA = 1.1 - 1.2)


 Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (FA = 1.3 - 1.4)


 Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (FA = 1.5 - 1.6)


 Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (FA = 1.7 - 1.8)


 Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (FA = 1.9 - 2.0)

 Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (FA = 2.1 - 2.2)

 Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (FA = 2.3 - 2.4)

 Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (FA = 2.5 - 3.0)

 Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (FA = 3.1 - 3.5)

 Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (FA > 3.5)


 FA da specificare o rivedere

Figura 4.1.8. Legenda della Carta della Microzonazione Sismica (Fonte: Comune di Amandola).

Queste analisi hanno riscontrato la presenza di un substrato rigido (pari a  $V_s \geq 800$  m/s) per cui è stato necessario cartografare sia le "zone stabili suscettibili di amplificazioni locali" sia le "zone di attenzione per instabilità".

Le analisi dell'area del centro storico di Amandola, sottoposta all'elaborazione dei dati del sondaggio P209, su cui è stato eseguito il Down-Hole per le zone suscettibili di instabilità della Carta di Microzonazione Sismica, hanno portato all'identificazione di due aree, una di spessore di 15 m e una di 32 m, le quali mostrano dati significativi di variazione FA del valore del fattore di amplificazione.

Situato nell'entroterra marchigiano, il Comune di Amandola presenta dal punto di vista geologico-territoriale le formazioni tipiche della Successione Umbro-Marchigiana (vedi Appendice A2. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) realizzata dal comune di Amandola).

Le caratteristiche geomorfologiche del territorio vedono una combinazione di diversi fattori, come quelli geologico-strutturali, tettonici, antropici, i quali hanno interagito fra loro creando il paesaggio attuale.

La tettonica combinata all'erosione lineare esercitata dalle acque correnti superficiali ha determinato l'instaurarsi di numerosi impluvi e valli fluviali.

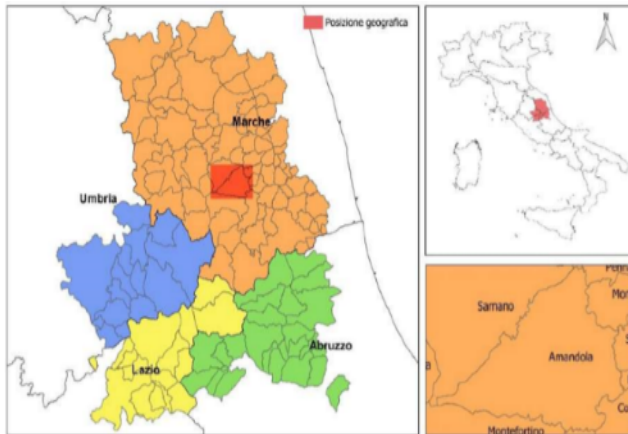


Figura 4.1.9. Localizzazione del comune di Amandola nel territorio italiano.

In questo senso si possono distinguere tre principali aree a diversa morfologia: di fondovalle, collinari, montane.

- Le *aree di fondovalle* sono aree alluvionali con morfologia pianeggiante e sub-pianeggiante in cui sono visibili scarpate fluviali e i cui corsi d'acqua rappresentano i principali agenti morfodinamici in atto. Queste aree non presentano un'energia di rilievo e sono raramente interessate da importanti fenomeni dovuti alla gravità. Il sistema idrografico principale è costituito dal Fiume Tenna, che scorre in direzione Est, e dai suoi due affluenti, il Torrente Vetremastro e il Torrente Lera. Il sistema idrografico minore è costituito da numerosi fossi, fra i quali il più importante è il Fosso Callugo che si sviluppa a Nord del centro abitato di Amandola.
- Le *aree collinari* costituiscono gran parte del territorio, dove sono visibili scarpate strutturali, depositi di accumulo o di frana, solchi di erosione concentrata causati da diversi fattori come la gravità e l'erosione selettiva e lo scorrimento delle acque. L'area collinare, sviluppata verso Est, presenta formazioni arenacee e pelitiche in affioramento nel centro abitato e nelle frazioni del Comune. Questo territorio, che si colloca all'interno del bacino sedimentario della Laga, in uno spettro più ampio ricade nel più esteso e complesso Bacino Marchigiano Esterno. Tale bacino, databile nel Messiniano, presenta una sedimentazione di tipo torbidico nota come Formazione della Laga ed è suddivisa in tre membri: preevaporitico, evaporitico e postevaporitico.
- Le *aree montane* costituiscono una piccola parte del territorio e sono situate a Ovest, nella zona della Catena dei Monti Sibillini; l'area presenta una morfologia con salti di quota dell'ordine di decine di metri, scarpate

poligeniche con altezze maggiori di 10 m e versanti dotati di elevata energia di rilievo. Caratterizzata da una stratigrafia spesso diverse migliaia di metri, databili tra le età del Trias Superiore e il Pleistocene inferiore (vedi Appendice A3. Ere geologiche e analisi geologica stratigrafica di Amandola), la zona montana è costituita dai depositi più antichi relativi a formazioni calcaree e calcareo-marnose. L'area montana ha litotipi più competenti, come quelli calcarei e calcareo-marnosi, mentre le morfologie collinari hanno i litotipi più sensibili all'azione esercitata dagli agenti esogeni. L'aspetto morfostrutturale del territorio vede in direzione Nord-Ovest Sud-Est rilievi allineati con quote medie intorno ai 500 m s.l.m. solcati da fiumi, torrenti e numerosi fossi.

I fenomeni gravitativi che si riscontrano di frequente nel territorio sono classificati nella cartografia del Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) e sono in prevalenza evidenti nella frazione di Garulla, il cui centro abitato è interessato da fenomeni come frane di tipo colate o scorrimenti rotazionali. Fenomeni gravitativi di tipo plastico invece si trovano ad Est ed interessano i versanti idrografici della Valle del Fiume Tenna.

Le coperture di questi terreni appartengono al Quaternario principalmente con depositi eluvio-colluviali, a periodi più recenti con i depositi alluvionali antichi del Pleistocene e con depositi alluvionali recenti dell'Olocene. L'unità della copertura e del substrato geologico, classificati secondo il Progetto CAR.G. Marche (CARTografia Geologica), mostrano dei caratteri litologici ben definiti con la presenza di depositi di origine continentale in tutto il territorio dovuti a processi alluvionali antichi di disgregazione e risedimentazione del Fiume Tenna e dei Torrenti Lera e Vetremastro (vedi Appendice A3. Ere geologiche e analisi geologica stratigrafica di Amandola).

Il sottosuolo presenta depositi alluvionali terrazzati, formati in maggior parte da ghiaie con una variazione di spessore tra 3 e 32 m, situati in Località Pian di Contro e anche nel centro urbano di Amandola in contatto erosivo sul locale substrato geologico di natura LPS e ALS. Il substrato geologico presenta alcune aree con cavità sepolte nella zona del centro storico, in particolare sotto al Convento dei Frati Zoccolanti (Piazzale Frattini) e al Convento dei Frati Cappuccini (Via Cappuccini). Queste aree, articolate secondo una fitta rete di cunicoli scavati nei depositi alluvionali ghiaiosi e nel substrato geologico, sono difficilmente individuabili con un'esatta distribuzione plano-altimetrica.

Analizzando il terreno da un punto di vista strutturale, il substrato è caratterizzato da una disposizione monoclinale con pendenza verso Est e inclinazione degli strati sui 70°/80°, fino ad arrivare in alcuni punti alla totale verticalità. In alcuni luoghi sono stati rinvenuti elementi strutturali minori che rivelano differenti orientazione e giacitura. Il territorio non risulta interessato da importanti discontinuità tettoniche e faglie, ma non si esclude la presenza di fratture e deboli faglie in corrispondenza delle valli e delle dorsali. A Nord-Est del centro abitato è stato rilevato un elemento tettonico inattivo a cinematismo non definito; infine a Est della Località Rustici è situata una faglia inversa inattiva a basso angolo di azione.

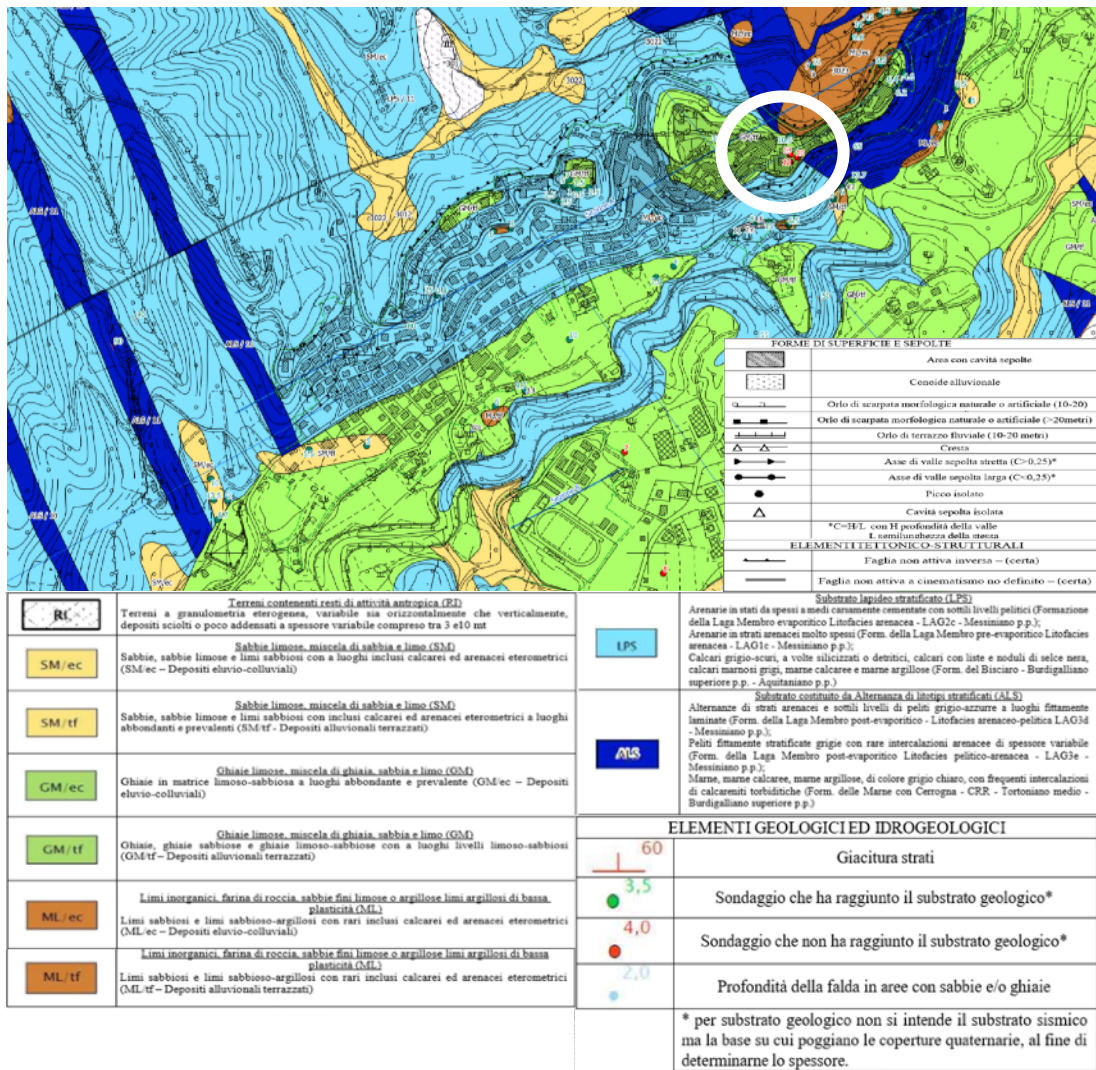


Figura 4.1.10. Sopra: Stralcio della Carta Geologico Tecnica con localizzazione del complesso di San Francesco e legenda delle forme di superficie sepolte ed elementi tettonico-strutturali. Sotto: Legenda Unità di Copertura, Unità Substrato Geologico ed Elementi Geologici ed Idrogeologici (Fonte: Carta Geologico Tecnica).



Dopo un'analisi dei fenomeni sismologici avvenuti nella storia dell'Italia Centrale e in particolare del comune di Amandola, è necessario preventivare la possibilità che un evento sismico importante possa riaccadere. Inoltre, c'è da sostenere che approfondite indagini geologiche possono arricchire la conoscenza per eventuali interventi, se pur importanti, a sostegno del costruito.

La nota dolente è a livello legislativo: seppur implementando le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) del D.M. 14/01/2008 con l'aggiornamento del D.M. 17/01/2018 che regola la verifica della sicurezza delle costruzioni e prescrivendo la redazione di una valutazione del danno, la normativa risulta poco chiara riguardo al modus operandi sulla valutazione del patrimonio storico.

Le procedure post sisma riguardanti l'analisi dei beni architettonici vulnerabili potrebbero essere demandate, per quanto concerne al rilevamento, alla tecnologia oggi a disposizione, come il TLS, con un alleggerimento del carico di alcuni processi (ANCONA-CLINI-DELLACASA-FALZONE-LACAMERA-QUATTRINI-SOMARIVA-STEPHENS, 2015), come:

- la gestione delle emergenze in rapidità e sicurezza degli operatori, unita a una raccolta di dati completa, precisa e accurata;
- l'organizzazione e la condivisione dei dati, ad esempio in situazioni di emergenza con tutti gli enti coinvolti, con chi si occupa dei rilievi del danno e monitoraggio e con chi, in seguito, si occuperà degli interventi di messa in sicurezza e recupero;
- la gestione in rapidità, economia, efficienza in aggiunta alla possibilità di utilizzo interdisciplinare dei dati senza il supporto cartaceo.

Questa tecnologia, incentrando la sua sostenibilità sulla scansione dell'edificio in una visione molto più ampia che racchiude le possibilità elencate sopra, emerge come una risorsa per abbreviare i processi di indagine e rilievo post sisma.

#### **4.2. Analisi diacronica degli scenari del rilievo della chiesa di San Francesco dal 24 agosto 2016**

Lo sciame sismico, a partire dall'agosto 2016, ha completamente modificato l'aspetto dell'Italia Centrale che, come descritto nel paragrafo precedente, è un territorio soggetto a eventi catastrofici.

Dopo il sisma principale, la Chiesa di San Francesco è stata oggetto di sopralluogo da parte del centro operativo comunale, dichiarandola da subito inagibile con Ordinanza Sindacale n. 65 del 29/08/2016. Le procedure e le relative tempistiche dal primo rilievo a oggi, saranno analizzate di seguito.

Il primo rilievo, effettuato dai tecnici del MIBACT a una settimana di distanza dall'evento principale, vede la redazione della Scheda A-DC di primo livello con le informazioni generali sullo stato di agibilità dell'edificio e sugli interventi prioritari volti alla salvaguardia delle persone e alla tutela del bene immobile. Questo rilievo è un'analisi visiva con dettagli dimensionali stimati, poiché può effettuarsi anche solo dall'esterno per tutelare la sicurezza degli operatori dall'instabilità o da un'improvvisa replica sismica che possa causare crolli.

Il secondo rilievo, realizzato a gennaio 2017, vede un dettagliato quadro fessurativo volto a documentare fotograficamente gli apparati decorativi danneggiati e le lesioni passanti e non, causati dal sisma.

Nel mese di febbraio 2017, a sei mesi dall'evento principale, avviene il rilievo del MIBACT con la compilazione della Scheda A-DC di secondo livello. Questo rilievo è definito di dettaglio del danno, perché vengono analizzati tutti gli elementi danneggiati o che potrebbero lesionarsi in maniera ancor grave dopo una replica sismica. Infatti, nella scheda compare un incremento dei meccanismi di collasso, la descrizione degli apparati decorativi danneggiati e un cambiamento della stima dei dati dimensionali.

Nel febbraio 2018, 18 mesi dopo il sisma, si ha il progetto della messa in sicurezza. Questo progetto, sulla base dei sopralluoghi, opera presidi con adeguato coefficiente di sicurezza al fine di salvaguardare la sicurezza pubblica e le parti danneggiate della chiesa.

Lo schema seguente racconta la relazione fra i principali eventi sismici, dalla principale scossa del 2016, e i rilievi effettuati secondo l'iter procedurale della Direttiva del 23 aprile 2015.

# TIME LINE

ACCADIMENTI/INTERVENTI DELLA CHIESA DI SAN FRANCESCO

**24 AGOSTO 2016**

ORE 03:36 A.M.: SI VERIFICA IL PRIMO  
EVENTO CATASTROFICO DI MG 6.0

**SETTEMBRE**

- 02.09.2016:  
RILIEVO DI PRIMO LIVELLO  
REALIZZATO DAI TECNICI DEL MIBAC:  
COMPILAZIONE DELLA SCHEDA A-DC

**OTTOBRE**

• 26.10.2016

SI VERIFICANO DUE TERREMOTI  
FORTI ALLE ORE:

07:11 P.M. DI MG 5.4

09:18 P.M. DI MG 5.9

• 30.10.2016

SI VERIFICA UN SISMA DI MG 6.5



**GENNAIO 2017**

18.01.2017

SI VERIFICA L'ULTIMA SCOSSA  
FORTE DELLA SEQUENZA  
INNESCATA AD AGOSTO DI  
INTENSITÀ DI MG 5.5

**GENNAIO**

RILIEVO FOTOGRAFICO E QUADRO  
FESSURATIVO: TAVOLE 1 -2 -3

**FEBBRAIO**

- 21.02.2017:  
RILIEVO SPEDITIVO DI SECONDO LIVELLO  
DEL MIBAC: COMPILAZIONE DELLA SCHEDA A-DC

**MARZO**

- 03.03.2017:  
VALIDAZIONE DELLA SCHEDA DI  
SECONDO LIVELLO DELL'UGCR
- 07.03.2017:  
RILIEVO SPEDITIVO DELLA ZONA CONVENTUALE  
CON COMPILAZIONE DELLA SCHEDA I-EG

**GENNAIO 2018**



**FEBBRAIO**

REALIZZAZIONE DEL PIANO DI  
MESSA IN SICUREZZA DELL'EDIFICIO

**MARZO**

FINE DELLE INDAGINI GEOLOGICHE  
DI MICROZONAZIONE SISMICA

**GENNAIO 2019**

**GENNAIO 2020**





#### **4.2.1. Le Schede A-DC di primo e secondo livello: il rilievo del MIBACT**

Dal 2015, con la Direttiva Franceschini (vedi Cap.1), esiste un'organizzazione della gestione dell'emergenza strutturata in maniera elastica e articolata per adattarsi al meglio ad ogni situazione.

Per quanto riguarda i Beni Culturali Immobili e le Chiese in particolare, l'osservazione del danno dopo un evento sismico ha prodotto, già nel lontano 1987, la stesura di una prima scheda (GNDT-Modello S3) fino ad arrivare alle attuali schede di rilievo, approvate con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 23 febbraio 2006 (pubblicato in G.U. del 7 marzo 2006 n. 55).

Oggi le schede per le chiese (Modello A-DC) presentano una panoramica dei meccanismi del danno articolato in 28 voci (vedi Appendice B). L'obiettivo delle schede è la valutazione delle condizioni di agibilità della struttura e del bisogno di realizzare eventuali opere provvisorie per la salvaguardia delle persone e per scongiurare ulteriori danneggiamenti alle opere, a livello strutturale e architettonico, causati dagli sciami sismici.

Nel momento post sisma, l'emergenza si avvia immediatamente con i sopralluoghi in riferimento ai Beni forniti dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali o da altre amministrazioni competenti in materia, al fine di redigere una stima delle chiese danneggiate, la quale viene aggiornata quotidianamente in base alle segnalazioni dei tecnici che effettuano i sopralluoghi. Le informazioni presenti nelle segnalazioni riguardano i sopralluoghi eseguiti, l'esito dell'agibilità e il livello del danno.

La squadra che effettuerà il sopralluogo sarà composta da un tecnico strutturista del MIBACT e da un vigile del fuoco muniti di dispositivi di protezione individuali; inoltre se la situazione lo richiede, è presente un professionista con specifiche competenze dei beni.

Le squadre che effettuano il sopralluogo sono corredate di:

- elenco dei beni da rilevare;
- schede per il rilievo;
- cartografia dell'ubicazione dei beni da rilevare, se disponibile;
- planimetria dei beni da rilevare, se disponibile;
- elenco e collocazione delle opere d'arte presenti nel sopralluogo;

- numeri di telefono dei referenti per i sopralluoghi e di coloro che garantiscono l'accesso alla chiesa;
- dispositivi di protezione individuale così come previsto dal D. Lgs. n. 81 del 9/04/2008 e s.m.i;
- binocolo per esaminare dettagli lontani;
- macchina fotografica digitale corredata di un adeguato numero di schede di memoria;
- torcia elettrica per esaminare locali senza luce (p.e. cripte e sottotetto);
- metro/distanziometro per una stima di massima delle dimensioni della fabbrica;
- doppio decimetro per misurare le lesioni più significative;
- livella o filo a piombo per valutare i fuori piombo;
- materiale per l'esecuzione di descrizioni grafiche speditive dell'edificio e dei principali fenomeni di danno e meccanismi.

Il sopralluogo prevede un'ispezione preliminare esterna e, nel momento in cui vengono rilevate situazioni pericolose evidenti da inagibilità, deve essere eluso il sopralluogo interno e segnalato il fatto per provvedere a opere di messa in sicurezza. Nel momento in cui si ritiene sicuro effettuare l'ispezione interna, questa sarà condotta esaminando tutti i possibili meccanismi di danno attivati e attivabili nella chiesa, dalla cripta al sottotetto.

In generale, essendo l'ispezione è una diagnosi preliminare della risposta sismica del manufatto, deve quindi fornire un quadro dello stato di fatto con ipotesi di una prima valutazione. In un secondo momento, si provvede alla compilazione della scheda ripercorrendone tutte le sezioni e alla formulazione di un giudizio finale più specifico della situazione.

La Scheda A-DC (Agibilità e Danno delle Chiese), deve essere compilata solo per le chiese in muratura ed è strutturata in modo tale da guidare al meglio il sopralluogo effettivo: va evitato il rilievo dimensionale di dettaglio poiché questo non è di alcun aiuto nel reperimento di informazioni sullo stato strutturale di agibilità, mentre va eseguita un'attenta osservazione e interpretazione dei meccanismi di danno innescati dal terremoto.

La prima sezione della scheda, che è composta da 13 sottosezioni (A1-A13), riguarda le informazioni di carattere generale della chiesa, come data,

localizzazione e contesto urbano, beni contenuti in esso, tipologia dell'edificio (se singolo o complesso) e destinazione d'uso.

Di seguito è riportata la prima sezione della Scheda A-DC di livello I della Chiesa di San Francesco realizzata in occasione del rilievo speditivo del 2 settembre 2016, avvenuto a distanza di una settimana dal terremoto di Accumoli e Amatrice (Fonte: Ministero per i Beni e le Attività Culturali).

**Ministero per i Beni e le Attività Culturali**  
 Dipartimento della Protezione Civile  
 Gruppo di Lavoro per la Salvaguardia e la Prevenzione dei Beni Culturali dai Rischi Naturali

**SCHEDA PER IL RILIEVO DEL DANNO AI BENI CULTURALI - CHIESE**  
 MODELLO A - DC  
 Prima sezione

**A1 - DESTINAZIONE D'USO ATTUALE**

Uso	UTILIZZAZIONE TEMPORALE			Affollamento
	Continuo	Saltuario	Non utilizzato	
Cattedrale / Duomo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chiesa parrocchiale	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Oratorio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sanatorio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Museo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auditorium	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Servizi	<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"/>

**A1 - CARATTERISTICHE DEL SITO**  
 In piano  Su rilievo / su cresta / su vetta  Su riparo  In pendio / su versante  Avvallamento

**A2 - CONTESTO URBANO E POSIZIONE**  
 Centro urbano  Periferia urbana  Area industriale - commerciale  Area agricola  Centro storico   
 Isolata  Connessa con altri edifici  su  m  l  s  Altro

**A3 - INFRASTRUTTURE**  
 Accesso pedonale  Rete viaria idonea in relazione al rischio   
 Accesso carrabile  Parcheggio nella vicinanza   
 Accesso con altezza inferiore a 4 metri  Spazi aperti e disposizione   
 Accesso con mezzi pesanti  Altro

**A10 - PRESENZA DI RISCHIO**

	RILEVAZIONE URGENTA	INFORMAZIONI ACQUISITE
Innesco minacciato da frane	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Innesco in zona alluvionabile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Innesco soggetto a minacce di tipo industriale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Innesco soggetto ad altre minacce naturali	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**A11 - TIPOLOGIA DEI BENI ARTISTICI PRESENTI**

Tipologia	Num.	superficie	Tipologia	Num.	superficie
Altare	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tracce mobili su fondo supportato	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Battenti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Arredi (soffitti, anelli, pulpiti, steli corali)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stipiti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Decorazioni plastiche mobili	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Alzati	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Manufatti in carta e pargamena	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Altri / statue	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Risparmi architettonici	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Libri / Stampi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Altri	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**A12 - DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA** - Realizzata da  SI  NO

**A13 - COMPILATORE SCHEDA**

La seconda sezione, strutturata in 14 sottosezioni (A14-A27), riporta lo stato di manutenzione generale, il rilievo del danno con il relativo indice, l'agibilità e gli eventuali interventi da realizzare, il danno agli apparati decorativi e una prima indicazione sommaria dei costi da sostenere per attuare gli interventi suggeriti.

Gli elementi da valutare in questa sezione riguardano l'integrità dell'edificio, sia in merito alla manutenzione sia a danni pregressi, come deformazioni causate dai carichi e/o cedimenti che con il sisma si aggravano.

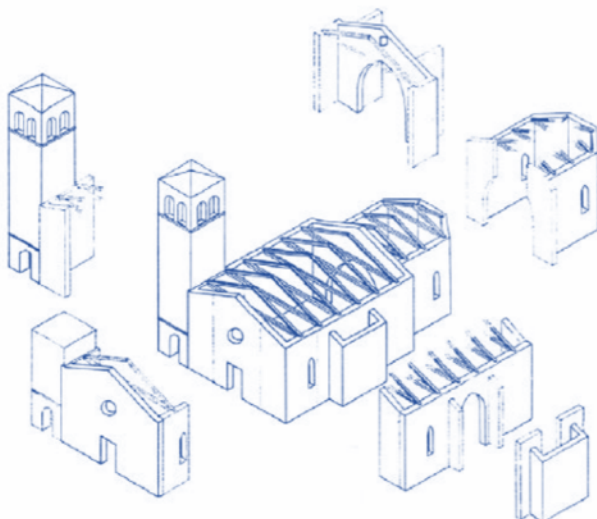
Il comportamento delle chiese in muratura a seguito di un terremoto può essere schematizzato attraverso una serie di meccanismi predefiniti, che ricorrono in questi manufatti seppure realizzati in epoche, tecnologie, dimensioni e forme differenti. Nella voce A16 sono elencati i 28 meccanismi di collasso ricorrenti nelle chiese, suddivisi in:

- 4 meccanismi relativi alla facciata;

- 5 meccanismi relativi all'aula;
- 3 meccanismi relativi al transetto;
- 1 meccanismi relativi all'arco trionfale;
- 2 meccanismi relativi alla cupola;
- 3 meccanismi relativi all'abside;
- 3 meccanismi relativi alla copertura;
- 4 meccanismi relativi alle cappelle e corpi annessi;
- 3 meccanismi relativi agli aggetti ed al campanile.

I 28 meccanismi di danno presenti nella scheda, caratteristici per le chiese, permettono di descrivere i danni subiti dall'intero complesso, attraverso la suddivisione dell'edificio in macroelementi. L'analisi per macroelementi permette infatti di indirizzare al meglio la modellazione del comportamento sismico delle chiese.

Ogni macroelemento è definito come una parte costruttivamente riconoscibile e compiuta del manufatto e può coincidere con una parte identificabile sotto l'aspetto architettonico e funzionale, ovvero: "la parte edilizia nell'ambito della quale è osservabile e compiutamente descrivibile un comportamento unitario e riconoscibile dei meccanismi di insieme a seguito delle azioni sismiche" (PAPA-DI PASQUALE, 2013).



*Figura 4.2.1.1. Macroelementi di una chiesa (PAPA-DI PASQUALE, 2013).*

Di norma vengono identificate le seguenti parti di una chiesa:

- facciata: è costituita dal pannello murario di facciata ed ha come zone di sovrapposizione una parte delle pareti laterali (come ad esempio nel caso di San Francesco che ha un'aula unica);
- aula: è la parte compresa tra la facciata e l'arco trionfale, può essere unica o più navate circoscritta dalle pareti laterali, con fasce di sovrapposizione sui lati sono da individuarsi in metà facciata da un lato e metà arco trionfale dall'altro; mentre le coperture e le volte, se presenti, interagendo con le pareti laterali, vengono comprese in queste zone di sovrapposizione;
- transetto: è costituito da una o più navate che intersecano trasversalmente la chiesa;
- arco trionfale: è costituito dal pannello murario opposto alla facciata. Le fasce di sovrapposizione per questo pannello sono sia le pareti laterali sia il presbiterio e sono fissate in parti di larghezza uguale a metà dell'altezza;
- cupola: è una struttura di copertura di vani a pianta quadrata, circolare o poligonale, con calotta o strutturata come una volta; alla sommità è possibile trovare la lanterna, una piccola costruzione simile ad un'edicola;
- abside: è costituito da una nicchia a pianta semicircolare, rettangolare o poligonale, coperta da una calotta posta nella parte terminale della chiesa;
- copertura: questo macroelemento è generalmente costituito da un'orditura principale a capriate lignee, su cui si innesta una orditura secondaria, anch'essa lignea con sovrastanti listelli e manto in coppi;
- cappelle: piccole strutture in muratura poste in adiacenza alla chiesa;
- campanile: può essere in genere del tipo a vela, costruito in continuità con la facciata, oppure costituito da torri campanarie collocate in posizioni diverse rispetto alla chiesa (isolate, accostate o accorpate);
- protiro e narcece: il protiro è un piccolo portico posto a protezione e copertura dell'ingresso principale di una chiesa, mentre il narcece collega le navate con l'esterno della chiesa ed ha la funzione di un corto atrio, largo quanto la chiesa stessa.

Oltre ai meccanismi già attivati, vanno segnalate le attivazioni di meccanismi che ancora non hanno provocato effetti e la valutazione sull'eventuale causa.

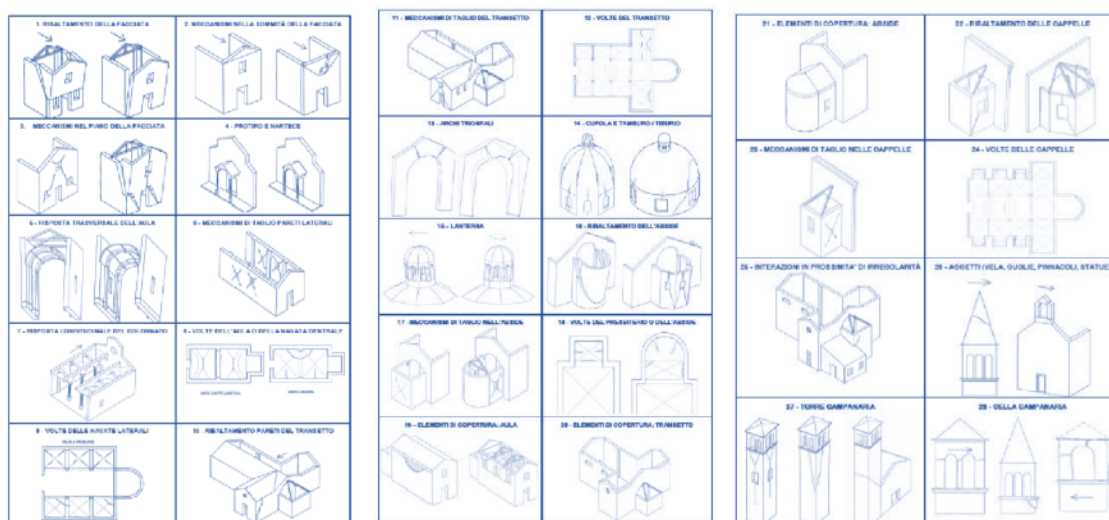


Figura 4.2.1.2. Meccanismi di collasso delle chiese (Fonte: PAPA-DI PASQUALE, 2013).

L'entità del danno va formulata secondo un giudizio espresso su 5 livelli, analoghi a quelli presenti nelle scale macrosismiche europee EMS98 ed utilizzati nei metodi di rilievo di vulnerabilità di I livello per gli edifici ordinari (GNDT). Questi vanno da un danno nullo al crollo e sono così distinti:

- danno NULLO (D0): rappresenta l'assenza di danno;
- danno LIEVE (D1): rappresenta la prima evidenza di dissesti connessi all'iniziale attivazione di meccanismi visibili ad una osservazione accurata, di limitata estensione;
- danno MODERATO (D2): rappresenta l'evidenza di dissesti e leggibilità complessiva di meccanismi attivati nell'insieme del macroelemento, ma in fase iniziale di sviluppo, con dissesti di limitata entità;
- danno GRAVE (D3): rappresenta la marcata evidenza di dissesti e leggibilità complessiva di meccanismi compiutamente attivati che interessano l'insieme del macroelemento in fase intermedia di sviluppo;
- danno MOLTO GRAVE (D4): rappresenta l'evidenza macroscopica dei dissesti e dei meccanismi prossimi alla fase di ultimo spostamento con parti al limite del crollo, a seguito di dissesti complessivi di forte e fortissima entità;
- CROLLO (D5): rappresenta il crollo prevalente in quanto a entità del macroelemento.

L'indice dal danno è un valore compreso fra 0 e 1 e rappresenta la media normalizzata del danno rilevato per ogni meccanismo sulla base del numero di meccanismi possibili nella chiesa:

Dove:  $n$  = numero dei meccanismi possibili  $\leq 28$ ,

$$i_d = \frac{d}{5n} \quad d = \sum_{k=1}^n (dk), \quad dk = \text{livello di danno associato a ogni meccanismo}$$

possibile, il valore va da 0 a 5.

Successivamente i tecnici che effettuano il rilievo devono valutare l'agibilità seguendo la seguente definizione: "la valutazione di agibilità in emergenza post sismica è una valutazione temporanea e speditiva - vale a dire formulata sulla base di un giudizio esperto e condotta in tempi limitati, in base alla semplice analisi visiva ed alla raccolta di informazioni facilmente accessibili - volta a stabilire se, in presenza di una crisi sismica in atto, gli edifici colpiti dal terremoto possano essere utilizzati restando ragionevolmente protetta la vita umana" (PAPA-DI PASQUALE, 2013).

Tale definizione non è sempre attuabile poiché si preferisce ripercorrere tutte le sezioni della scheda per ottenere un quadro generale e più concreto dell'agibilità. Il giudizio dell'agibilità di una chiesa vede una serie di voci che si esprimono secondo l'esito: A-agibile, I-inagibile, PA-parzialmente agibile, AP-agibile con provvedimenti, TI-temporaneamente inagibile, IE-inagibile per cause esterne.

Nella sezione A20 della Scheda A-DC vengono valutate le operazioni di pronto intervento (PI) riguardanti la messa in sicurezza delle chiese. Tuttavia, tali provvedimenti di pronto intervento costituiscono uno degli aspetti più problematici nella gestione dell'emergenza poiché ci si trova nella situazione di dover intervenire senza una completa conoscenza della struttura, dei materiali e dei particolari costruttivi, ma soprattutto nella situazione che un terremoto possa di nuovo verificarsi.

I progetti per la messa in sicurezza di una chiesa devono rispettare i principi di conservazione del bene, essere efficaci dal punto di vista strutturale e della fattibilità da parte dei tecnici. Nella scelta dell'opera provvisoria è importante quindi considerare tre aspetti fondamentali: la fruibilità della struttura, la conservazione dell'impianto strutturale e la salvaguardia dell'incolumità pubblica.

I criteri riguardanti i progetti degli interventi di pronto intervento consistono nella realizzazione di opere che non coinvolgano strutture prospicienti (come i puntellamenti a contrasto), nella non invasione delle sedi stradali,

nell'agevolazione dell'intervento definitivo, nella rapidità del reperimento dei materiali, nella facilità di realizzazione delle opere e nella durabilità degli stessi.

La sezione della stima sommaria dei costi viene realizzata in un secondo momento e avviene secondo una procedura standardizzata basata sui dati di rilievo e su costi per i manufatti affini, anch'essa suddivisa in: ripristino strutturale, opere di finitura-impiantistica e miglioramento sismico e di pronto intervento. La seconda sezione della Scheda A-DC si conclude con le voci riguardanti gli elaborati grafici A25, la documentazione da allegare A26 e infine con i nominativi di chi ha eseguito il rilievo A27. La documentazione grafica va inserita assieme a tutta quella esistente, ma se non è reperibile occorre realizzare schemi di pianta, prospetto e sezioni della chiesa. In ogni caso vanno indicati i danni riscontrati, con l'illustrazione di dissesti particolari.

Il rilievo di primo livello della chiesa di San Francesco, realizzato dai tecnici del MIBACT, è stato realizzato a distanza di una settimana dal terremoto di magnitudo 6.0 del 24 agosto 2016. Dall'analisi della relativa scheda emergono 14 meccanismi in atto e un indice di danno pari a 0.34 (in un range compreso fra 0 e 1), il quale rende la chiesa inagibile (Figura: 4.2.1.3).

I primi provvedimenti valutati dal rilievo speditivo, basato principalmente su un'analisi visiva, sono: puntellamenti, rimozione delle macerie, transennamenti e protezioni.

The image shows two pages of a technical form titled 'MODELLO A-DC Seconda sezione'. The left page is the 'RIFERIMENTO SCHEDA DELLA VULNERABILITÀ DELLE CHIESE' section, containing fields for church name, date, and a table of damage indicators. The right page is the 'STATO DI MANUTENZIONE GENERALE' and 'DANNO SISMICO' section, featuring a grid of 28 rows for different parts of the church (e.g., facade, lantern, presbytery, nave, transept, tower) with checkboxes for various damage types. At the bottom of the right page, a red box highlights the 'A11 - INDICE DI DANNO' calculation:  $n = 14$  (numero dei meccanismi possibili) /  $d = 41$  (punteggio totale di danno) =  $0.34$ .

Figura 4.2.1.3. Scheda A-DC di primo livello, seconda sezione: in rosso l'indice del danno.





La Scheda A-DC, della Chiesa di San Francesco, riguardante il rilievo di secondo livello a opera dei tecnici del MIBACT, è stata compilata il 21 febbraio 2017, a sei mesi dalla scossa principale e dopo altre due scosse di magnitudo pari a 6.5 a ottobre 2016 e 5.5 a gennaio 2017.

The image shows two pages of a technical form titled 'Scheda A-DC'. The left page includes the header with logos of the Italian Republic and the Ministry of Cultural Heritage, and the 'A1 - RIFERIMENTO SCHEDE DELLA VALUTABILITA' DELLE CHIESE' section. The right page shows the 'A2 - DESTINAZIONE D'USO ATTUALE' section with a table of uses and their characteristics, and the 'A3 - TIPOLOGIA DEI RIFI ANATOMICI PRESENTI' section with a table of anatomical features.

Figura 4.2.1.6. Scheda A-DC rilievo di secondo livello (Fonte: MIBACT).

The image shows two pages of the 'Scheda A-DC' form, specifically the second section. The left page contains the 'A4 - STATO DI MANUTENZIONE GENERALE' and 'A5 - DANNO SISMICO' sections. The right page contains the 'A6 - COMPLETARE SCHEDA' section with a table of damage indicators and a red box highlighting the 'A7 - INDICE DI DANNO' section, which includes a formula for calculating the damage index.

Figura 4.2.1.7. Scheda A-DC rilievo di secondo livello, seconda sezione: in rosso l'indice del danno.

Dopo sei mesi, con l'aggravante di due ulteriori forti scosse, i tecnici del MIBACT hanno rilevato un incremento dei meccanismi di collasso delle chiese





Tale relazione relativa al rilievo dello stato di fatto, allegata alla messa in sicurezza, riporta una descrizione della chiesa con i dati dimensionali (larghezza di circa 15 m e altezza nel punto di colmo di circa 20 m), con la facciata in muratura di mattoni pieni (spessore circa 80 cm alla base). Il rilievo ha evidenziato anche la sottigliezza della parete della facciata per via di una sopraelevazione, realizzata probabilmente nel momento di inserimento della volta interna. Questo dato è evidente per la variazione cromatica della muratura.

Nello specifico il sisma dell'agosto 2016 ha causato i seguenti danneggiamenti all'esterno della facciata:

- all'intersezione della facciata con la parete di spina posta a Est (lato del chiostro), dove è visibile una lesione ad andamento subverticale, segno dell'attivazione del cinematismo di ribaltamento semplice;
- sopra la finestra, dove il cedimento della piattabanda con distacco di materiale laterizio ha causato una lesione verticale fino al frontone;
- in prossimità dell'angolo destro della finestra, dove è presente una lesione dovuta all'assenza di ammorsatura tra la porzione ricostruita e la muratura circostante;
- nell'oculo situato nel frontone, dove è crollata una porzione di muratura.

Nel lato interno della facciata invece i danneggiamenti sono molto più evidenti ed accentuati, a causa degli ampi distacchi di intonaco, i quali consentono l'individuazione delle aree più lesionate. Qui in particolare si è rilevato: il crollo di un'ampia parte della piattabanda della finestra, causando il danno della cornice sottostante; il crollo della parte centrale della cornice e distacchi di intonaco dalle parti laterali; lesioni ad arco nella muratura sopra dell'ingresso e lesioni diffuse nelle parti laterali; le lesioni causate dal distacco della volta dalla facciata, causata dal movimento relativo fra le due parti strutturali ed al conseguente martellamento.

Passando all'abside a pianta poligonale, di circa 21 metri ed estensione in pianta di circa 50 mq, la muratura alla base ha uno spessore di circa 1,40 m e si rastrema in altezza. La volta è costituita in camorcanna, mentre la muratura varia in sezione con una riduzione di circa quattro teste. Il danno principale è il crollo di un'ampia porzione di muratura nella parte sommitale Est, in prossimità del cambio di sezione della muratura, e si propaga verso l'alto. Dal punto dove la muratura è crollata si dirama una lesione verso il basso che si dirige verso il

centro dell'abside, indicando l'attivazione del cinematismo di ribaltamento semplice di una porzione di paramento murario. In posizione simmetrica a quest'ultima si rileva una lesione con lo stesso andamento che ha causato il distacco della tamponatura del primo arco ad Ovest dalla costolatura verticale.

Per quanto riguarda gli apparati decorativi interni sono evidenti gli ampi distacchi dell'intonaco. Mentre dietro l'altare sono presenti lesioni ad arco sopra le due nicchie presenti, altri distacchi di intonaco dalla cornice e dalla semicupola in camorcanna e lesioni in prossimità della zona di contatto della cupola con l'arco trionfale, causate dal fenomeno di martellamento fra l'abside e la struttura principale.

Il timpano è uno dei punti che ha subito i maggiori danni, riportando ampi ed evidenti crolli. Al centro è visibile il crollo di una parte di muratura che si è riversata sopra la sottostante copertura dell'abside. Dai sopralluoghi effettuati nel sottotetto, si è constatato che si sono verificati crolli anche nella parte interna del timpano dove due parti di muratura situate ai lati del timpano stesso si sono riversate sopra la volta della navata. Nell'angolo Est del timpano, verso il chiostro, è visibile una lesione inclinata di circa 45° che parte dalla sommità e arriva fino all'intersezione con l'abside. Questa tipologia di lesione sta a significare l'attivazione del cinematismo di ribaltamento della porzione Est del timpano dove il distacco della muratura è visibile e dell'ordine del centimetro. Nella parte Ovest del timpano è presente una lesione subverticale che ha origine nell'intersezione del timpano con l'abside ed è causata dal movimento tipo martellamento in fase sismica fra i due elementi.

Il progetto della messa in sicurezza interessa principalmente gli elementi individuati come i più danneggiati: la facciata principale, l'abside e il timpano Sud.

A causa dello stato di pericolosità dovuto ai continui terremoti e dell'urgenza degli interventi per salvaguardare le persone e il bene, il progetto della messa in sicurezza è stato realizzato senza indagini e sondaggi, i quali solitamente consentono una conoscenza più approfondita del comportamento dinamico e strutturale della chiesa. In ogni caso la progettazione si è basata su tutti i presidi necessari con un adeguato coefficiente di sicurezza, secondo quanto previsto dal D.M. 14/01/2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni, paragrafo 8.4.3).

La chiesa è stata suddivisa e studiata in singole parti, intervenendo con un miglioramento delle condizioni di sicurezza e la necessità di continua manutenzione, senza modificarne l'aspetto strutturale. Tali interventi, volti a

garantire la sicurezza generale, riguardano i macroelementi della facciata, abside e timpano Sud.

Per la facciata è stata prevista la realizzazione di una struttura metallica interna, che permette di trattenere la facciata e scongiurare tutti i cinematismi di ribaltamento attivabili, considerando la facciata come un elemento deformabile. Ciò è possibile attribuendo alla muratura un proprio modulo elastico, seguendo la tabella C8A.2.1 della Circolare n. 617 del 2 febbraio 2010. La struttura progettata vincola la parete in numerosi punti con l'utilizzo diffuso di connettori, per tutta la sua larghezza, sia in maniera puntuale con l'utilizzo di travi reticolari piane sia con la rigidità che contrasta la deformabilità fuori dal piano della parete concentrata nelle aree poste al centro. La struttura è completata da diversi ordini di doppie UPN interposte tra i profili verticali, sui quali vengono ancorate tutte le connessioni alla parete (barre zincate filettate e catene).

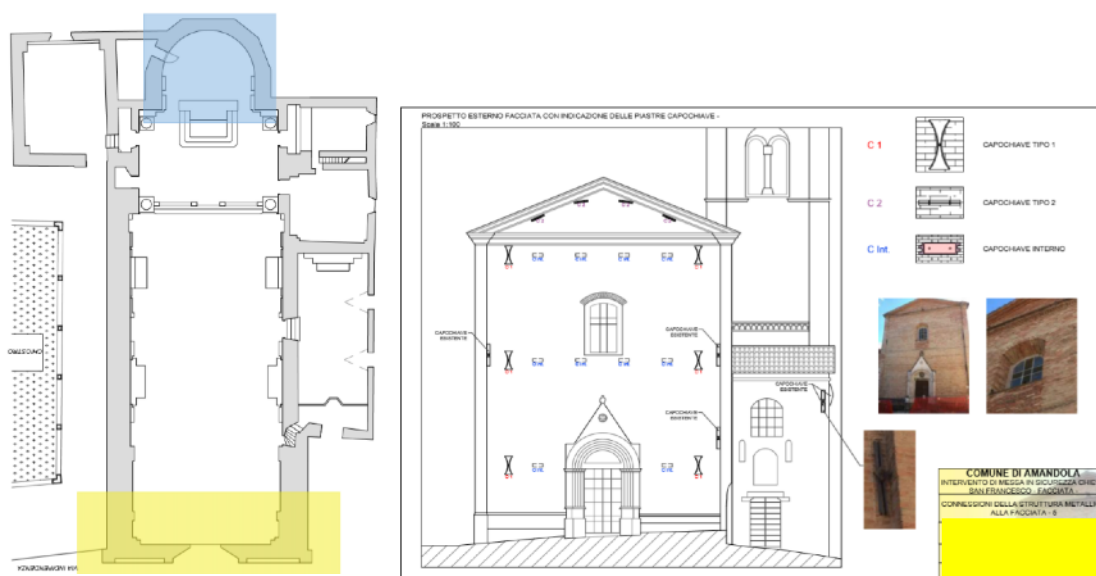
Gli interventi che riguardano l'abside consistono nello smontaggio della copertura e successivo rinforzo strutturale, realizzato in malta e rete in fibra di vetro; per quanto riguarda le zone della muratura prossime al distacco, si prevede la cerchiatura della struttura mediante cavi in acciaio e pali in legno per assicurare un effetto di confinamento. I cavi esercitano, in fase sismica, una distribuzione delle forze sulla superficie muraria con l'utilizzo di pali in legno, al fine di garantire la sicurezza e evitare crolli verso l'interno della chiesa. Per questo motivo nell'abside viene realizzata una puntellatura interna con una struttura reticolare in tubolari e giunti in acciaio. Questa struttura interna e la cerchiatura consentono un comportamento unitario della struttura muraria. Per un ulteriore sostegno viene realizzato un ponteggio esterno da lavoro, sul quale vengono posati tubolari in acciaio orizzontali con basette terminali, con lo scopo di puntellare le parti di muratura non confinate dai cavi. La struttura muraria dell'abside si è rilevata molto fragile e le lesioni presenti, inoltre, indicano l'attivazione del cinematismo di ribaltamento della parete.

L'intervento al timpano Sud consiste nello smontaggio controllato dello stesso fino all'intersezione con l'abside; inoltre, la porzione restante di timpano risulta fortemente indebolita dai crolli che hanno assottigliato la sezione resistente della muratura. Questa parte quindi sarà consolidata con una cappa in malta di calce e rete in fibra di vetro per rendere coesa la zona ai fini della sicurezza; la copertura invece verrà puntellata con tubolari e giunti in acciaio. L'ultimo intervento della messa in sicurezza consisterà nella chiusura provvisoria per la protezione dagli agenti atmosferici della chiesa.



Le operazioni di messa in sicurezza durante uno sciame sismico non sono di facile realizzazione poiché, oltre ai parametri da rispettare per la sicurezza stessa, bisogna operare una serie di azioni in previsione di ulteriori fatti che potrebbero verificarsi.

Di seguito è riprodotta la pianta della messa in sicurezza con l'individuazione delle aree di intervento e il prospetto con il progetto degli interventi.



#### 4.3. Lo scenario alternativo del rilievo: tradizione *versus* contemporaneità

Gli scenari delle attività di rilevamento effettuate sulla Chiesa di San Francesco fino a questo momento hanno visto come protagonista un rilievo legato alla tradizione; questo tipo di rilievo, sebbene avvenuto recentemente, ha utilizzato elaborati datati realizzati con una tecnologia molto diversa rispetto a quella a disposizione oggi. La proposta di uno scenario alternativo nasce dall'esigenza di rispondere ad importanti domande strettamente legate alla condizione di una chiesa terremotata.

Cosa si può fare per salvaguardare il bene? Come si può organizzare il rilievo garantendo la sicurezza degli operatori e l'accuratezza delle informazioni? In quali tempistiche si può gestire l'operazione? Quali tempi occorrono per la messa in sicurezza? Questi sono solo alcuni dei quesiti che puntualmente si pongono coloro che gestiscono il processo macchinoso e articolato dell'emergenza del patrimonio culturale architettonico.



Lo scenario alternativo a quello tradizionale vede l'impiego del laser scanner e della fotogrammetria, in un sistema integrato di strumenti e di tecnologia digitali per la realizzazione del rilevamento.

Come descritto in precedenza (vedi cap. 2), le caratteristiche di questo sistema integrato soddisfano le richieste di dettaglio, anche in caso di rilievo a grande scala, grazie a un'ampia raccolta di dati tridimensionali accurati che sono ottenuti in tempi brevi; il rilievo inoltre avviene a distanza dal laser e quindi in totale sicurezza. Il sistema infine offre la possibilità di elaborare i dati non durante la fase del rilievo, ma al computer in un secondo momento.

Quindi, parlando di stato dell'arte, il rilievo effettuato con il laser realizza un "oggetto ricostruito [...] fornito direttamente in forma digitale, cosa che consente di ottenere rapidamente numerose informazioni di natura metrica, materica, visiva: in misura maggiore di quanto sarebbe stato possibile per via tradizionale" (CLINI, 2008), andando a raggiungere una conoscenza dettagliata dei manufatti architettonici caratterizzati da geometrie complesse (BIANCHINI, 2012).

In questo caso, gli strumenti utilizzati per il rilievo della chiesa di Amandola sono il laser scanner Scan Station P40 della Leica e la fotocamera reflex Nikon D90.

Il primo, il laser P40, è definito un sistema "all in one" per via delle seguenti numerose caratteristiche: velocità, compattezza, sistema a impulsi, corredo di scanner, batterie, sistema di controllo, memorizzazione dati, fotocamera e videocamera con auto esposizione, compensatore biassiale, precisione per il rilievo di pendenze, piombo laser, lunga portata e campo visivo completo.

Il campo di ripresa è "full dome", con un'apertura di  $360^\circ \times 290^\circ$ , un raggio di scansione fino a 270 m e una realizzazione di scansione in meno di due minuti con una velocità di circa 1 milione di punti al secondo. Tale velocità di scansione è possibile grazie allo Smart X-Mirror Tm, costituito da specchi rotanti, che consente di realizzare in pochi minuti scansioni "full dome"; inoltre, la portata, la precisione angolare, il rumore ridotto e la compensazione biassiale topografica permettono un output del dato con nuvole di punti a colori dense di dettagli e con una definizione realistica delle mappe.

Il laser si interfaccia con una grafica on-board su di un display a colori touch screen ed è dotato di hard disk interno di 256 GB per l'immagazzinamento dei dati che, una volta connesso tramite porta usb o ethernet su un computer, ne consente il trasferimento. In aggiunta, è corredato da una fotocamera digitale a

colori integrata con zoom, che consente di realizzare le riprese video e le immagini panoramiche da 700 megapixel in HD. Le informazioni raccolte dal laser sono rielaborate con i software Leica Cyclone, i plug-in Leica Cloud Worx per i sistemi CAD e il software gratuito Leica TruView che rappresentano la piattaforma software per le nuvole di punti 3D leader del settore (Fonte: <https://leica-geosystems.com>).

<b>System Accuracy</b>		<b>Power</b>	
<b>Accuracy of single measurement</b>		<b>Power supply</b>	
Range accuracy		24 V DC, 100 – 240 V AC	
8° horizontal, 8° vertical		<b>Battery type</b>	
Angular accuracy		2x Internal Li-Ion; External Li-Ion (connect via external port, simultaneous use, not swappable)	
3mm at 50m; 6mm at 100m		<b>Duration</b>	
3D position accuracy		Internal > 5.5 h (2 batteries)	
<b>Target acquisition</b>		External > 2.5 h (room temp.)	
2mm standard deviation at 50m		<b>Environmental</b>	
<b>dual-axis compensator</b>		<b>Operating temperature</b>	
Liquid sensor with real-time on-board compensation, selectable on/off, resolution 1", dynamic range ±5°, accuracy 1.5"		-20°C to +50°C / -4°F to 122°F	
<b>Distance Measurement System</b>		<b>Storage temperature</b>	
<b>Type</b>		-40°C to +70°C / -40°F to 158°F	
Ultra-high speed time-of-flight enhanced by Waveform Digitising (WFD) technology		<b>Humidity</b>	
<b>Wavelength</b>		95%, non-condensing	
1550nm (invisible) / 658nm (visible)		<b>Dust/Water</b>	
<b>Laser class</b>		Solid particle/liquid ingress protection IP54 (IEC 60529)	
I (IIa according with IEC 60825-2:2014)		<b>Physical</b>	
<b>Beam divergence</b>		<b>Scanner</b>	
± 0.23mrad (FWHM, full angle)		Dimensions (D×W×H)	
<b>Beam diameter at front window</b>		738mm × 358mm × 395mm / 9.4" × 14.1" × 15.6"	
≤ 3.5mm (FWHM)		Weight	
<b>Range and reflectivity</b>		12.25kg / 27.0lbs, nominal (w/o batteries)	
Minimum range 0.4m		<b>Battery (Internal)</b>	
Maximum range at reflectivity		Dimensions (D×W×H)	
120m 180m 270m		40mm × 22mm × 22mm / 1.6" × 2.8" × 3.0"	
P30 18% – –		<b>Weight</b>	
P40 8% 18% 34%		0.4kg / 0.9lbs	
<b>Scan rate</b>		<b>Mounting</b>	
Up to 1'000'000 points per second		Upright or inverted	
<b>Range noise</b>		<b>Control Options</b>	
0.4mm rms at 10m		Full colour touchscreen for onboard scan control.	
0.5mm rms at 50m		Remote control: Leica CS10/CS15/CS20/CS35 controller or any other remote desktop capable device, including iPad, iPhone and other Smartphones; external simulator.	
<b>Field-of-View</b>		<b>Functionality</b>	
Horizontal		<b>Survey workflows and onboard registration</b>	
Vertical		Quick orientation, set azimuth, known backsight, Resection (4 and 6 parameters), Traverse	
360°		<b>Check &amp; Adjust</b>	
200°		Field procedure for checking of angular parameters, tilt compensator and range offset	
<b>Data storage capacity</b>		<b>Onboard target acquisition</b>	
256GB internal solid-state drive (SSD) or external USB device		Target selection from video or scan	
<b>Communications/ Data transfer</b>		<b>Onboard user interface</b>	
Gigabit Ethernet, integrated Wireless LAN or USB 2.0 device		Switchable from standard to advanced	
<b>Onboard display</b>		<b>One button scan control</b>	
Touchscreen control with stylus, full colour VGA graphic display (640×480 pixels)		Scanner operation with one button concept	
<b>Laser plummet</b>		<b>Scan area definition</b>	
Laser class I (IEC 60825-2:2014)		Scan area selection from video or scan; batch job scanning	
Centering accuracy: 1.5mm at 1.5m		<b>Ordering information</b>	
Laser dot diameter: 2.5mm at 1.5m		Contact your local Leica Geosystems representative or an authorised Leica Geosystems dealer.	
Selectable ON/OFF			
<b>Imaging System</b>			
<b>Internal camera</b>			
Resolution			
4 megapixels per each 17° × 17° colour image; 700 megapixels for panoramic image			
<b>Pixel size</b>			
2.2µm			
<b>Video</b>			
Streaming video with zoom; auto-adjusts to ambient lighting			
<b>White balancing</b>			
Sunny, cloudy, warm light, cold light, custom			
<b>HDR</b>			
Tonemapped / full range			
<b>External camera</b>			
Canon EOS 600/700/800 supported			

Figura 4.3.1. Scheda tecnica dello Scan Station P40 Leica (Fonte: [leica-geosystems.com](https://leica-geosystems.com)).

Dopo questa digressione tecnica, lo scenario da descrivere è quello successivo e conseguente il sisma principale del 24 agosto 2016, avvenuto nel territorio del Comune di Amandola, precisamente in Via Nazario Sauro presso la Chiesa di San Francesco.

Il rilevamento del Complesso di San Francesco è avvenuto in due giornate lavorative; nello specifico, il rilievo del caso di studio, ovvero della Chiesa, si è svolto in un giorno organizzato nelle seguenti fasi:

- prima fase, in cui la ripresa laser scanner è stata affiancata da quella fotografica al fine di ottenere elaborati descrittivi dello stato di fatto;
- seconda fase, che implica un'elaborazione dei dati e la successiva organizzazione delle acquisizioni per poter effettuare tutte le analisi successive delle rappresentazioni;
- terza fase, che riguarda la creazione del modello geometrico estrapolato dalla nuvola di punti, dal quale si ricaveranno le analisi del rilievo.

La prima fase (la campagna di rilievo) è stata preceduta da un'attenta progettazione, stabilendo anticipatamente il fine della restituzione del manufatto, consentendo sia di ottimizzare i tempi di elaborazione sia di finalizzare la gestione del dato ad uno scopo specifico. Questa programmazione è necessaria poiché il laser tridimensionale acquisisce in maniera autonoma e indistintamente i punti nello spazio. Questa fase è essenziale per ottenere un rilievo esaustivo dell'area, riducendo le zone di ombra e le occlusioni, studiando gli angoli di acquisizione e una buona sovrapposizione tra le scansioni, impostando una risoluzione omogenea delle scansioni da unire. Mentre, nel caso dell'acquisizione di immagini ad alta definizione per la mappatura della nuvola, è necessaria una buona qualità delle immagini con la stessa lunghezza focale e una posizione di presa della foto nadirale, con punto di vista della fotocamera vicina al punto di acquisizione del laser. Finita la determinazione dei punti di presa, si procede al posizionamento dello strumento e alle impostazioni di densità dei punti da acquisire in orizzontale e in verticale, prima di procedere alla vera e propria fase di acquisizione della nuvola di punti della chiesa.

Il rilievo laser della Chiesa è stato realizzato facendo particolare attenzione alla zona del coro e alla cappella dell'Annunciazione posta alla base della torre campanaria (per via delle decorazioni e affreschi); successivamente si è proceduto alla Cappella di San Sebastiano in adiacenza alla chiesa principale e, infine, al locale della sacrestia. In aggiunta, l'ambiente della chiesa è stato ampiamente fotografato per poter documentare e analizzare gli apparati decorativi e strutturali al fine di creare un modello con informazioni complete per consentire ogni esigenza progettuale da poter realizzare sulla Chiesa.

Per quanto riguarda l'acquisizione delle immagini utili alla ricomposizione delle panoramiche, queste sono state realizzate con la macchina digitale reflex Nikon D90.

Le foto realizzate sono state acquisite in parte con fotocamera iStar NCTech e in parte con Nikon D90, montando un obiettivo fisheye da 8 mm. Utilizzando la fotocamera Istar NCTech le immagini sono state acquisite a 360°; grazie all'utilizzo del software NCTech Immersive Studio è possibile ottenere direttamente un'equirettangolare. Utilizzando la fotocamera Nikon D90, invece, occorre montare una sequenza di 8 singoli scatti effettuati utilizzando un software di stitching come PTGui.



Al termine della giornata della campagna di acquisizione è stato verificato il dato caricando le fotografie scattate sul software di elaborazione dei dati per verificare il corretto allineamento del modello. L'unione dei singoli modelli è stata realizzata in un secondo momento, per una questione di gestione delle tempistiche elevate di elaborazione dei dati. I tempi di processamento e la pesantezza dei file sono un inconveniente legato a questa tecnica di rilevamento.

Finita l'acquisizione, viene effettuata una valutazione dei risultati ottenuti sulla base della programmazione preventivata. Questa metodologia di analisi ha consentito di strutturare un rilievo efficiente e rapido.



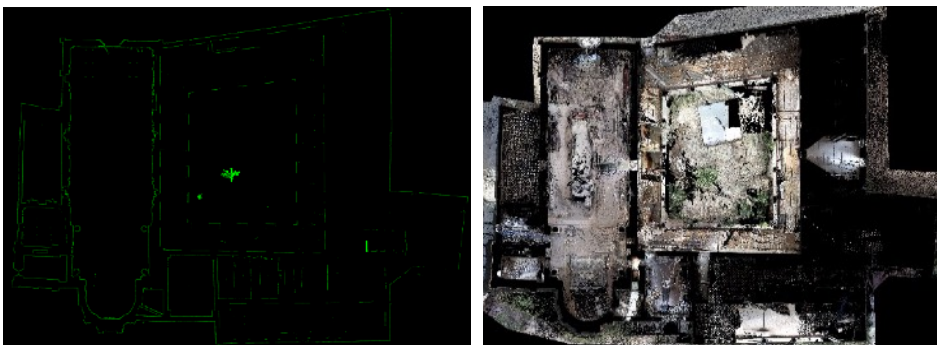
Figura 4.3.3. Algoritmo dall'acquisizione dal dato fino al modello bidimensionale.

Da questo momento si passa alla fase di allineamento delle nuvole di punti grazie ai target posizionati in precedenza su aste o su treppiedi durante la fase di acquisizione. Nel caso del Complesso di San Francesco e, nello specifico della chiesa, si è eseguito un allineamento visuale delle nuvole ottenute dalle diverse scansioni. Il processo di allineamento permette operazioni di registrazione ed elaborazione delle nuvole di punti acquisite con il software in dotazione con il P40 Leica, il Geosystem HDS Cyclone.

La fase della registrazione e dell'allineamento delle nuvole di punti prodotte e acquisite per ogni stazione inizia con l'importazione dei dati dal laser alla memoria di un computer. Il laser scanner è dotato di IRS - Intrinsic Reference System, un sistema di riferimento intrinseco che rende diversa e indipendente l'una dall'altra ogni scansione. Dopo l'estrazione delle nuvole di punti attraverso le tecniche range based e image based si procede unendole così da restituire un solo rilievo. L'importazione delle nuvole avviene sul software Cloud Compare che permette di unire le singole acquisizioni in una nuvola di punti unica, utilizzando un determinato sistema di riferimento realizzabile con una variazione di scala e trasformazioni di rototraslazione grazie a algoritmi di surface matching.

Terminata l'acquisizione e la registrazione delle stazioni, è possibile generare l'output che consiste nella nuvola di punti. Il risultato di tutte le scansioni allineate in un secondo momento viene ripulito dalle informazioni non utili al modello (model-space), come ad esempio i fasci di luce.

Dall'estrapolazione della nuvola è possibile ricavare delle ortoimmagini che permettono la definizione degli elaborati bidimensionali quali piante, prospetti e sezioni. Dopo la definizione delle quote di sezione, vengono posizionati dei piani di riferimento, per cui il software è in grado di associare un piano di taglio (cutplane) degli oggetti presenti nel model-space. Questo processo è utile alla produzione di sezioni bidimensionali poiché la geometria al di sopra del cutplane viene estromessa dalla vista permettendo una chiara visione del taglio.



*Figura 4.3.4. A sinistra: la pianta – slice di San Francesco. A destra: L'ortoimmagine del complesso dopo un cutplane a +1,50m.*

In sintesi, la campagna di rilevamento fotogrammetrico dell'intero complesso di San Francesco è avvenuta nell'arco di 2 giornate, nelle date del 21 e 22 giugno 2018): un giorno per la chiesa e uno per la zona conventuale. Il lavoro è stato organizzato in macroattività al fine di ottenere qualità e quantità di informazioni sufficienti a ricreare i modelli geometrici. Ogni sessione è stata di circa 8 ore per l'acquisizione di dati laser e materiale fotografico per le panoramiche.

La suddivisione in sottozone degli ambienti per una gestione ottimale dell'archivio non ha generato problematiche: il complesso ha una forma regolare con stanze ben definite; la buona e omogenea condizione di luce ha permesso sequenze fotografiche con ottima affidabilità dei dati raccolti per poter rappresentare al meglio lo stato di fatto dell'oggetto. Tuttavia l'unica problematica riscontrata è stata quella di effettuare sequenze fotografiche non esaustive dal perimetro esterno verso la zona a Est del complesso.

La scansione laser è stata effettuata completamente sia per gli ambienti interni sia per gli spazi esterni, in modo tale da ottenere un modello esaustivo che si possa utilizzare a seconda delle esigenze, le quali vanno dall'analisi geometrica-architettonica, fessurativa, fino a quella strutturale.



Figura 4.3.5. Svolgimento equirettangolare della Chiesa.

A tal fine sono state eseguite 101 scansioni dell'intero complesso fra interno e esterno, posizionate a diverse angolazioni così da riuscire a riprodurre tutto il manufatto. Di seguito la tabella riassuntiva del rilievo laser scanner.

Strumento utilizzato: LASER SCANNER 3D LEICA P40						
Luogo: chiesa San Francesco, Via N. Sauro, Amandola (FM)						
Tipologia edificio: chiesa in muratura e convento		Data: 21-22/06/2018		Ore di lavoro: 8+8		
		n. operatori: 2		Temperatura: 30°C Umidità: 20%		
n. scansioni	Scansioni Int./Est.	Tempo di scansione	Target	Qualità di scansione	Densità di campionamento	Spaziatura fra i punti (mm)
101	68/33	3'30"	No	High	High	3.1 mm a 10m



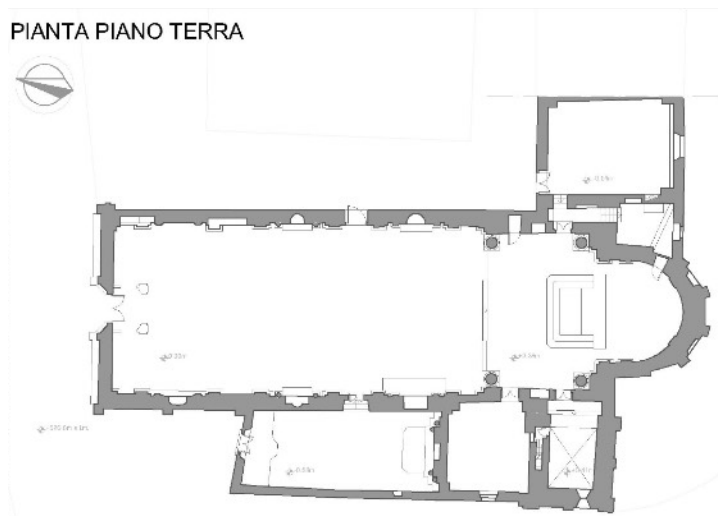
A questo punto, dopo le varie rielaborazioni, si passa alla rappresentazione architettonica della Chiesa di San Francesco, decidendo di restituire in scala 1:100 (Vedi: Appendice: Elaborati del rilievo):

- la pianta del piano terra secondo una sezione orizzontale che consentisse di graficizzare opportunamente lo stato attuale;
- i quattro prospetti per capire la geometria dei volumi che compongono il manufatto e osservare gli eventuali spostamenti;
- tre sezioni significative, una longitudinale secondo l'asse ortogonale centrale al piano della facciata, due trasversali una verso l'abside e una verso l'ingresso per studiare lo spazio interno e gli allineamenti verticali.

La restituzione grafica è stata ottenuta lavorando sui dati della nuvola di punti rilevata in data 21 giugno 2018, quindi dopo gli eventi sismici di agosto e ottobre 2016 e gennaio 2017. In un caso di studio come questo è essenziale riuscire a rilevare lo stato di fatto poiché il rilievo laser fornisce una base geometrica corretta e ricca di dati per ogni tipo di analisi utile ad una condizione di emergenza.

In questo tipo di situazioni, capita molto spesso di non riuscire a reperire le cartografie relative agli edifici, creando un rallentamento o addirittura una stasi nel processo di messa in sicurezza, a causa delle gestioni e delle priorità. Tuttavia, sezionando opportunamente la nuvola di punti, si possono ricavare i dati utili per la realizzazione del rilievo geometrico dell'intero edificio; l'intento è rendere pratica comune e diffusa questo sistema di rilevamento per rendere fluido il meccanismo della gestione delle fasi post.

Di seguito sono riportate le rappresentazioni della pianta, dei prospetti e sezioni (scala originale 1:100).





SEZIONE A-A



Figura 4.3.6. Sezione longitudinale: sovrapposizione tra rilievo e nuvola di punti.



Figura 4.3.7. Sezioni trasversali B-B e C-C: sovrapposizione fra rilievo e nuvola di punti.



Figura 4.3.8. Prospetto Nord: sovrapposizione fra rilievo e nuvola di punti.



Figura 4.3.9. Prospetto Sud: sovrapposizione fra rilievo e nuvola di punti.





Dopo la realizzazione del rilievo laser scanner, tecnica contemporanea di rilevamento (identificata con il colore ciano), risulta necessario effettuare un confronto con quello che si definisce rilievo tradizionale.

La situazione della Chiesa di San Francesco è quella di un edificio danneggiato dal sisma. In ognuno degli scenari di rilievo proposti si sono verificate le medesime difficoltà causate dalla situazione di emergenza; quindi a parità di condizioni, la domanda da porsi è la seguente: cosa sarebbe cambiato se si fosse usato il laser scanner 3D?

Il primo scenario vede a confronto il disegno bidimensionale della pianta della chiesa, ottenuto dalle slice estratte dalle scansioni e il disegno della pianta utilizzato dai tecnici del MIBACT per il rilievo speditivo, ottenuto da un rilievo risalente agli anni Novanta. Di seguito è riportata la sovrapposizione delle piante, in scala originaria 1:100.



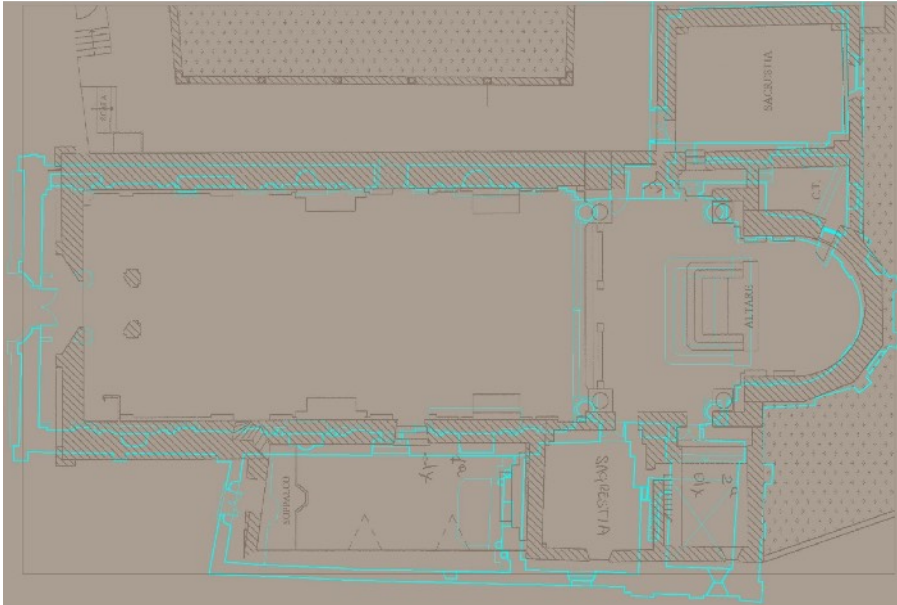
*Figura 4.3.10. Confronto fra rilievo tradizionale (sfondo color tortora) e rilievo laser Scan P40 Leica.*

La differenza fra i disegni è notevole. Si è fatto coincidere la geometria dell'abside poiché, in quell'area, è abbastanza simile. Sono rilevabili discordanze a livello geometrico, di spessore della muratura e di distribuzione degli spazi. Tuttavia, ai fini del rilievo speditivo, queste incongruenze non compromettono né l'attività dei tecnici che effettuano il lavoro né le loro scelte sul da farsi.

Il rilievo speditivo, come detto in precedenza, è un'attività strettamente legata all'emergenza con un gran livello di pericolo e per definire l'agibilità e le priorità di intervento occorre un'analisi visiva supportata da schemi grafici anche solo realizzati a mano.

Il secondo scenario è il confronto fra il rilievo laser scanner e il rilievo di secondo livello, definito di dettaglio, realizzato dai tecnici del MIBACT. Dal confronto emergono gli stessi risultati del precedente, in quanto la "pianta della tradizione" è la medesima del precedente rilievo.

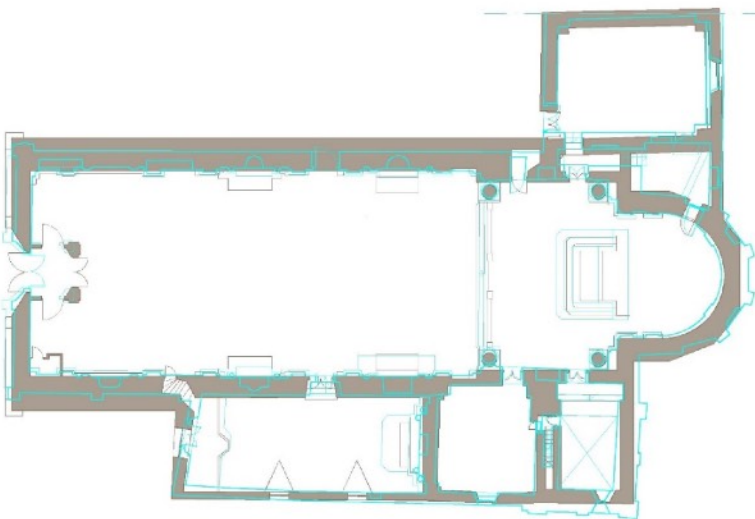
Nel rilievo di secondo livello è necessario fornire un dettaglio ben preciso di cosa è accaduto all'edificio, poiché in base al rilevamento si devono effettuare le valutazioni sui meccanismi di collasso e le attività di messa in sicurezza.



In questo caso, tenendo a mente che nella situazione post sisma è difficile operare in sicurezza, le discrepanze legate agli spessori della muratura e alla stessa geometria della pianta potrebbero aver determinato delle scelte incongruenti con lo stato di fatto.

Il laser, in questo scenario, ha fornito informazioni geometriche dello stato di fatto senza bisogno di cartografia storica: leggendo la pianta si individuano esattamente le fasi costruttive, con una precisione di 3.1 mm a 10 m. Fornisce una lettura dei meccanismi attivati dal sisma.

Il terzo scenario è quello che vede gli elaborati del rilievo fessurativo, realizzati a gennaio 2017, confrontati con il rilievo laser. In questo caso sono stati presi in considerazione i disegni geometrici ripuliti dal rilievo fessurativo, per ottenere un risposta più evidente sull'accuratezza dei rilievi geometrici.





Nello specifico, la pianta è più congrua rispetto alle precedenti, mostrando tuttavia dei punti contrastanti con lo stato di fatto, come spessore delle murature, aperture non presenti e distribuzione interna non aggiornata.

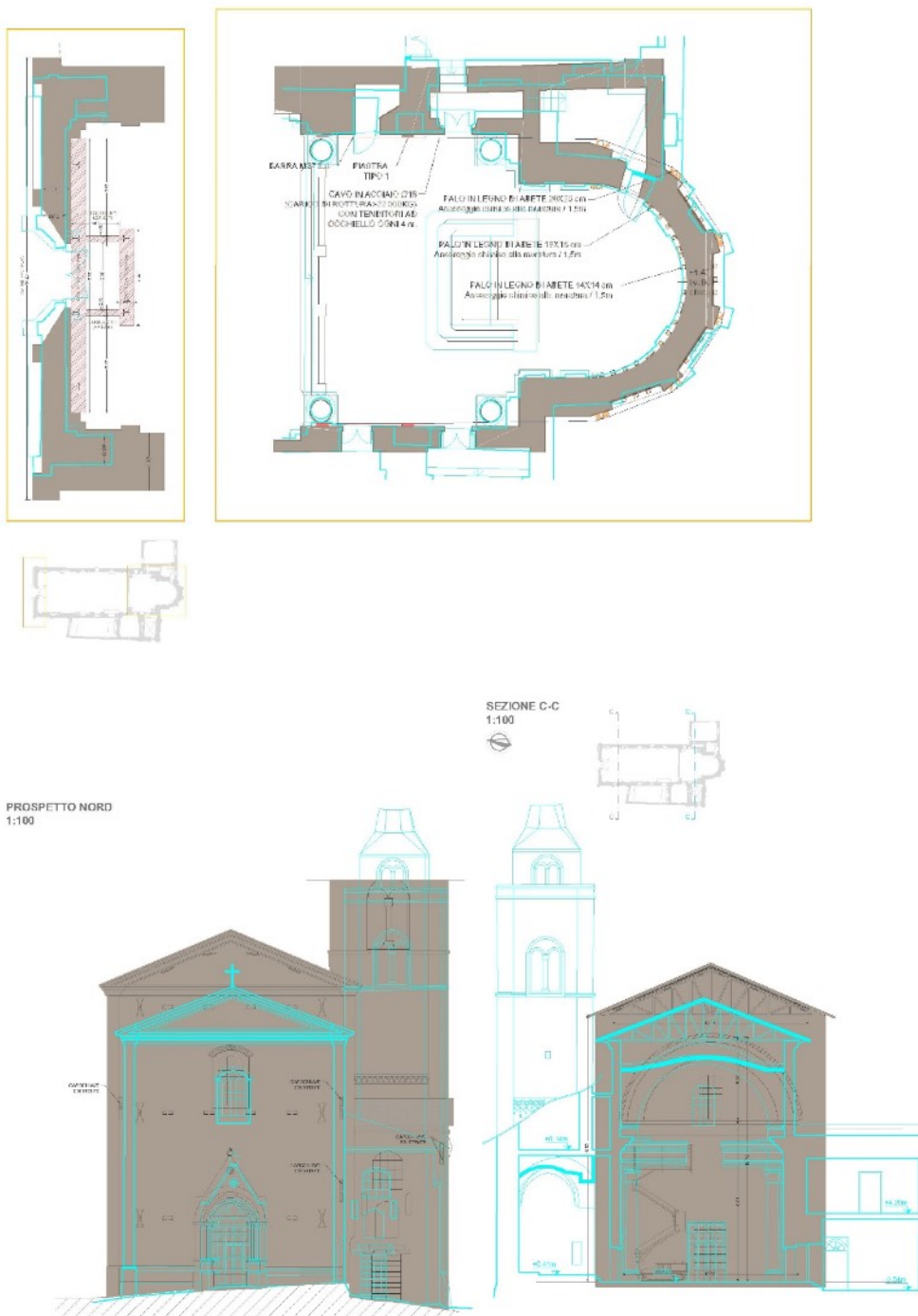
Osservando il prospetto Nord e la sezione B-B risultano discrepanze dell'altezza effettiva della facciata e dell'aula e della posizione della torre campanaria (quest'ultima probabilmente generata da un errore di disegno). Per quanto riguarda la larghezza e la posizione delle bucatore sia della chiesa sia della Cappella laterale di San Sebastiano si rileva una certa corrispondenza fra i rilievi.





In quest'ultimo prospetto sono evidenti le contraddizioni fra i due rilievi, dovute alla difficoltà di rilevare un edificio di dimensioni importanti. In questo caso l'uso di uno strumento come lo scanner 3D avrebbe riportato informazioni corrette riguardo alla geometria. Inoltre, il laser, fornendo informazioni di dettaglio molto accurate, avrebbe accelerato i tempi per la realizzazione del rilievo fessurativo, che sarebbe stata un'operazione di rilucidatura della nuvola di punti.

Infine nel quarto scenario viene proposto il confronto con gli elaborati della messa in sicurezza confrontati con il laser 3D.



Anche il confronto con gli elaborati della messa in sicurezza mette in evidenza forti discrepanze fra i rilievi. Nel particolare della facciata in pianta, ad esempio, emergono forti differenze nel dimensionamento della lunghezza (circa 1.5 m) e nello spessore della muratura (a Ovest di circa 0.98 m, a Nord di circa 0.17 m).

Per quanto riguarda i particolari dell'abside non sussistono gravi differenze. Tuttavia, osservando i prospetti e le sezioni sono evidenti le imprecisioni che riguardano le bucatore che non corrispondono e la differenza in altezza della facciata (di 2.81 m circa) e dell'aula.

In ogni caso il progetto della messa in sicurezza è stato realizzato; questo sta a significare che le imprecisioni negli elaborati non compromettono l'esecuzione dell'attività, ma potrà creare disagio agli addetti ai lavori ed un conseguente rallentamento dell'operazione.

Dal confronto degli scenari, rilievo tradizionale *versus* quello contemporaneo, si evince che le informazioni metriche nella tradizione sono approssimate, probabilmente acquisite con misurazioni dirette (dove possibile) e integrate da una lettura soggettiva dell'analisi fotografica. Inoltre, non bisogna dimenticare che il riferimento cartografico di questa documentazione risale agli anni Novanta, periodo in cui la tecnologia non permetteva ciò che oggi si dà per scontato. A causa di diversi fattori, compreso il fatto di non aver effettuato un rilievo geometrico recente e accurato, si è verificata un'amplificazione degli errori.

Le informazioni ottenute tramite i diversi metodi di rilevamento devono perseguire come fine il raggiungimento di elaborati geometrici bidimensionali e tridimensionali affidabili. "Ogni rilievo deve fondarsi su tre momenti fondamentali: 1. conoscenza geometrica dell'oggetto utile alla comprensione tecnico-costruttiva ai fini di un corretto intervento e stima di costi; 2. conoscenza relativa alle tecniche costruttive e alle condizioni di alterazione e degrado; 3. elaborazione tematica delle tavole di rilievo per la conoscenza dell'oggetto inteso come primo documento di sé stesso." (SGROSSO,1996).

I vantaggi delle tecniche di rilevamento "tradizionali" (diretto o strumentale) sono legati principalmente alla gestione controllata dell'intero processo di presa dei punti da rilevare. In questo modo si ottiene una coordinazione delle operazioni efficiente, poiché viene rilevato ciò che serve e con la dovuta accuratezza. Tuttavia l'operazione di rilievo avviene in tempi piuttosto dilatati, non essendo un processo automatizzato, e la gestione dipende completamente dall'operatore.



Per quanto riguarda il laser scanner, il vantaggio principale è nella nuvola di punti che genera un dato in output ricco di informazioni e versatile. Inoltre, i dati sono precisi, corretti e sono ottenuti con velocità, cosa che permette di poter lavorare immediatamente con notevole risparmio di tempo. Al momento l'unico svantaggio è legato al costo dell'attrezzatura che riguarda lo specifico strumento scanner e tutti i prodotti hardware e software di supporto e gestione per l'elaborazione della nuvola.

Entrambi i metodi sono efficaci e la scelta dell'uno rispetto all'altro deve essere il frutto ponderato di una valutazione incentrata sullo scopo del rilievo.

Riferendosi a situazioni di emergenza, come quella post sisma, caratterizzata da esigenze tempestive di salvaguardia delle persone, è doveroso optare per attività volte, in primis, alla sicurezza della vita umana e, in seguito, alla snellezza e scorrevolezza delle operazioni.

Il rilievo tradizionale dà certezze poiché il "toccare con mano" restituisce la sicurezza all'elaborato, ma implica diverse complicazioni durante l'emergenza, in termini di sicurezza, tempistica e accuratezza. In queste situazioni si deve lavorare velocemente e la velocità costituisce un fattore che inficia l'accuratezza. In questo senso la svolta è costituita dalla nuvola di punti e dai modelli derivati da essa che permettono una riorganizzazione delle procedure di acquisizione e restituzione sul piano temporale. Seguendo il rilievo laser scanner si possono tralasciare gli aspetti dell'analisi preventiva, come l'individuazione di punti salienti del manufatto, grazie all'acquisizione totale e precisa di punti architettonicamente indifferenti perché tutti determinanti a livello morfologico e compositivo. Mentre la restituzione è agevolata dall'insieme di punti collocati nello spazio in maniera affidabile a tal punto che gli elaborati si potrebbero assimilare a fotografie.

Nell'emergenza si può in pratica utilizzare "il modello digitale 3D come sostituto della situazione reale che si intende analizzare, per molti versi più proficuo della stessa realtà, ma anche come costruito che è possibile parzializzare per isolare problemi e formalizzare solo alcuni caratteri dell'opera in esame, eliminando l'intralcio di tutti gli altri; e come sostituto della situazione reale, utile per condurre prove letteralmente impossibili nella realtà, prove che lo stesso modello, tramite il linguaggio/i linguaggi di cui fa uso, contribuisce a proporre ed a convalidare" (DE SANCTIS, 2015).

Le "analisi e gli elaborati riguardanti il quadro fessurativo degli edifici esistenti vengono proficuamente utilizzati per l'individuazione del dissesto" (MENDITTO,

2010), sia per la conoscenza dello stato di fatto sia per uno studio dell'evoluzione dei fenomeni, come ad esempio in caso di terremoti. Anche se la valutazione degli aspetti è prettamente qualitativa e quantitativa, nelle situazioni di emergenza il quadro fessurativo ricopre un ruolo importante, in quanto da esso dipendono le valutazioni per la messa in sicurezza o gli eventuali monitoraggi.

“Nella definizione dei modelli strutturali necessari nella valutazione della sicurezza dell'opera, si dovrà considerare che sono conoscibili, con un livello di approfondimento che dipende dalla documentazione disponibile e dalla qualità ed estensione delle indagini che vengono svolte, le seguenti caratteristiche: la geometria e i particolari costruttivi; le proprietà meccaniche dei materiali e dei terreni; i carichi permanenti” (NTC, 2018). Questo a sostegno del fatto che ogni indagine, ogni rilevamento ha il suo valore se usato come strumento di conoscenza, considerando inoltre che “a quasi tre anni dal sisma...un nuovo allarme sui ritardi, le problematiche e le forti criticità stanno compromettendo le attività di ricostruzione e di messa in sicurezza dei territori” (CNAPP, 2019).

La messa in sicurezza e la gestione di tutte le operazioni al contorno riguardanti i beni architettonici devono prevedere una governance ben strutturata e non limitata al solo evento catastrofico.

Bisognerebbe partire a monte dell'emergenza, prevedendo in “tempo di pace” un monitoraggio sistematico dei beni immobili attuato con un rilevamento integrato image based e range based, a partire dal quale si potrebbe organizzare successivamente un database con tutta la documentazione. Questa metodologia e questi strumenti andrebbero a costituire una banca dati in cui raccogliere le opere di restauro e lo stato di conservazione, contenente una specifica sezione legata alle attività di messa in sicurezza generate dalle emergenze. Tale banca dati sarebbe condivisa con tutti gli organi chiamati a guidare il processo di ricostruzione post catastrofe. Inoltre, potrebbe contenere strategie legate alla valorizzazione dei Beni tramite l'utilizzo di dispositivi di realtà virtuale e immersiva mista. Un sistema strutturato in questo modo sicuramente non è di facile e immediata realizzazione e non risolve in toto i problemi legati a un evento catastrofico, ma nel caso della Chiesa di San Francesco, che ha una documentazione cartografica datata a causa di una gestione delle priorità, avrebbe permesso di avere immediatamente a disposizione una documentazione aggiornata e accurata da utilizzare come base affidabile dei sopralluoghi e della messa in sicurezza.

## CONCLUSIONI

---

In questo lavoro viene approfondita la metodologia di rilevamento finalizzata a ottenere rappresentazioni grafiche di dettaglio da attuare nei processi di rilievo durante situazioni di emergenza post sismica. Il processo di rilievo di un bene culturale danneggiato deve creare un'adeguata documentazione per passare alla fase successiva di realizzazione del progetto di messa in sicurezza, assicurando la salvaguardia delle persone e evitando ulteriori crolli.

Sono stati qui analizzati aspetti relativi alle correnti tecniche di rilevamento nel settore dei Beni Culturali, ponendo l'attenzione sulla fotogrammetria digitale e il laser a scansione terrestre. In particolare, sono stati approfonditi gli aspetti relativi all'acquisizione del dato metrico e alla rappresentazione, documentati nel caso di studio della Chiesa di San Francesco di Amandola.

La metodologia usata per il rilievo della chiesa ha posto in evidenza come il sistema integrato di acquisizione dei dati, effettuato con il laser scanner 3D e la tecnica Structure from Motion, realizza un modello versatile di informazioni consistente in una nuvola di punti.

Lo studio delle fonti estrapolate dal materiale dell'Archivio di Stato di Ascoli Piceno, del Segretariato Regionale del MiBACT e del Comune di Amandola ha permesso un'analisi approfondita e dettagliata da cui è emersa una serie di lacune metriche e geometriche per la rappresentazione e la conoscenza dello stesso. In particolare, considerando gli elaborati realizzati in precedenza sulla chiesa, si può ragionevolmente supporre che, a parità di strumentazione impiegata, i modelli risultano fittizi ed eccessivamente semplificati. Inoltre, il rilievo con metodo tradizionale di una struttura analoga richiederebbe un arco di tempo notevole: operatori che devono realizzare più stazionamenti per poter rilevare tutte le facciate dell'edificio; la complessità dell'edificio da gestire, compresi i particolari costruttivi ed architettonici presenti nello stesso; data l'altezza della chiesa, potrebbe anche essere necessario utilizzare un cestello elevatore per poter rilevare correttamente il tutto, comportando maggiori spese e tempistiche.

Per questi motivi si è reso necessario comparare la tecnologia TLS con i metodi tradizionali di rilievo. Si desume che la tecnologia laser scanner offra un risultato più immediato, completo e maggiormente preciso rispetto alla

strumentazione precedentemente adottata, in quanto permette di acquisire l'intera forma dell'edificio e l'immagine fotografica dettagliata della stessa scansione.

In sintesi, le principali diversità riscontrate tra rilievo laser scanner e quello tradizionale sono le seguenti: il laser misura, senza prisma riflettente, ogni elemento nella sua normalità; la velocità di acquisizione dei dati nel laser è molto maggiore, con un'informazione ricca di milioni di punti al secondo; il laser scanner, oltre ad acquisire le tre coordinate di posizione (X,Y,Z), è in grado di acquisire anche informazioni sul colore e sulla riflettanza dell'oggetto scansionato; inoltre, le condizioni d'illuminazione circostanti alla scena da rilevare sono assolutamente ininfluenti e l'output risultante dai dati acquisiti è uniforme.

Tuttavia, la mole di dati da gestire è notevole e necessita di un processo di elaborazione abbastanza impegnativo, anche se le possibilità offerte dagli odierni hardware e software permettono un'elaborazione veloce.

In questo lavoro di tesi sono stati utilizzati dati scansionati con una spaziatura fra i punti di 3.1 mm a 10 m; tale valore è risultato più che adeguato a garantire il livello di dettaglio minimo necessario per gli scopi del rilievo (come la quotatura delle varie parti dell'edificio), consentendo di ottenere un rilievo accurato in tempi ridotti (un giorno per la chiesa) e di conseguenza a minor costo. Dal rilievo con sistema laser scanner si può evincere che tale metodologia risulta essere più completa e precisa rispetto a quella tradizionale, consentendo una rielaborazione dei dati in un secondo momento rispetto alla campagna di rilievo. Tale rielaborazione avviene, tramite software appropriato, come Cyclone, ottenendo infine un rilievo 3D dell'oggetto di studio.

Attraverso questo metodo, quindi, sembra possibile verificare, utilizzando i dati laser acquisiti sul posto, delle ipotesi di danneggiamento che sono state fatte a seguito del sisma in modo speditivo e a vista, in genere eseguite nella prima fase di emergenza post sismica. I meccanismi di collasso del sisma, che si manifestano sulle fabbriche, creano lesioni e danni sistematici ricorrenti. Con le elaborazioni del TLS è possibile evidenziare anche minime variazioni rispetto al piano, permettendo la rilevazione dei meccanismi attivati con un confronto con il dato numerico e con dati oggettivi sempre disponibili.

La posticipazione della fase di elaborazione dei dati non mina la sicurezza dell'operatore, considerando la pericolosità dei luoghi colpiti dal sisma come il centro storico di Amandola. Il laser scanner 3D effettua un'acquisizione

automatica di elevata quantità di dati, consentendo tempi brevi di permanenza nei luoghi pericolosi.

Tale studio, ha individuato nella procedura di rilievo TLS i vantaggi nell'agevolazione e gestione dei sopralluoghi in zone colpite dai sismi, come Amandola, in quanto assicura una garanzia di elevatissima precisione nelle misure e di conseguenza la certezza di una congruità dello stato di fatto durante l'iter inerente al progetto di messa in sicurezza, potenzialmente abbreviandone i tempi di realizzazione.

Il rilievo laser mostra vantaggi di tipo pratico, essendo sostenibile, in tempi ridotti, mentre il rilievo tradizionale fonda la sua base su un contatto quasi romantico con il manufatto, ma che vede nella sua essenza il concetto di geometria. Lo si comprende solo praticandolo. L'importanza della rappresentazione manuale precisa e corretta è un valore che accresce praticandolo.

Oggi i software di disegno consentono rappresentazioni straordinarie dando per scontato l'essenza del rilievo stesso, che diventa un freddo riportare di informazioni utilizzate in maniera impropria, privilegiando un disegno pulito alla vera correttezza del rilievo.

Il laser scanner tridimensionale consente di rappresentare le geometrie in maniera perfetta e accurata con la valorizzazione di quello che oggi è si può definire il concetto di rilievo moderno e attuale.



## RINGRAZIAMENTI

---

A conclusione di questo lavoro, ci tengo a rivolgere un profondo e sentito ringraziamento al professor Paolo Clini e alla professoressa Ramona Quattrini, per l'opportunità di approfondimento tematico offerta, per il tempo prezioso che hanno messo a disposizione e il paziente supporto dimostrato dal punto di vista sia accademico-professionale sia umano. Ricordo ancora in maniera viva la passione trasmessa dal professor Clini per la Storia dell'Architettura, raccontata attraverso i suoi occhi durante quel primo giorno di lezione del lontano 2001 sulla Sagrada Familia.

Ognuno, a suo modo, ha contribuito a rendere possibile questo percorso, passo dopo passo.

Ringrazio enormemente l'ingegnere Renato Angeloni per la disponibilità in termini di ascolto, confronto e materiale fornito sulle tematiche affrontate in questo lavoro; l'ingegnere Romina Nespeca per la "straordinaria" e indispensabile lezione ad hoc; il professor Antonello Alici per tutti i consigli forniti che mi hanno guidato nel reperimento del materiale storico; il gruppo di ricerca interdipartimentale DiStoRi Heritage.

Ringrazio il compianto professor Gabriele Fangi, senza il quale non avrei potuto intraprendere e portare a termine questo percorso; a lui va il merito e la riconoscenza, tra le altre cose, per avermi trasmesso la passione per la Fotografia e la Fotogrammetria.

Un ulteriore ringraziamento è rivolto al Sindaco di Amandola, Adolfo Marinangeli, al personale del Segretariato Regionale del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali per le Marche di Ancona e dell'Archivio di Stato di Ascoli Piceno.

Impossibile non esprimere gratitudine verso tutti i colleghi universitari conosciuti negli anni che si sono dimostrati estremamente collaborativi e verso gli amici delle panche per la loro comprensione e il supporto.

Infine, il ringraziamento più grande, accorato e affettuoso va ai miei familiari più stretti, ai miei genitori, Peppe e Luigina, e a Diego, sempre presenti e pazienti nell'attesa di questo momento così importante e carico di significati e sfumature. Grazie per il solido sostegno e per aver creduto in me e nel mio potenziale.





## APPENDICE A

---

### A1. Elenco dei terremoti storici che hanno interessato il Comune di Amandola

L'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) ha istituito un database, consultabile sul sito web [https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query\\_place/](https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/), dove è possibile ricostruire la storia sismica dei Comuni italiani dall'anno 1000 fino al 2006.

Il database riporta per il Comune di Amandola i seguenti dati storici:




































- localizzazione di Amandola e relativo numero di eventi sismici (Tabella A1.1);
- terremoti che hanno colpito il territorio di Amandola dall'anno 1700 fino al 2006 (Tabella A1.2);
- diagramma dei terremoti e relativa intensità dal 1700 al 2006 (Tabella A1.3);
- localizzazione degli eventi sismici di maggiore magnitudo relativa all'area di interesse e per ente territoriale (Tabella A1.4 e Tabella A1.5).

Place ID	IT_52250
Comune (ISTAT 2015)	Amandola
Coordinate: latitudine longitudine	42.980 13.357
Provincia	Fermo
Regione	Marche
Numero eventi riportati	67

*Tabella A1.1. Localizzazione di Amandola e relativo numero di eventi sismici*

Tabella A1.2. Terremoti che hanno colpito il territorio di Amandola dall'anno 1700 fino al 2006.

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5	1703	01	14	18			Valnerina	197	11	6.92
7	1799	07	28	22	05		Appennino marchigiano	70	9	6.18
7	1873	03	12	20	04		Appennino marchigiano	196	8	5.85
4	1875	03	17	23	51		Costa romagnola	144	8	5.74
4	1893	08	02	00	59		Valnerina	84	5-6	4.55
3	1897	10	28	10	40		Fermano	25	4-5	4.16
4	1897	12	18	07	24	2	Alta Valtiberina	132	7	5.09
3	1899	04	21	00	57	5	Narni	45	4	3.96
3	1899	06	22	13	20		Corridonia	30	5	4.08
3-4	1900	08	10	04	28	1	Teramano	15	5	4.28
3	1904	06	20	01	24		Assisi	24	5	4.10
5-6	1904	09	02	11	21		Maceratese	59	5-6	4.63
NF	1905	12	09	21	41		Valle Umbra	42	5	4.24
3	1906	02	05	16	34		Valnerina	55	5	4.41
4	1907	01	23	00	25		Adriatico centrale	93	5	4.75
5	1908	03	17	03	59		Marche meridionali	54	5-6	4.61
NF	1909	08	25	00	22		Crete Senesi	259	7-8	5.34
3	1910	12	26	16	30		Monti della Laga	50	5-6	4.56
3	1911	02	19	07	18	3	Forlivese	181	7	5.26
6	1915	01	13	06	52	4	Marsica	1041	11	7.08
3	1915	03	15	11	23		Alta Valle del Chienti	24	7	4.97
5-6	1917	03	21	00	30		Monti Sibillini	21	5	4.44
6	1922	06	08	07	47		Valle del Chienti	47	6	4.73
5	1923	07	12	20	49		Marche meridionali	20	5	4.28
F	1936	12	09	07	34		Caldarola	31	6-7	4.76
6	1943	10	03	08	28	2	Ascolano	170	8	5.67
F	1950	09	05	04	08		Gran Sasso	386	8	5.69
5-6	1951	08	08	19	56		Gran Sasso	94	7	5.25
2	1964	08	02	10	40		Valnerina	25	6	4.53
5	1979	09	19	21	35	3	Valnerina	694	8-9	5.83
F	1980	02	28	21	04	4	Valnerina	146	6	4.97
NF	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04

5	 1984 04 29 05 02 5	Umbria settentrionale	709	7	5.62
6	 1986 10 13 05 10 0	Monti Sibillini	322	5-6	4.46
NF	 1987 09 04 16 42 4	Costa Marchigiana	75	6	4.66
NF	 1987 09 10 13 24 2	Costa Marchigiana	21		4.38
NF	 1989 09 11 02 46 2	Marche meridionali	60	5	4.04
4-5	 1991 11 12 21 45 5	Ascolano	19	5-6	3.54
NF	 1992 10 24 18 44 4	Monti della Laga	32	5	4.08
4-5	 1993 06 05 19 16 1	Valle del Topino	326	6	4.72
3-4	 1995 12 30 15 22 0	Fermano	106	5	4.19
4	 1996 01 01 12 21 4	Maceratese	91	5-6	4.20
4-5	 1996 01 22 18 37 4	Fermano	76	5	3.96
3-4	 1996 01 22 23 14 0	Maceratese	45	5	3.66
4	 1996 10 20 19 06 5	Appennino laziale-abruzzese	100	5	4.36
3	 1997 09 03 22 07 2	Appennino umbro-marchigiano	62	6	4.54
6	 1997 09 26 00 33 1	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
5-6	 1997 09 26 09 40 2	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
5	 1997 10 03 08 55 2	Appennino umbro-marchigiano	490		5.22
5-6	 1997 10 06 23 24 5	Appennino umbro-marchigiano	437		5.47
5	 1997 10 14 15 23 1	Valnerina	786		5.62
3-4	 1997 10 23 08 58 4	Appennino umbro-marchigiano	56		3.86
4-5	 1997 11 09 19 07 3	Valnerina	180		4.87
3-4	 1998 02 07 00 59 4	Appennino umbro-marchigiano	62		4.41
4-5	 1998 03 21 16 45 0	Appennino umbro-marchigiano	141		5.00
5	 1998 03 26 16 26 1	Appennino umbro-marchigiano	409		5.26
5	 1998 04 05 15 52 2	Appennino umbro-marchigiano	395		4.78
3-4	 1999 10 10 15 35 5	Alto Reatino	79	4-5	4.21
4-5	 1999 11 29 03 20 3	Monti della Laga	62	5-6	4.15
4	 2000 09 02 05 17 0	Appennino umbro-marchigiano	115	5	4.40
4-5	 2000 10 24 07 52 2	Monti Sibillini	65	5	4.11
3	 2003 05 25 17 15 1	Ascolano	88	4-5	3.81
3	 2004 12 09 02 44 2	Teramano	213	5	4.09
4	 2005 04 12 00 31 5	Maceratese	131	4	3.74
2-3	 2005 12 15 13 28 3	Val Nerina	350	5	4.14
4-5	 2006 04 10 19 03 3	Maceratese	211	5	4.06
3	 2006 10 21 07 04 1	Anconetano	287	5	4.21



## **A2. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) realizzata dal comune di Amandola**

La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) è il risultato finale delle indagini di Microzonazione Sismica di Livello 1 integrate con i dati raccolti dalle Indagini di Microzonazione Sismica di Livello 3 ed è ricavata dalla sintesi di tutti i dati raccolti e descritti negli elaborati precedenti. L'obiettivo è di individuare, all'interno del territorio comunale, aree omogenee per caratteristiche geologiche, stratigrafiche, geomorfologiche e geomeccaniche, in base alle quali è possibile ipotizzare un analogo comportamento di risposta a fenomeni di amplificazione locale indotta dal sisma (quali, ad esempio, amplificazione del moto, induzione e riattivazione di frane e altri dissesti, liquefazione dei terreni, cedimenti differenziali, ecc.).

In generale le informazioni rappresentabili sulla Carta MOPS possono essere così distinte:

- "zone stabili", nelle quali non si prevedono effetti locali significativi, poiché caratterizzate da substrato geologico rigido ( $V_s \geq 800$  m/s) in affioramento e morfologie pianeggianti o con inclinazioni  $< 15^\circ$ ;
- "zone stabili suscettibili di amplificazioni locali", nelle quali si prevedono amplificazioni del moto sismico legato al particolare assetto litostratigrafico e morfologico;
- "zone suscettibili di instabilità" nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio.

Tra le "zone suscettibili di instabilità" si riconoscono, in particolare:

- "zone suscettibili di instabilità di versante", sia attiva che passiva;
- "zone suscettibili di instabilità per liquefazione" di tipo 1;
- "zone suscettibili di instabilità per cedimenti differenziali, crollo di cavità, sinkhole.

Nell'area in esame è stata riscontrata la presenza di un substrato rigido ( $V_s \geq 800$  m/s), pertanto sono state cartografate sia "zone stabili suscettibili di amplificazioni locali" sia "zone di attenzione per instabilità".

Per quanto riguarda le "zone stabili suscettibili di amplificazioni locali", che sono quelle predominanti all'interno dell'area studiata, sono state individuate complessivamente le seguenti tipologie di zone così denominate e descritte:

- ZONA 1: Substrato lapideo stratificato (LPS) con  $V_s < 800$  m/s
- ZONA 2: Alternanza di litotipi stratificati (ALS) con  $V_s < 800$  m/s
- ZONA 4: Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità (ML) con spessore variabile fra 3 e 10 m su substrato lapideo stratificato (LPS) con  $V_s < 800$  m/s
- ZONA 6: Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità (ML) con spessore variabile tra 3 e 15 m su substrato composto da Alternanza di litotipi stratificati (ALS) con  $V_s < 800$  m/s
- ZONA 7: Sabbie limose, miscela di sabbia e limo (SM) con spessore variabile fra 3 e 10 m su substrato composto da Alternanza di litotipi stratificati (ALS) con  $V_s < 800$  m/s
- ZONA 8: Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (GM) con spessore variabile tra 3 e 15 m su substrato composto da Alternanza di litotipi stratificati (ALS) con  $V_s < 800$  m/s
- ZONA 10: Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (GM) con spessore variabile tra 3 e 32 m su substrato lapideo stratificato (LPS) con  $V_s < 800$  m/s
- ZONA 11: Sabbie limose, miscela di sabbia e limo (SM) con spessore variabile tra 3 e 15 m su substrato lapideo stratificato (LPS) con  $V_s < 800$  m/s
- ZONA 12: Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità (ML) con spessore variabile tra 3 e 10 m su substrato lapideo stratificato (LPS) con  $V_s < 800$  m/s
- ZONA 13: Terreni contenenti resti di attività antropica (RI) con spessore variabile compreso tra 3 e 10 m su Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (GM) con spessore variabile tra 3 e 10 m su substrato costituito da Alternanza di litotipi stratificati (ALS) con  $V_s < 800$  m/s
- ZONA 14: Terreni contenenti resti di attività antropica (RI) con spessore variabile compreso tra 3 e 10 m su substrato lapideo stratificato (LPS) con  $V_s < 800$  m/s

- ZONA 18: Sabbie limose, miscela di sabbia e limo (SM) con spessore variabile tra 3 e 10 m su substrato lapideo stratificato (LPS) con  $V_s > 800$  m/s

Riguardo alle zone instabili, la cui definizione è stata individuata in "zone di attenzione per instabilità", sono predominanti nell'area della frazione di Garula Superiore. L'area instabile è individuata complessivamente in una tipologia di zona di seguito descritta come "zona di attenzione per instabilità di versante di tipo colata quiescente", denominata ZONA 17 in cui vediamo la presenza di sabbie limose, miscela di sabbia e limo (SM) con spessore variabile tra 10 e 15 m su substrato lapideo stratificato (LPS) con  $V_s > 800$  m/s.

In questa zona, tuttavia, sono state individuate a sua volta delle sotto-aree:

- Aree soggette al fenomeno della liquefazione (ZALQ1 e ZALQ2), nelle quali la liquefazione è un fenomeno che interessa i depositi sabbiosi saturi per effetto di un rapido e significativo aumento della pressione interstiziale; in tali condizioni i terreni sabbiosi non-cementati attingono valori nulli o estremamente modesti della resistenza al taglio trasformandosi di fatto in un liquido. L'aumento della pressione interstiziale può essere indotto da fenomeni di filtrazione o da un forte evento sismico, ma nelle aree oggetto di studio non sono presenti terreni liquefacibili che al contrario mostrano una natura eterogenea dei sedimenti alluvionali di origine ghiaiosa.
- Faglie attive e capaci nell'area in esame e nel suo intorno significativo. Il rilevamento effettuato, i dati bibliografici reperiti (Carg), il catalogo delle Faglie Capaci del progetto ITHACA dell'ISPRA hanno evidenziato l'assenza di faglie attive ovvero ritenute in grado di produrre una rottura in superficie del terreno con dislocazione istantanea, cosismica, verticale e/o orizzontale giacente su uno o più piani di taglio.
- Cedimenti differenziali non sono stati individuati e quindi non riportati in cartografia per l'esigua estensione non rappresentabile a questa scala di utilizzo.

### **A3. Ere geologiche e analisi geologica stratigrafica di Amandola**

L'unità della copertura e del substrato geologico, classificati secondo il Progetto CAR.G. (CARTografia Geologica) Marche, mostrano dei caratteri litologici principali di seguito esplicitati. La Carta delle Indagini e quella Geologico-

Tecnica, su base cartografica del P.R.G. del Comune di Amandola, raccolgono i dati utili alla definizione di un modello di sottosuolo funzionale alla realizzazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica.

ERA	PERIODO	Mil. anni	PRINCIPALI EVENTI
PREZOICO		4600	Formazione della crosta terrestre (rocce delle isole di S. Pietro e Paolo)
ARCHEOZOICO		3600	Primi fossili attribuibili a Batteri ( <i>Eobacterium</i> ) Stromatoliti; rocce contenenti idrocarburi
CIANOZOICO		2500	Era dei Cianobatteri. Progressiva formazione atmosfera. O <sub>2</sub> pari al 0,2%.
PROTEROZOICO		1600	Era dei primi Eucarioti. Termina con una grande glaciazione.
PALEOZOICO	Cambriano	590	Clima caldo uniforme. Stromatoliti abbondanti. Cloroficee sifonate, abbondanti fossili marini
	Ordoviciano	505	Clima caldo temperato. Ossigeno atmosferico a 2%. Alghe monocell. Primi vertebrati.
	Siluriano	440	Clima temperato. Prime feoficee. Dal Siluriano medio prime piante vascolari. Primi animali terrestri
	Devoniano	410	Formazione di mari interni. Primi fossili di semi. Primi insetti apteri. Compaiono gli anfibi.
	Carbonifero	360	Clima caldo umido. Pangea. Foreste di Calamitali. Pteridosperme. Compaiono gli insetti alati.
MESOZOICO	Permiano	285	Clima freddo e arido. Gimnosperme dominano su Pteridofite. Prob. origine Angiosperme.
	Triassico	250	<i>Sanmiguelia</i> . Abbondanza di Ginkgofite. Primi mammiferi; dinosauri e rettili volanti.
	Giurassico	215	Formaz. Oceano Ataltico. Dominano le Cicadofite Massimo sviluppo rettili giganti. Uccelli.
CENOZOICO	Cretaceo	145	Sviluppo Angiosperme. Abbondanti teleostei. Sviluppo mammiferi. Estinzione grandi rettili.
	Paleocene	65	Orogenesi alpina. Flora intorno alla Tetide: Laurifille Diversificazione dei Mammiferi
	Eocene	58	Clima tropicale in Europa. Riduzione Cicadali. Primo fossile di <i>Compositae</i> e di <i>Graminee</i> .
	Oligocene	27	Clima sub-tropicale in Europa centro-sett. Diffusione <i>Graminee</i> . Sviluppo caducifoglie.
	Miocene	24	Prosciugamento del Mediterraneo. Flora di sclerofille. Ingresso flora steppica.
NEOZOICO o QUATERNARIO	Pliocene	5	Raffreddamento generalizzato. Riempimento Mediterraneo. Flora di deserti steppa e savana.
	Pleistocene	2	Successione di glaciazioni. Immigrazione di specie artiche. Nascono Etna e Eolie.
	Olocene	0,01	Piccole glaciazioni. Azione dell'uomo sulla vegetazione: diffusione di specie sinantropiche.

Tabella A3.1\_Ere geologiche e principali eventi che le hanno caratterizzate (Fonte: [www.dinoblog.it](http://www.dinoblog.it)).

Per quanto riguarda l'unità di copertura sono presenti depositi di origine continentale in tutto il territorio comunale. I processi alluvionali antichi del Fiume Tenna e dei Torrenti Lera e Vetremasto, risalenti al Pleistocene medio-superiore e Olocene, e i processi di disgregazione e risedimentazione dei terreni costituenti il substrato hanno portato alla formazione di depositi continentali.

Nel territorio di Amandola vediamo i seguenti depositi continentali andando dai più recenti a quelli più antichi.

- Depositi gravitativi (MUSa1): prevalentemente sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi con talora trovanti arenacei e calcarei di spessore variabile; possono trovarsi lungo i pendii in funzione della morfologia del suolo e dell'acclività dei versanti; inoltre sono terreni mobilitati e/o rimaneggiati a seguito di movimenti gravitativi in atto oppure quiescenti.



- Depositi eluvio-colluviali (MUSb2): sono limi sabbiosi, sabbie limose e limi argillosi con elementi marnosi, arenacei e ghiaiosi anche in relazione al bacino di alimentazione; sono di spessore variabile e si trovano lungo i versanti e all'interno di piccole valli.
- Depositi alluvionali attuali (MUSb): sono sedimenti sciolti grossolani di natura calcarea e subordinatamente silicea ed arenacea in matrice sabbiosa; sono di spessore variabile ed estensione limitata che nel tempo subiscono variazioni in base alle portate fluviali e si collocano principalmente lungo il talweg attuale del Fiume Tenna.
- Depositi alluvionali antichi - terrazzi del II ordine e III ordine (ACbn3 - MTIbn); all'interno del territorio comunale di Amandola si distinguono i depositi alluvionali terrazzati del Fiume Tenna, del Torrente Lera e del Torrente Vetremastro, i quali si collocano a quote differenti formando tre ordini principali di terrazzi. Questi depositi variano di spessore da pochi metri fino a 20-30 m.
  - I terrazzi del II ordine, databili nel Pleistocene medio-sommitale, appartengono al Supersistema di Colle Ulivo (ACbn3) e sono costituiti prevalentemente da ciottoli poligenici a granulometria variabile immersi in matrice limoso-sabbiosa.
  - I terrazzi del III ordine, appartenenti al Pleistocene superiore, sono riconducibili al sistema di Matelica e si distinguono dai precedenti poiché affiorano a quote topografiche minori; la composizione litologica è prevalentemente calcarea e le caratteristiche tessiturali sono simili a quelle dei terrazzi del II ordine.
- Depositi alluvionali antichi - terrazzi del I ordine (URSbn2): sono terrazzi alluvionali localizzabili a quote superiori ai 500 m s.l.m. nel centro abitato del Comune di Amandola, prevalentemente sui colli Agello, Castel Leone e Marubbione. Il loro spessore è dell'ordine di decine di metri e sono costituiti da ciottoli calcarei arrotondati di piccola misura, centimetri e decimetri, immersi in una matrice sabbiosa-limosa cementata. Si possono trovare lenti e/o livelli a frazione limosa collocati a differenti profondità. Il centro storico di Amandola è costruito su questo tipo di depositi.

L'unità del substrato che riguarda la Successione Umbro-Marchigiana-Romagnola vede la composizione nelle seguenti formazioni.

- Formazione a Colombacci (FCO): è costituita prevalentemente da sedimenti argillosi e argilloso-siltosi di colore grigio o nerastro, in strati sottili; in essa si

rinvengono strati calcareo-micritici biancastri, dello spessore di pochi centimetri, di origine chimica ("colombacci") e livelli di marne nerastre. A più altezze stratigrafiche sono presenti corpi costituiti dalle associazioni pelitico-arenacea, arenaceo-pelitica e arenacea, a luoghi canalizzati, con contatti basali erosive fenomeni di amalgamazione. Tale formazione è riconducibile al Messiniano p.p..

- Formazione della Laga - Membro Postevaporitico (LAG3): è costituito da una litofacies pelitico-arenacea (LAG3e) caratterizzata da peliti grigie con rare intercalazioni di strati arenacei a spessore variabile. Nella parte alta è presente il livello guida vulcanoclastico. Intercalate a varie altezze stratigrafiche si rinvengono litofacies arenacee (LAG3c) e arenaceo-pelitiche (LAG3d). Tale formazione è riconducibile al Messiniano p.p..
- Formazione della Laga - Membro Evaporitico (LAG2): è costituito da prevalente litofacies arenacea (LAG2c). Trattasi di arenarie da medio - grossolane a fini scarsamente cementate con stratificazione da molto spessa a media con talora sottili livelli pelitici. A luoghi sono presenti sottili interstrati discontinui di gessi ricristallizzati. Oltre alla litofacies arenacea sono presenti la litofacies arenaceo-pelitica (LAG2d) e pelitico-arenacea (LAG2e) distinguibili per il differente rapporto sabbia/argilla che risulta maggiore di uno per la litofacies arenaceo-pelitica. All'interno di questa formazione è presente il livello gessarenitico (g). (Messiniano p.p.).
- Formazione della Laga - Membro Preevaporitico (LAG1): questo membro è molto simile al membro evaporitico da cui si differenzia principalmente per il maggior spessore degli strati arenacei in particolare nella litofacies arenacea (LAG1c). Anche in questo caso sono state distinte la litofacies arenaceo-pelitica a grandi banconi (LAG1b), la litofacies arenaceo-pelitica (LAG1d) e pelitico-arenacea (LAG1e) appartenente al Messiniano p.p..
- Marne con Cerroghna (CRR): questo substrato geologico è costituito da marne calcaree e marne emipelagiche grigio-azzurre. All'interno si rinvengono intercalazioni di torbiditi calcaree. Questa formazione geologica è riconducibile al Burdigaliano superiore p.p.-Tortoniano medio.
- Bisciario (BIS): questo substrato geologico è costituito da calcari, calcari silicei e calcari marnosi con selce nerastra e frequenti livelli vulcanoderivati. Questa formazione geologica è riconducibile all'Aquitano superiore p.p.-Burdigaliano superiore p.p.

# APPENDICE B

## B1. Scheda di I livello per il rilievo del danno ai beni culturali - chiese (A-DC) del 02/09/2016: Chiesa di San Francesco

  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE

VAB   
Ministero  
per i Beni e le Attività Culturali

GRUPPO DI LAVORO PER LA SALVAGUARDIA E LA PREVENZIONE DEI BENI CULTURALI DAI RISCHI NATURALI



SISMA

EMERGENZA POST-SISMA

### SCHEDA PER IL RILIEVO DEL DANNO AI BENI CULTURALI - CHIESE

MODELLO A - DC

Prima sezione

A<sub>1</sub>

Data	02/09/2016	N° progressivo	___	N° Scheda	___
<small>(a cura dell'ufficio)</small>					

A<sub>2</sub> - RIFERIMENTO VERTICALE

Bene complesso	<input checked="" type="radio"/>	Bene individuo	<input type="radio"/>
Denominazione bene complesso:	CHIESA E CONVENTO SAN FRANCESCO		
Numero schede beni componenti	___	Codice livello superiore	___
Tipologia	<input checked="" type="checkbox"/> chiesa	<input type="checkbox"/> canonica	<input type="checkbox"/> palazzo
	<input type="checkbox"/> castello	<input type="checkbox"/> torre	<input type="checkbox"/> bene archeologico
	<input type="checkbox"/> altro		
Pianta	<input checked="" type="radio"/> regolare	<input type="radio"/> con cortili	<input type="radio"/> ad ali aperte
	<input type="radio"/> lineare	<input type="radio"/> altro	

A<sub>3</sub> - LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICO AMMINISTRATIVA

Regione	Umbria	Codice Istat comune	___	Indirizzo	___
Provincia	Fermo		___	1 <input type="radio"/> via	___
Comune	Amanteola		___	2 <input type="radio"/> corso	___
Località	Centro storico		___	3 <input type="radio"/> vicolo	___
			___	4 <input type="radio"/> piazza	___
			___	5 <input type="radio"/> località	___
Sezione censuaria	___	N° complesso o aggregato	___	num. civico	___
Foglio	___	Data	___	N° edificio	___
	___	Particelle	___	Sub.	___

A<sub>4</sub> - COORDINATE UTM

Quadrante	___	Longitudine Est (x)	___° ___'	Latitudine Nord (y)	___° ___'	<input type="radio"/> Lettura GPS
-----------	-----	---------------------	-----------	---------------------	-----------	-----------------------------------

A<sub>5</sub> - OGGETTO

Denominazione bene:	CHIESA E CONVENTO SAN FRANCESCO				
Denominazione storica:	___				
Datazione: anno	___	secolo	___	epoca	___
	Ultima trasformazione				___
Proprietà:	COMUNE				___
Utilizzatore:	COMUNE				___

**A<sub>6</sub> - DESTINAZIONE D'USO ATTUALE**

Uso	Utilizzazione temporale			Affollamento
	Continuo	Saltuario	Non utilizzato	
Cattedrale / Duomo <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Chiesa parrocchiale <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Oratorio <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Santuario <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Museo <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Auditorium <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Servizi <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Altro <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>

**A<sub>7</sub> - CARATTERISTICHE DEL SITO**

In piano  Su rilievo / su cresta / su vetta  Su riporto  In pendio / su versante  Avvallamento

**A<sub>8</sub> - CONTESTO URBANO E POSIZIONE**

Centro urbano  Periferia urbana  Area industriale - commerciale  Area agricola  Centro storico

Isolata  Connessa con altri edifici  su 14 lati Altro

**A<sub>9</sub> - INFRASTRUTTURE**

Accesso pedonale <input checked="" type="checkbox"/>	Rete viaria idonea in relazione al rischio <input type="checkbox"/>
Accesso carrabile <input checked="" type="checkbox"/>	Parcheggio nelle vicinanze <input checked="" type="checkbox"/>
Accesso con altezza inferiore a 4 metri <input type="checkbox"/>	Spazi aperti a disposizione <input checked="" type="checkbox"/>
Accesso con mezzi pesanti <input type="checkbox"/>	Altro <input type="checkbox"/>

**A<sub>10</sub> - PRESENZA DI RISCHIO**

	RILEVAZIONE DIRETTA	INFORMAZIONI ACQUISITE
Insedimento minacciato da frana <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Insedimento in zona alluvionabile <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Insedimento soggetto a minacce di tipo industriale <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Insedimento soggetto ad altre minacce naturali <input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**A<sub>11</sub> - TIPOLOGIA DEI BENI ARTISTICI PRESENTI**

TIPOLOGIA	Num.	superficie	TIPOLOGIA	Num.	superficie
Affreschi <input type="checkbox"/>	<u>11</u>	<u>111</u>	Dipinti mobili su vario supporto <input checked="" type="checkbox"/>	<u>11</u>	<u>111</u>
Mosaici <input type="checkbox"/>	<u>11</u>	<u>111</u>	Arredi (soffitti, amboni, pulpito, stali corali) <input checked="" type="checkbox"/>	<u>11</u>	<u>111</u>
Stucchi <input type="checkbox"/>	<u>11</u>	<u>111</u>	Decorazioni plastiche mobili <input type="checkbox"/>	<u>11</u>	<u>111</u>
Arazzi <input type="checkbox"/>	<u>11</u>	<u>111</u>	Manufatti in carta e pergamena <input type="checkbox"/>	<u>11</u>	<u>111</u>
Altari / statue <input checked="" type="checkbox"/>	<u>11</u>	<u>111</u>	Reperti archeologici <input type="checkbox"/>	<u>11</u>	<u>111</u>
Libri / Stampe <input type="checkbox"/>	<u>11</u>	<u>111</u>	Altri <u>CONSERVATI</u> <input checked="" type="checkbox"/>	<u>11</u>	<u>111</u>

A<sub>12</sub> - DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA - Realizzata da BARIGELI EMANUELE  SI  NO

**A<sub>13</sub> - COMPILATORE SCHEDA**

Cognome MAZZOLI Nome ALBERTO  
 Ente/ufficio di appartenenza SOPRINTENDENZA SABIAF MAR  
 E-Mail alberto.mazzoli@beniculturali.it



14	CUPOLA - TAMBURO/TIBURIO	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLA CUPOLA (AD ARCO) CON EVENTUALE PROSECUZIONE NEL TAMBURO	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
15	LANTERNA	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NEL CUPOLINO DELLA LANTERNA - ROTAZIONI O SCORRIMENTI DEI PIEDRITTI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
16	RIBALTAMENTO DELL'ABSIDE	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI VERTICALI O ARCUATE NELLE PARETI DELL'ABSIDE - LESIONI VERTICALI NEGLI ABSIDI POLIGONALI - LESIONE AD U NEGLI ABSIDI SEMICIRCOLARI	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
17	MECCANISMI DI TAGLIO NEL PRESBITERIO O NELL'ABSIDE	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI INCLINATE (SINGOLE O INCROCIATE) - LESIONI IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITÀ MURARIE	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
18	VOLTE DEL PRESBITERIO O DELL'ABSIDE	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONI DAGLI ARCONI O DALLE PARETI LATERALI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
19	MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA - PARETI LATERALI DELL'AULA	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI VICINE ALLE TESTE DELLE TRAVI LIGNEE, SCORRIMENTO DELLE STESSE - SCONNESSIONI TRA CORDOLI E MURATURA - MOVIMENTI SIGNIFICATIVI DEL MANTO DI COPERTURA	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
20	MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA - TRANSETTO	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI VICINE ALLE TESTE DELLE TRAVI LIGNEE, SCORRIMENTO DELLE STESSE - SCONNESSIONI TRA I CORDOLI E MURATURA - MOVIMENTI SIGNIFICATIVI DEL MANTO DI COPERTURA	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
21	MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA - ABSIDE E PRESBITERIO	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI VICINE ALLE TESTE DELLE TRAVI LIGNEE, SCORRIMENTO DELLE STESSE - SCONNESSIONI TRA I CORDOLI E MURATURA - MOVIMENTI SIGNIFICATIVI DEL MANTO DI COPERTURA	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
22	RIBALTAMENTO DELLE CAPPELLE	<input type="checkbox"/>
danno	DISTACCO DELLA PARETE FRONTALE DALLE PARETI LATERALI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
23	MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI DELLE CAPPELLE	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI INCLINATE (SINGOLE O INCROCIATE) - LESIONI IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITÀ MURARIE	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
24	VOLTE DELLE CAPPELLE	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONI DALLE PARETI LATERALI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
25	INTERAZIONI IN PROSSIMITÀ DI IRREGOLARITÀ PLANO-ALTIMETRICHE (CORPI ADIACENTI, ARCHI RAMPANTI)	<input type="checkbox"/>
danno	MOVIMENTO IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITÀ COSTRUTTIVE - LESIONI NELLA MURATURA PER MARTELLAMENTO	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
26	AGGETTI (VELA, GUGLIE, PINNACOLI, STATUE)	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	EVIDENZA DI ROTAZIONI PERMANENTI O SCORRIMENTO - LESIONI	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
27	TORRE CAMPANARIA	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI VICINO ALLO STACCO DAL CORPO DELLA CHIESA - LESIONI A TAGLIO O SCORRIMENTO - LESIONI VERTICALI O ARCUATE (ESPULSIONE DI UNO O PIÙ ANGOLI)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
28	CELLA CAMPANARIA	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI NEGLI ARCHI - ROTAZIONI O SCORRIMENTI DEI PIEDRITTI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

A<sub>17</sub> - INDICE DI DANNO

n = 14 (numero dei meccanismi possibili) d = 24 (punteggio totale di danno)  $i_d = d / 5n = 0,34$



**A22 - DESCRIZIONE E STIMA SOMMARIA DELLE OPERE NECESSARIE**

**A22.1 - Descrizione opere di ripristino strutturale (nuovi danni e danni progressi aggravati)**

.....

.....

**STIMA DEL COSTO PER IL RIPRISTINO STRUTTURALE**

€      \_ \_ \_ \_ \_ ,00

**A22.2 - Descrizione opere di finitura, impiantistica e miglioramento sismico collegate**

.....

.....

**STIMA DEL COSTO OPERE FINITURA IMPIANTISTICA E MIGLIORAMENTO SISMICO**

€      \_ \_ \_ \_ \_ ,00

**A22.3 - Descrizione opere di pronto intervento (eventualmente indicare anche il costo del P.I. "a finire")**

.....

.....

**STIMA DEL COSTO OPERE DI PRONTO INTERVENTO**

€      \_ \_ \_ \_ \_ ,00

**A23 - NOTE**

Indicare, eventualmente, altri danni non rilevabili dalla scheda (es. solai di calpestio, pavimentazioni ecc.)

PRESENZA DI US 3 QUADRI, US 6 CROCEVIERI e  
 US 8 CROCEVIERI LIQUEO -  
 IL MUNICIPIO DI BENEVENTO HA NIDI DI DANNI  
 I BENI DA PORRE IN SICUREZZA IN ADOZIONE  
 DEPOSITO DA VERIFICARE SUCCESSIVAMENTE  
 INTERVENTI DI FONTELLAMENTO E TRASFERRIMENTO  
 ESEGUITI, CON LA PROPRIETA' SI SONO CONCORDATI  
 ULTERIORI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA  
 DA ESEGUIRE -

**A24 - DATI DIMENSIONALI ( stimati ● rilevati ○ )**

	Larghezza	Lunghezza	Superficie	Altezza media
Aula (compresi navate, cappelle, transetti)	mt. ● 111	mt. ○ 311	mq. ● 3411	mt. _ _ _
Abside	mt. ● 66	mt. ● 28	mq. 1848	mt. _ _ _
Facciata principale	mt. ● 15	Altezza mt. _ _ _	Superficie mq. _ _ _	
Campanile	mt. ● 15	Lunghezza mt. _ _ 6		Altezza mt. _ _ _
Coperture chiesa	Larghezza mt. ● 14	Lunghezza mt. ● 319	Superficie mq. 5416	Altezza massima mt. _ _ _



**A<sub>26</sub> - ELABORATI GRAFICI** (piante, sezioni, prospetti, illustrazione di disegni particolari, allegare eventualmente fotocopia)

**A<sub>26</sub> - DOCUMENTAZIONE ALLEGATA**

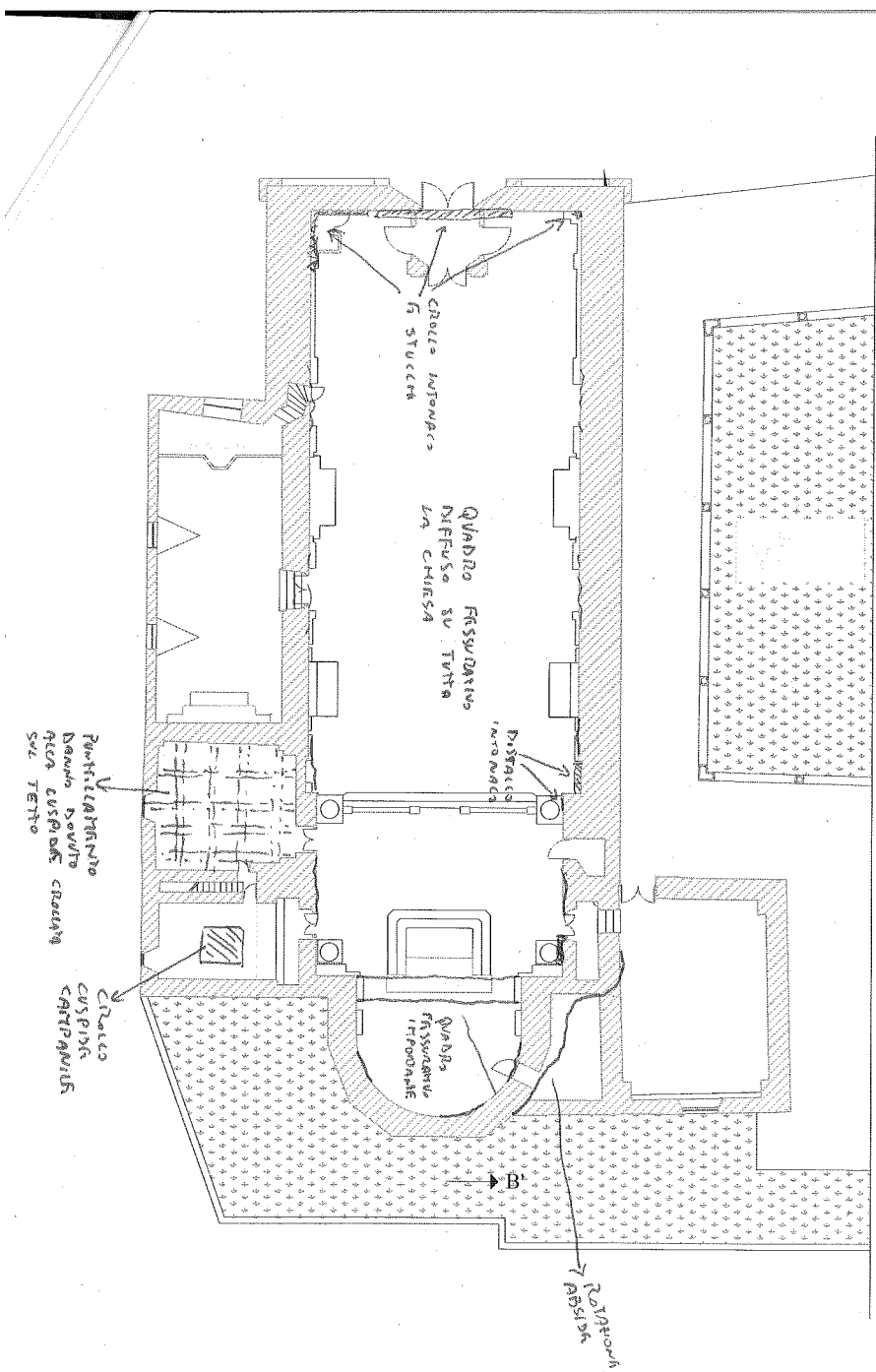
SI  NO

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

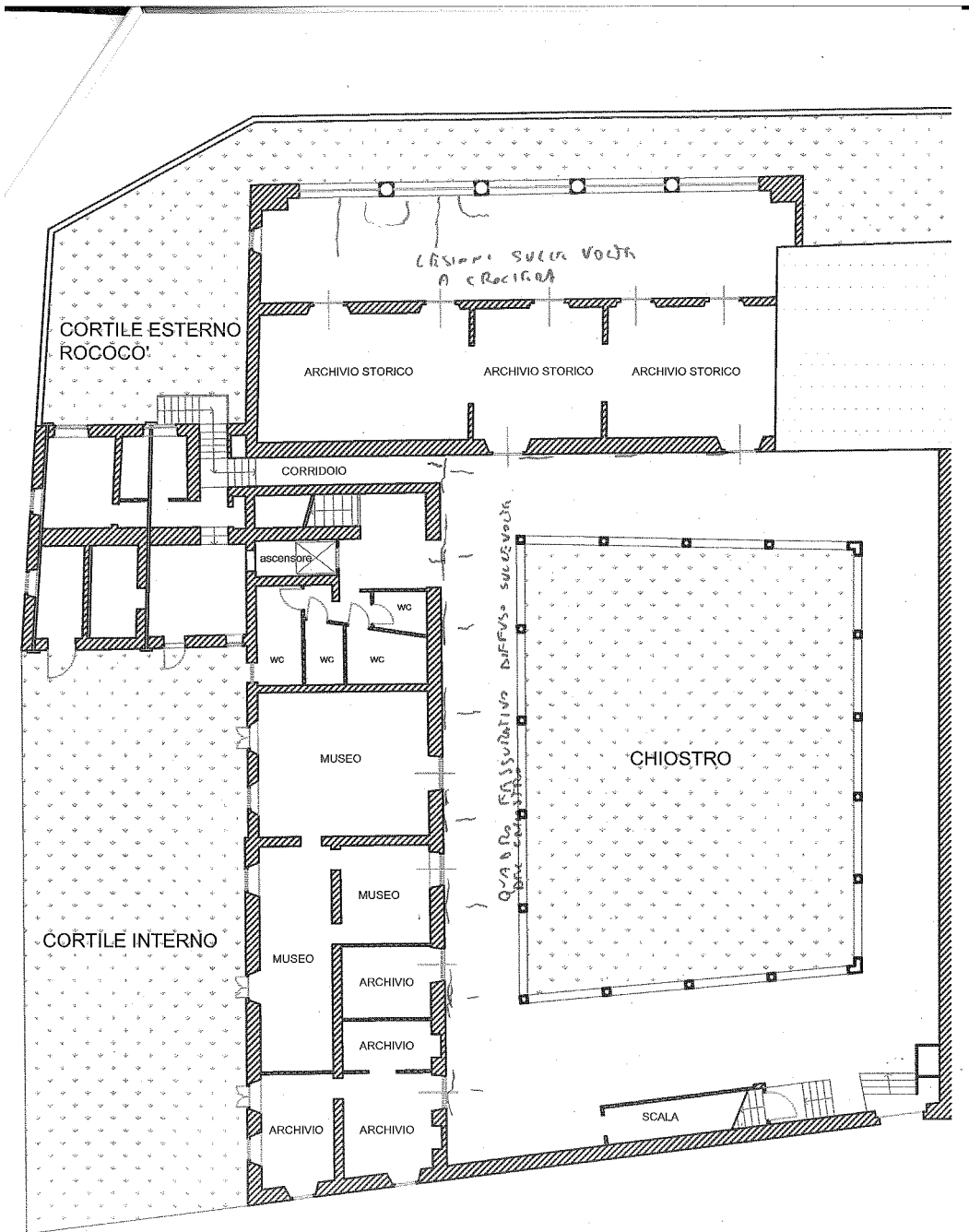
**A<sub>27</sub> - SQUADRA CHE HA ESEGUITO IL RILIEVO**

SISMA		C.O.M.	SQUADRA N.
Componenti della squadra			
Cognome e nome	Qualifica	Ente appartenenza	Firma
MAZZONI ALBERTO	ARCH.	OPRINTENDENTE ABAP	[Firma]
BARGELLI EMANUELE	ASS. TEC.	" "	[Firma]
MONTARDINO ALBERTO	T.U.O.	ECTP ANCONA	[Firma]
VILLANI MICHELE	T.U.O.	ECTP ANCONA	[Firma]

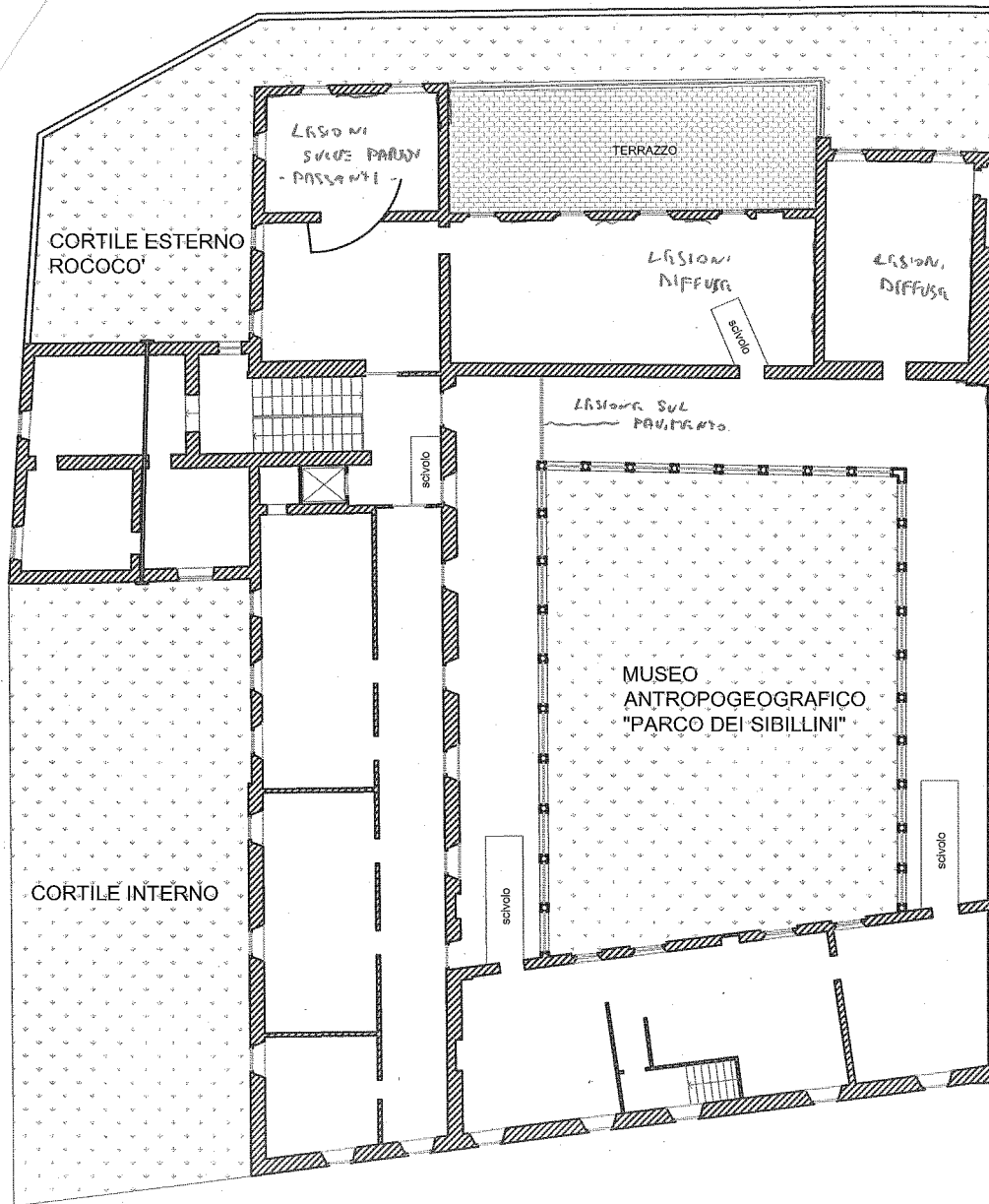
Modello A-DC PCM-DPC MIBAC 2006



CHIESA DI SAN FRANCESCO SCALA 1:200



CHIOSTRO DI SAN FRANCESCO  
PIANTA PIANO TERRA SCALA 1:200



CHIOSTRO SAN FRANCESCO  
 PIANTA PIANO PRIMO    SCALA 1:200

Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo

RILIEVO SPEDITIVO DEL DANNO SUL PATRIMONIO CULTURALE IN CASO DI CALAMITA' NATURALI

SCHEDA INSEDIAMENTO

MODELLO I - EC

Prima sezione  
(da compilare sempre)

I<sub>1</sub>  
Data 02/04/2016 N° progressivo 111 N° Scheda 11111

I<sub>2</sub> - RIFERIMENTO VERTICALE

Bene complesso  Bene individuo  
Denominazione bene complesso: CHIESA S. GIUSEPPE S. FRANCESCO  
Numero schede beni componenti 11

I<sub>3</sub> - LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICO AMMINISTRATIVA

Regione <u>LAZIO</u>	Istat 11	Indirizzo 1 <input type="checkbox"/> via 2 <input type="checkbox"/> corso 3 <input type="checkbox"/> vicolo 4 <input type="checkbox"/> piazza 5 <input type="checkbox"/> località num. civico 111
Provincia <u>ROMA</u>	Istat 111	
Comune <u>STANDOLFO</u>	Istat 11111	
Località <u>CENTRO STORICO</u>		
	N° complesso o aggregato 11111 N° edificio 1111	

I<sub>4</sub> - COORDINATE

FUSO (32-33-34) 11 DATUM  ED50  WGS84 Nord/Long 1111111111 Est/Long 1111111111

I<sub>5</sub> - DESTINAZIONE D'USO ATTUALE

museo  archivio  biblioteca  area archeologica  
 culto  uffici  abitazione  servizi  struttura ricettiva-albergo  
 non utilizzato  altro 1111111111111111

I<sub>6</sub> - CARATTERISTICHE DEL SITO

	SI		SI
In piano	<input checked="" type="checkbox"/>	Avvallamento	<input type="checkbox"/>
Su rilievo / su cresta / su vetta	<input type="checkbox"/>	In prossimità della costa	<input type="checkbox"/>
Su riperto	<input type="checkbox"/>	Scavato nel banco	<input type="checkbox"/>
In pendio / su versante	<input type="checkbox"/>	Ipogeo	<input type="checkbox"/>

I<sub>7</sub> - INFRASTRUTTURE

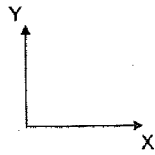
	SI	NO		SI	NO
Accesso pedonale	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rete viaria idonea in relazione al rischio	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Accesso carrabile	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Parcheggio nelle vicinanze	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Accesso con mezzi pesanti	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Spazi aperti a disposizione	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Accesso con altezza inferiore a 4 metri	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Altro	<input type="checkbox"/>	



J11 - SCHEMI GRAFICI

SCHEMATIZZAZIONE DI LAYOUT DELL'INSEDIAMENTO (EVENTUALE)

ORIENTAMENTO



3

## B2. Scheda di II livello per il rilievo del danno ai beni culturali - chiede (A-DC) del 21/02/2017: Chiesa di San Francesco

  
 Presidenza del Consiglio dei Ministri  
 DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE

  
 Ministero  
 per i Beni e le Attività Culturali

GRUPPO DI LAVORO PER LA SALVAGUARDIA E LA PREVENZIONE DEI BENI CULTURALI DAI RISCHI NATURALI



SISMA

EMERGENZA POST-SISMA

### SCHEDA PER IL RILIEVO DEL DANNO AI BENI CULTURALI - CHIESE

MODELLO A - DC

Prima sezione

A<sub>1</sub>

Data	02/02/2016	N° progressivo	___	N° Scheda	___
<small>(a cura dell'ufficio)</small>					

A<sub>2</sub> - RIFERIMENTO VERTICALE

Bene complesso	<input checked="" type="checkbox"/>	Bene individuo	<input type="checkbox"/>
Denominazione bene complesso:	CHIESA E CONVENTO SAN FRANCESCO		
Numero schede beni componenti	___	Codice livello superiore	___
Tipologia	<input checked="" type="checkbox"/> chiesa <input type="checkbox"/> canonica <input type="checkbox"/> palazzo <input type="checkbox"/> castello <input type="checkbox"/> torre <input type="checkbox"/> bene archeologico <input type="checkbox"/> altro		
Pianta	<input checked="" type="checkbox"/> regolare <input type="checkbox"/> con cortili <input type="checkbox"/> ad all aperte <input type="checkbox"/> lineare <input type="checkbox"/> altro		

A<sub>3</sub> - LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICO AMMINISTRATIVA

Regione	MARCHE	Codice Istat comune	___	Indirizzo	___
Provincia	FERMO		___	1 <input type="checkbox"/> via	___
Comune	AMADOLA		___	2 <input type="checkbox"/> corso	___
Località	CENTRO STORICO		___	3 <input type="checkbox"/> vicolo	___
			___	4 <input type="checkbox"/> piazza	___
			___	5 <input type="checkbox"/> località	___
Sezione censuaria	___	N° complesso o aggregato	___	N° edificio	___
Foglio	___	Data	___	Particelle	___
			___	Sub.	___

A<sub>4</sub> - COORDINATE UTM

Quadrante	___	Longitudine Est (x)	___° ___'	Latitudine Nord (y)	___° ___'	<input type="checkbox"/> Lettura GPS
-----------	-----	---------------------	-----------	---------------------	-----------	--------------------------------------

A<sub>5</sub> - OGGETTO

Denominazione bene:	CHIESA E CONVENTO SAN FRANCESCO				
Denominazione storica:	___				
Datazione: anno	___	secolo	___	epoca	___
Ultima trasformazione	___				
Proprietà:	COMUNE				
Utilizzatore:	COMUNE				

1



**A<sub>6</sub> - DESTINAZIONE D'USO ATTUALE**

Uso	Utilizzazione temporale			Affollamento
	Continuo	Saltuario	Non utilizzato	
Cattedrale / Duomo	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Chiesa parrocchiale	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Oratorio	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Santuario	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Museo	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Auditorium	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Servizi	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>
Altro <u>CHIESA</u>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>

**A<sub>7</sub> - CARATTERISTICHE DEL SITO**

In piano  Su rilievo / su cresta / su vetta  Su riporto  In pendio / su versante  Avvallamento

**A<sub>8</sub> - CONTESTO URBANO E POSIZIONE**

Centro urbano  Periferia urbana  Area industriale - commerciale  Area agricola  Centro storico

Isolata  Connessa con altri edifici  su 2 lati Altro

**A<sub>9</sub> - INFRASTRUTTURE**

Accesso pedonale	<input checked="" type="checkbox"/>	Rete viaria idonea in relazione al rischio	<input checked="" type="checkbox"/>
Accesso carrabile	<input type="checkbox"/>	Parcheggio nelle vicinanze	<input type="checkbox"/>
Accesso con altezza inferiore a 4 metri	<input checked="" type="checkbox"/>	Spazi aperti a disposizione	<input type="checkbox"/>
Accesso con mezzi pesanti	<input type="checkbox"/>	Altro <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**A<sub>10</sub> - PRESENZA DI RISCHIO**

	RILEVAZIONE DIRETTA	INFORMAZIONI ACQUISITE
Insedimento minacciato da frana	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
Insedimento in zona alluvionabile	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
Insedimento soggetto a minacce di tipo industriale	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
Insedimento soggetto ad altre minacce naturali	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>

**A<sub>11</sub> - TIPOLOGIA DEI BENI ARTISTICI PRESENTI**

TIPOLOGIA	Num.	superficie	TIPOLOGIA	Num.	superficie
Affreschi <input checked="" type="checkbox"/>	<u>3</u>	<u>1810</u>	Dipinti mobili su vario supporto	<input checked="" type="checkbox"/>	<u>3</u> <u>124</u>
Mosaici <input type="checkbox"/>	<u>1</u>	<u>111</u>	Arredi (soffitti, amboni, pulpito, stali corali)	<input checked="" type="checkbox"/>	<u>1</u> <u>117</u>
Stucchi <input checked="" type="checkbox"/>	<u>1</u>	<u>111</u>	Decorazioni plastiche mobili	<input checked="" type="checkbox"/>	<u>1</u> <u>3,6</u>
Arazzi <input type="checkbox"/>	<u>1</u>	<u>111</u>	Manufatti in carta e pergamena	<input type="checkbox"/>	<u>1</u> <u>111</u>
Altari / statue <input checked="" type="checkbox"/>	<u>1</u>	<u>111</u>	Reperti archeologici	<input type="checkbox"/>	<u>1</u> <u>111</u>
Libri / Stampe <input type="checkbox"/>	<u>1</u>	<u>111</u>	Altri	<input type="checkbox"/>	<u>1</u> <u>111</u>

A<sub>12</sub> - DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA - Realizzata da CONTARDI SIMONA  SI  NO

**A<sub>13</sub> - COMPILATORE SCHEDA**

Cognome CONTARDI Nome SIMONIA  
 Ente/ufficio di appartenenza SOPRINTENDENZA ABBAZIA DI S. GIUSTINO  
 E-Mail: Simona.ampelo.Contardi@beniculturali.it

A14 - RIFERIMENTO SCHEDA DELLA VULNERABILITA' DELLE CHIESE

N° Scheda		Data		Ente	
-----------	--	------	--	------	--

A15 - STATO DI MANUTENZIONE GENERALE

Buono	<input type="radio"/>	Discreto	<input checked="" type="radio"/>	Scadente	<input type="radio"/>	Pessimo	<input type="radio"/>	In corso lavori	<input type="checkbox"/>	
Eventuali precedenti lesioni esistenti	NO <input checked="" type="radio"/>		SI	<input type="radio"/>	Limitate	<input type="radio"/>	Estese	<input type="radio"/>	Gravi	<input type="radio"/>

A16 - DANNO SISMICO (Abaco dei meccanismi di collasso delle chiese)

LIVELLO DI DANNO			IDENTIFICAZIONE DEL DANNO		
0 - □□□□	assenza di danno	1 - ■□□□	danno lieve	2 - ■■□□	danno moderato
3 - ■■■□	danno grave	4 - ■■■■	danno molto grave	5 - ■■■■	crollò
			<input checked="" type="checkbox"/>	danno sismico	
			<input type="checkbox"/>	danno pregresso	
			<input type="checkbox"/>	aggravamento	

1	<b>RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	DISTACCO DELLA FACCIATA DALLE PARETI O EVIDENTI FUORI PIOMBO	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2	<b>MECCANISMI NELLA SOMMITÀ DELLA FACCIATA</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	RIBALTAMENTO DEL TIMPANO, CON LESIONE ORIZZONTALE O A V – DISGREGAZIONE DELLA MURATURA O SCORRIMENTO DEL CORDOLO – ROTAZIONE DELLE CAPRIATE	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3	<b>MECCANISMI NEL PIANO DELLA FACCIATA</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI INCLINATE (TAGLIO) – LESIONI VERTICALI O ARCUATE (ROTAZIONE) – ALTRE FESSURAZIONI O SPANCIAMENTI	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4	<b>PROTIRO – NARTECE</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NEGLI ARCHI O NELLA TRABEAZIONE PER ROTAZIONE DELLE COLONNE – DISTACCO DALLA FACCIATA – MARTELLAMENTO	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5	<b>RISPOSTA TRASVERSALE DELL'AULA</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI NEGLI ARCONI (CON EVENTUALE PROSECUZIONE NELLA VOLTA) – ROTAZIONI DELLE PARETI LATERALI – LESIONI A TAGLIO NELLE VOLTE – FUORI PIOMBO E SCHIACCIAMENTO NELLE COLONNE	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
6	<b>MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI LATERALI (RISPOSTA LONGITUDINALE)</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI INCLINATE (SINGOLE O INCROCIATE) – LESIONI IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITÀ NELLA MURATURA	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
7	<b>RISPOSTA LONGITUDINALE DEL COLONNATO NELLE CHIESE A PIÙ NAVATE</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NEGLI ARCHI O NEGLI ARCHITRAVI LONGITUDINALI – SCHIACCIAMENTO E/O LESIONI ALLA BASE DEI PILASTRI – LESIONI A TAGLIO NELLE VOLTE DELLE NAVATE LATERALI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
8	<b>VOLTE DELLA NAVATA CENTRALE</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLE VOLTE DELL'AULA CENTRALE – SCONNESSIONI DELLE VOLTE DAGLI ARCONI	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
9	<b>VOLTE DELLE NAVATE LATERALI</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <sup>no</sup>
danno	LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONI DAGLI ARCONI O DALLE PARETI LATERALI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
10	<b>RIBALTAMENTO DELLE PARETI DI ESTREMITÀ DEL TRANSETTO</b>	<input type="checkbox"/>
danno	DISTACCO DELLA PARETE FRONTALE DALLE PARETI LATERALI – RIBALTAMENTO O DISGREGAZIONI DEL TIMPANO IN SOMMITÀ	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
11	<b>MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI LATERALI DEL TRANSETTO</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI INCLINATE (SINGOLE O INCROCIATE) – LESIONI ATTRAVERSO DISCONTINUITÀ	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
12	<b>VOLTE DEL TRANSETTO</b>	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONI DAGLI ARCONI E DALLE PARETI LATERALI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
13	<b>ARCHI TRIONFALI</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELL'ARCO – SCORRIMENTO DI CONCI – SCHIACCIAMENTO O LESIONI ORIZZONTALI ALLA BASE DEI PIEDRITTI	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

14	CUPOLA – TAMBURO/TIBURIO	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLA CUPOLA (AD ARCO) CON EVENTUALE PROSECUZIONE NEL TAMBURO	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
15	LANTERNA	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NEL CUPOLINO DELLA LANTERNA – ROTAZIONI O SCORRIMENTI DEI PIEDRITTI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
16	RIBALTAMENTO DELL'ABSIDE	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI VERTICALI O ARCUATE NELLE PARETI DELL'ABSIDE – LESIONI VERTICALI NEGLI ABSIDI POLIGONALI – LESIONE AD U NEGLI ABSIDI SEMICIRCOLARI	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
17	MECCANISMI DI TAGLIO NEL PRESBITERIO O NELL'ABSIDE	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI INCLINATE (SINGOLE O INCROCIATE) – LESIONI IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITÀ MURARIE	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
18	VOLTE DEL PRESBITERIO O DELL'ABSIDE	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONI DAGLI ARCONI O DALLE PARETI LATERALI	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
19	MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA – PARETI LATERALI DELL'AULA	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI VICINE ALLE TESTE DELLE TRAVI LIGNEE, SCORRIMENTO DELLE STESSE – SCONNESSIONI TRA CORDOLI E MURATURA – MOVIMENTI SIGNIFICATIVI DEL MANTO DI COPERTURA	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
20	MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA – TRANSETTO	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI VICINE ALLE TESTE DELLE TRAVI LIGNEE, SCORRIMENTO DELLE STESSE – SCONNESSIONI TRA I CORDOLI E MURATURA – MOVIMENTI SIGNIFICATIVI DEL MANTO DI COPERTURA	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
21	MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA – ABSIDE E PRESBITERIO	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI VICINE ALLE TESTE DELLE TRAVI LIGNEE, SCORRIMENTO DELLE STESSE – SCONNESSIONI TRA I CORDOLI E MURATURA – MOVIMENTI SIGNIFICATIVI DEL MANTO DI COPERTURA	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
22	RIBALTAMENTO DELLE CAPPELLE	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	DISTACCO DELLA PARETE FRONTALE DALLE PARETI LATERALI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
23	MECCANISMI DI TAGLIO NELLE PARETI DELLE CAPPELLE	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI INCLINATE (SINGOLE O INCROCIATE) – LESIONI IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITÀ MURARIE	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
24	VOLTE DELLE CAPPELLE	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI NELLE VOLTE O SCONNESSIONI DALLE PARETI LATERALI	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
25	INTERAZIONI IN PROSSIMITÀ DI IRREGOLARITÀ PLANO-ALTIMETRICHE (CORPI ADIACENTI, ARCHI RAMPANTI)	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	MOVIMENTO IN CORRISPONDENZA DI DISCONTINUITÀ COSTRUTTIVE - LESIONI NELLA MURATURA PER MARTELLAMENTO	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
26	AGGETTI (VELA, GUGLIE, PINNACOLI, STATUE)	<input type="checkbox"/>
danno	EVIDENZA DI ROTAZIONI PERMANENTI O SCORRIMENTO – LESIONI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
27	TORRE CAMPANARIA	<input checked="" type="checkbox"/>
danno	LESIONI VICINO ALLO STACCO DAL CORPO DELLA CHIESA – LESIONI A TAGLIO O SCORRIMENTO – LESIONI VERTICALI O ARCUATE (ESPULSIONE DI UNO O PIÙ ANGOLI)	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
28	CELLA CAMPANARIA	<input type="checkbox"/>
danno	LESIONI NEGLI ARCHI – ROTAZIONI O SCORRIMENTI DEI PIEDRITTI	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

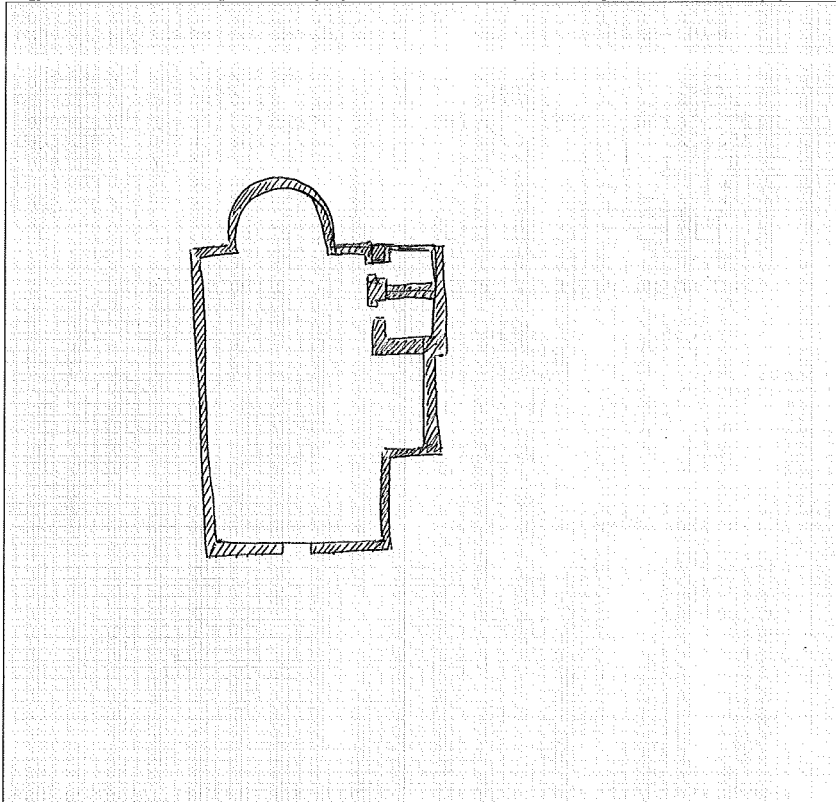
A<sub>17</sub> - INDICE DI DANNO

$n = 17$  (numero dei meccanismi possibili)  $d = 218$  (punteggio totale di danno)  $i_d = d / 5n = 0,33$





A<sub>26</sub> - ELABORATI GRAFICI (pianze, sezioni, prospetti, illustrazione di dissesti particolari, allegare eventualmente fotografie)



A<sub>26</sub> - DOCUMENTAZIONE ALLEGATA

SI  NO

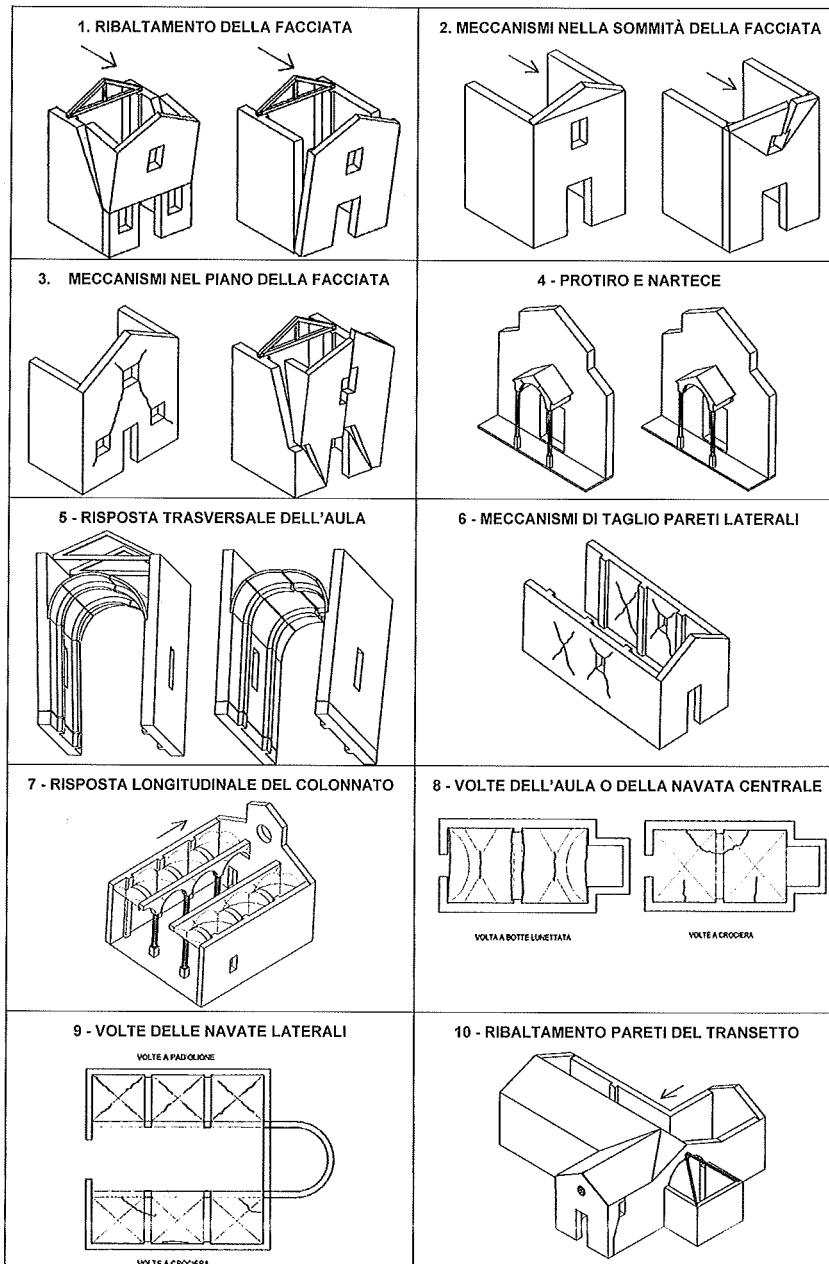
PLANIMETRIA

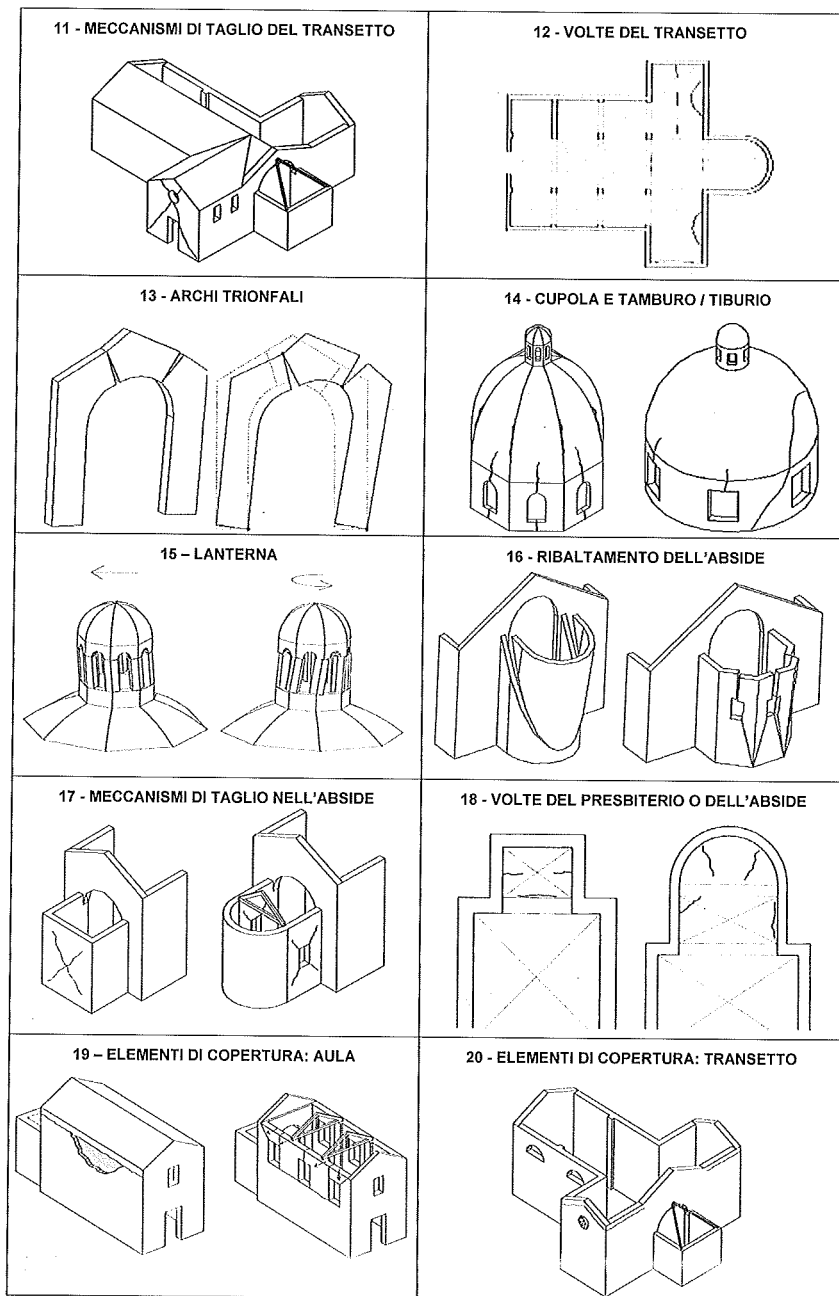
A<sub>27</sub> - SQUADRA CHE HA ESEGUITO IL RILIEVO

SISMA CENTRO ITALIA		C.O.M.	SQUADRA N. MAR_05
Componenti della squadra			
Cognome e nome	Qualifica	Ente appartenenza	Firma
BENELLI FEDERICA	ING	RELUIS UNIPD	<i>Federica Benelli</i>
Bonavita Valentina	ING	RELUIS UNIPD	<i>Valentina Bonavita</i>
SCHENDELATO CHIARA	F. RESI	SOPRINTENDENZA A.B.A.P. URVI	<i>Chiara Schendelato</i>
CONTARDI SIMONA	AT	SOPRINTENDENZA A.B.A.P. ATCI	<i>Simona Contardi</i>

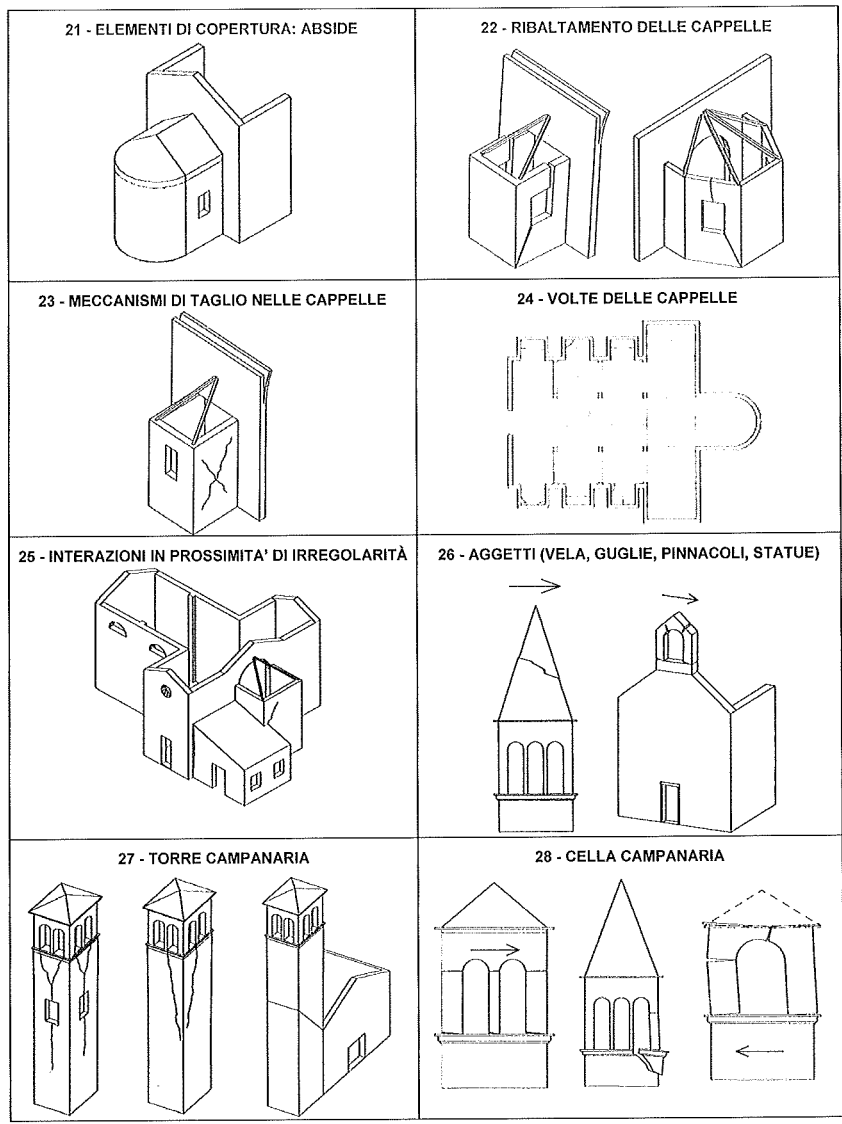
Modello A-DC PCM-DPC MIBAC 2006

ABACO DEI MECCANISMI DI COLLASSO DELLE CHIESE



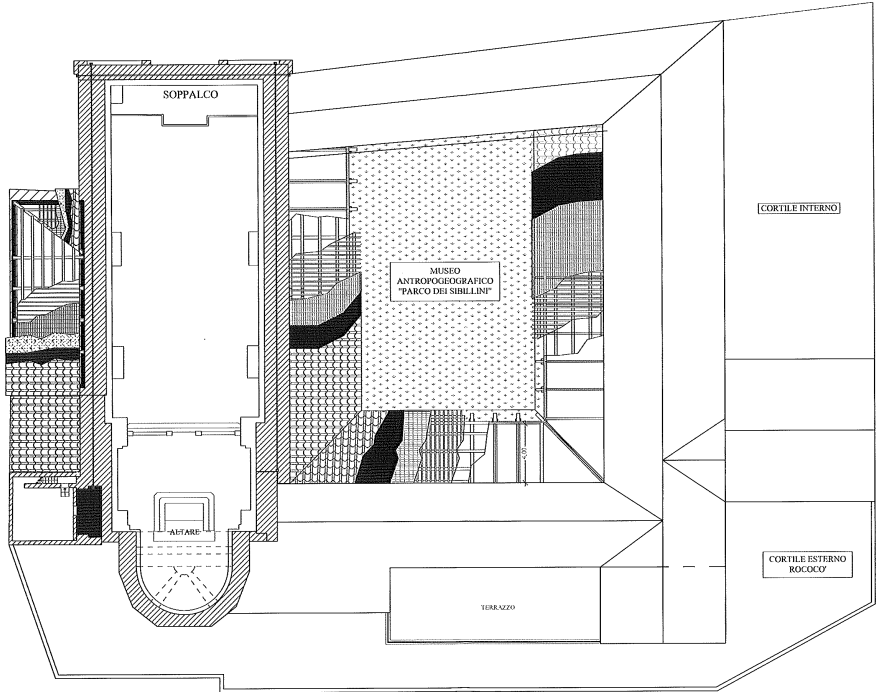






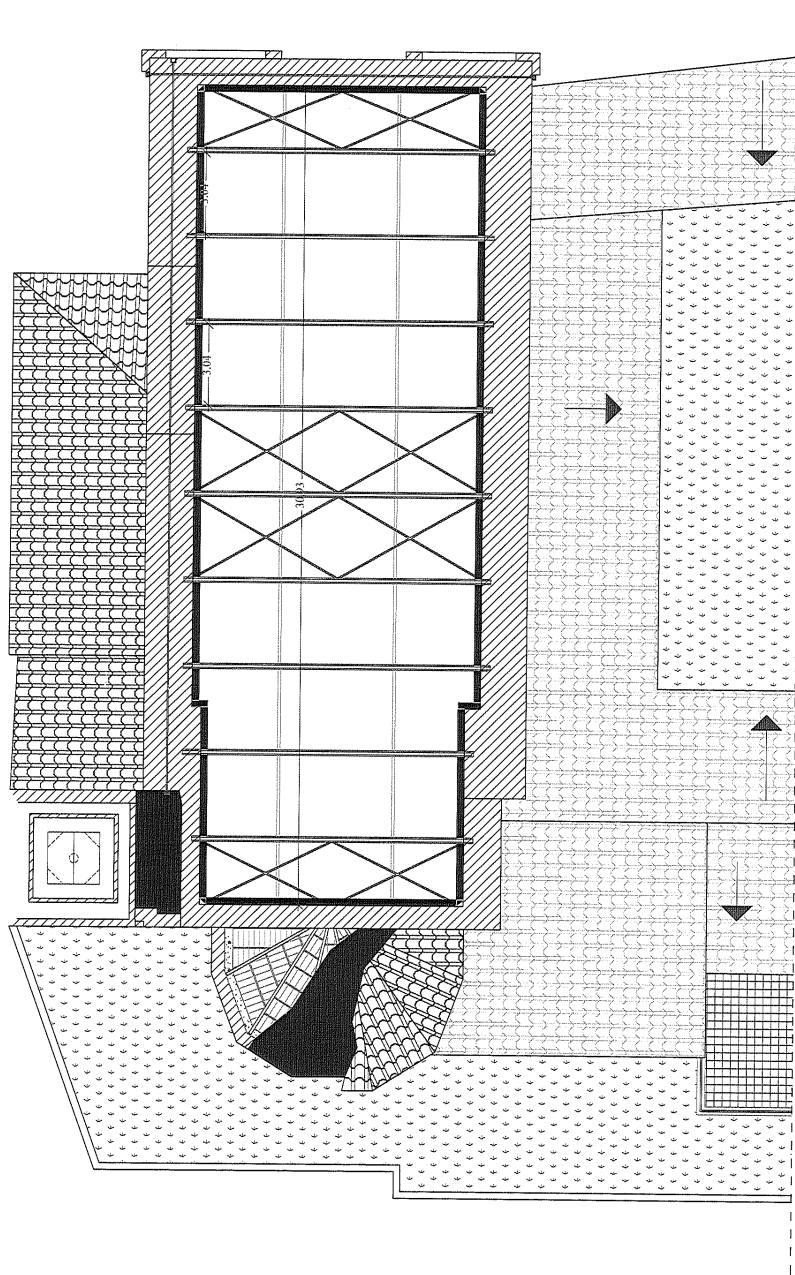
Modello A-DC PCM-DPC MiBAC 2006



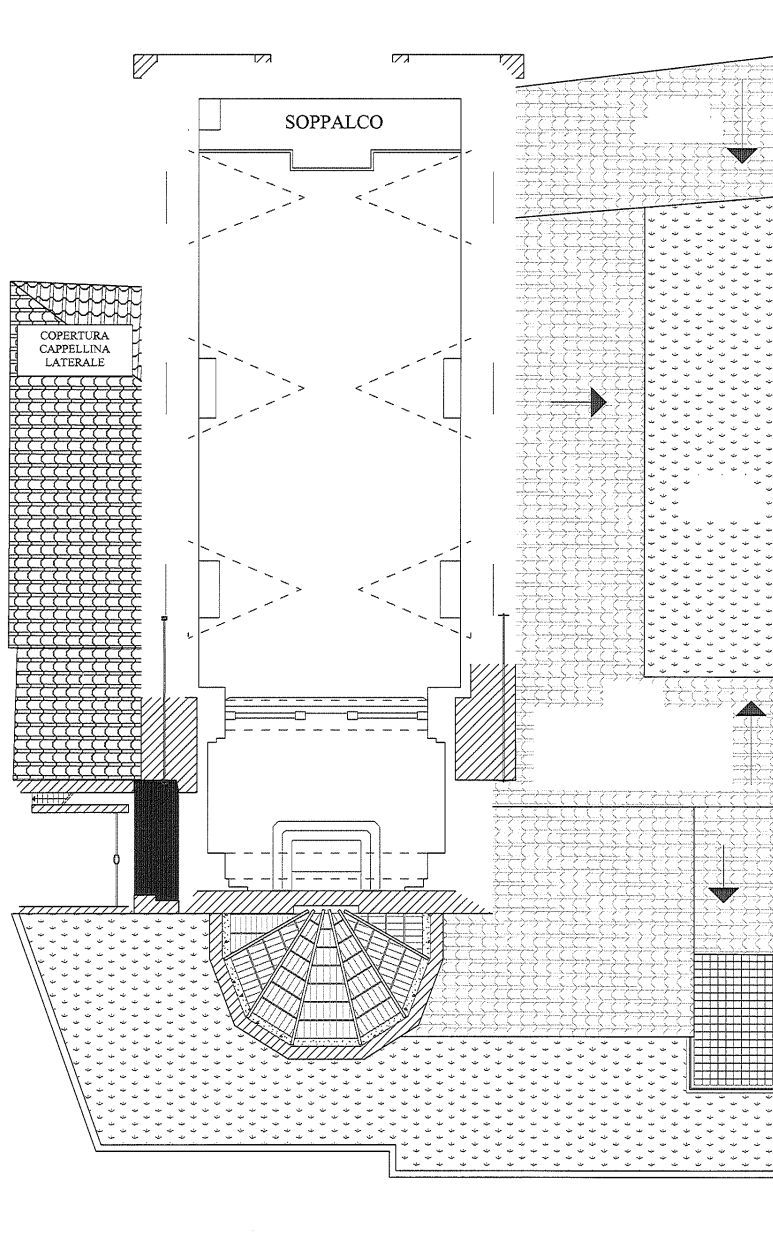


Pianta Piano Terzo Livello  
 -Interventi di Miglioramento-  
 Stato Modificato  
 Scala 1:100

Pianta Piano Copertura -CONVENTO-  
 -Interventi di Miglioramento-  
 Stato Modificato  
 Scala 1:100



Pianta Falso Piano dell' Orditura  
-Interventi di Miglioramento-  
Stato Modificato  
Scala 1:100

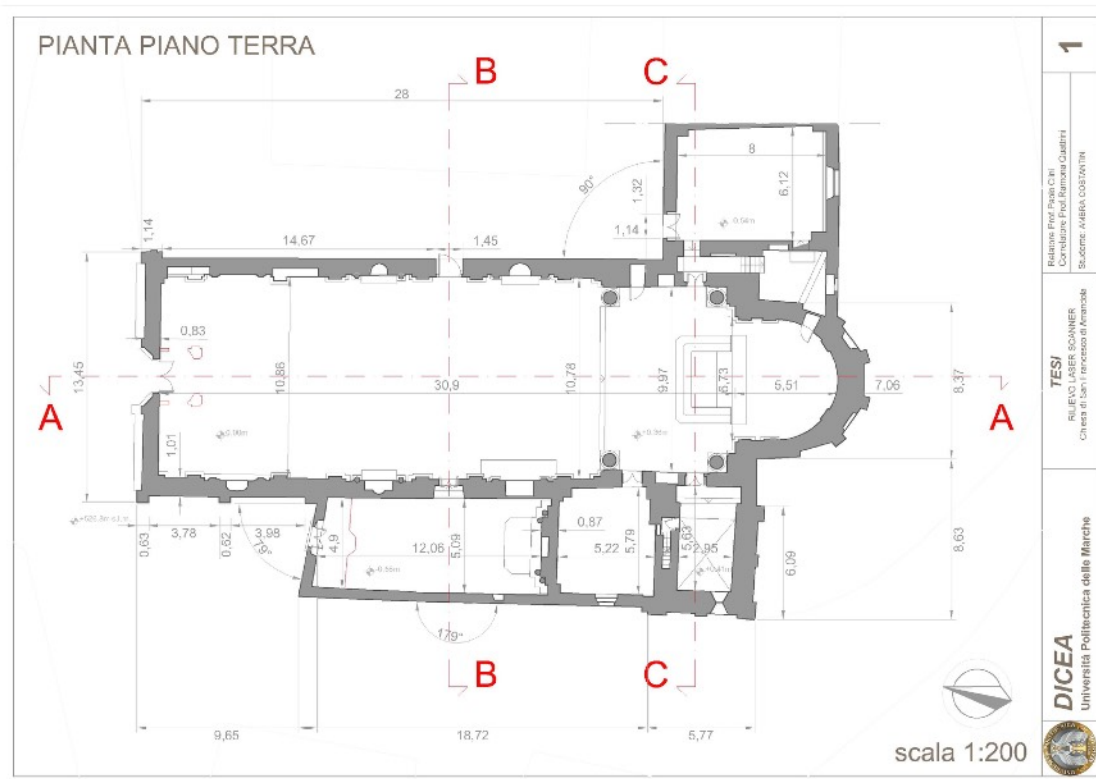


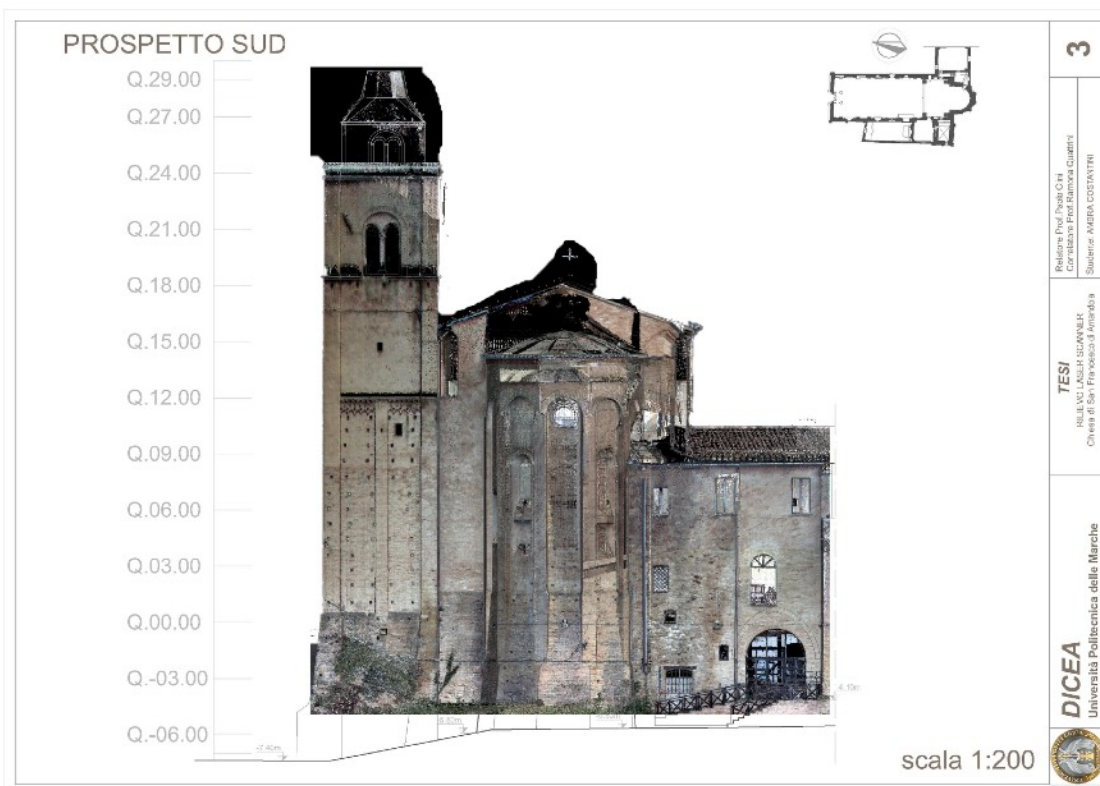
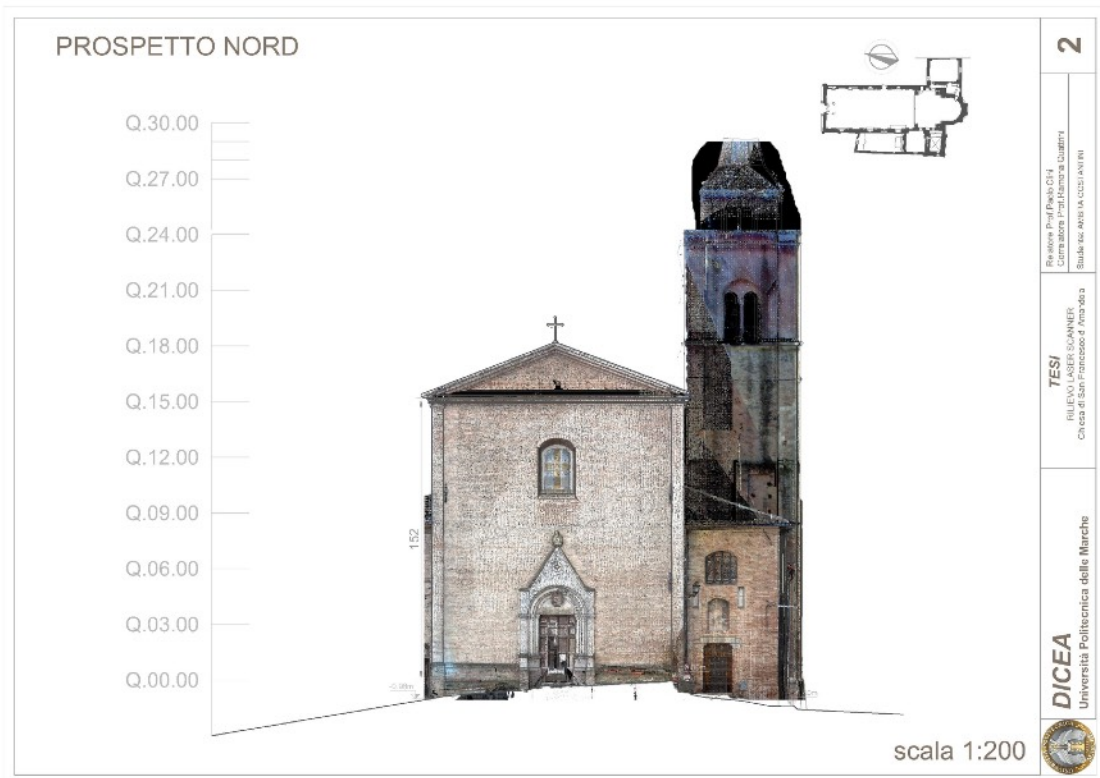
Pianta Piano Livello Finestre  
-Interventi di Miglioramento-  
Stato Modificato  
Scala 1:100



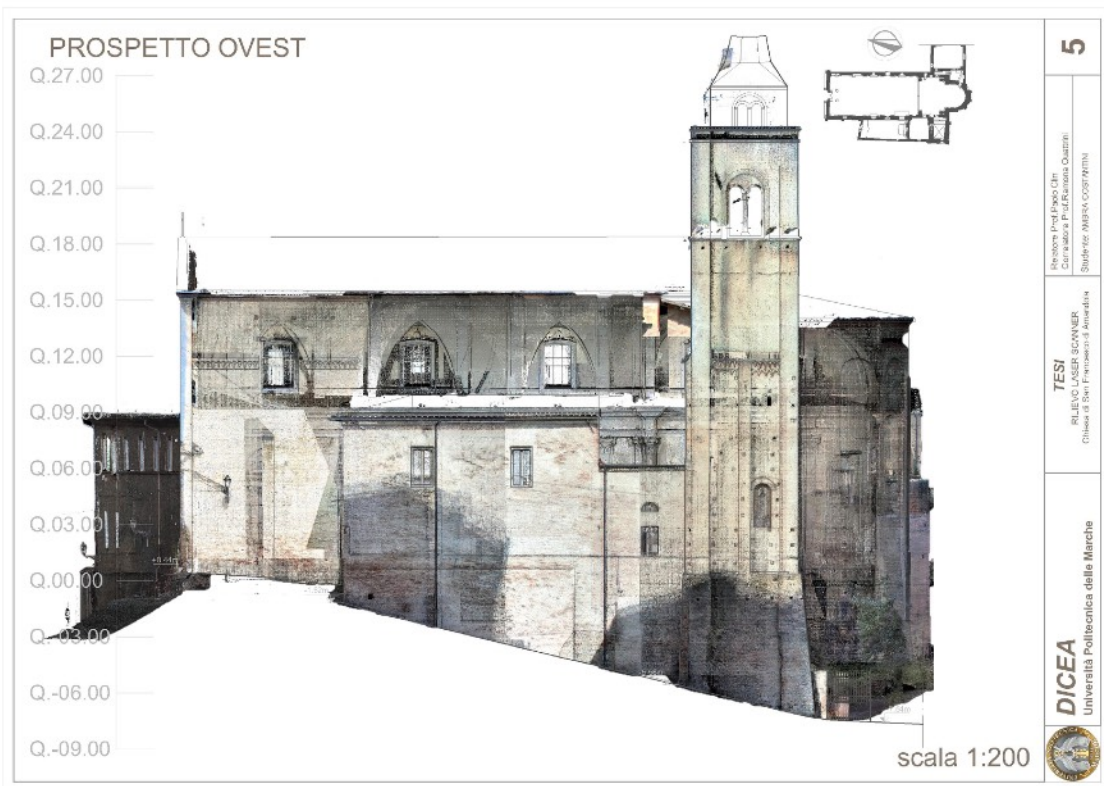
# ALLEGATI

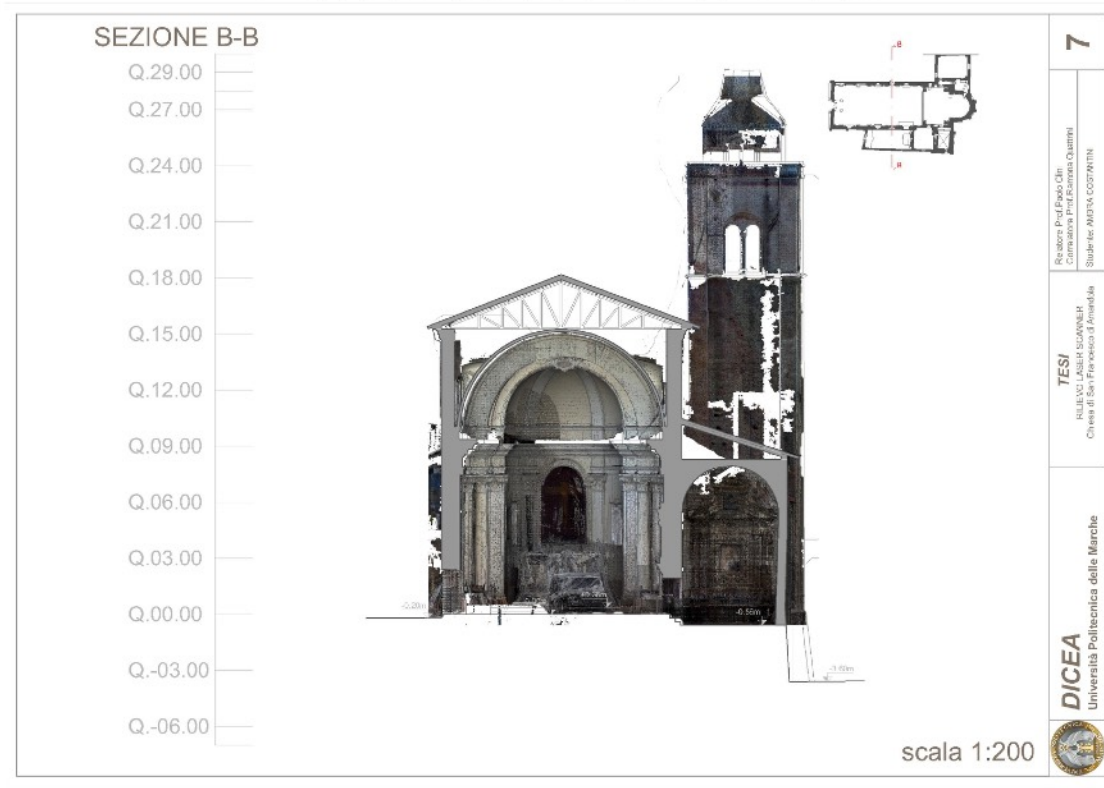
## I. Rilievo geometrico ottenuto dalla nuvola di punti della Chiesa di San Francesco





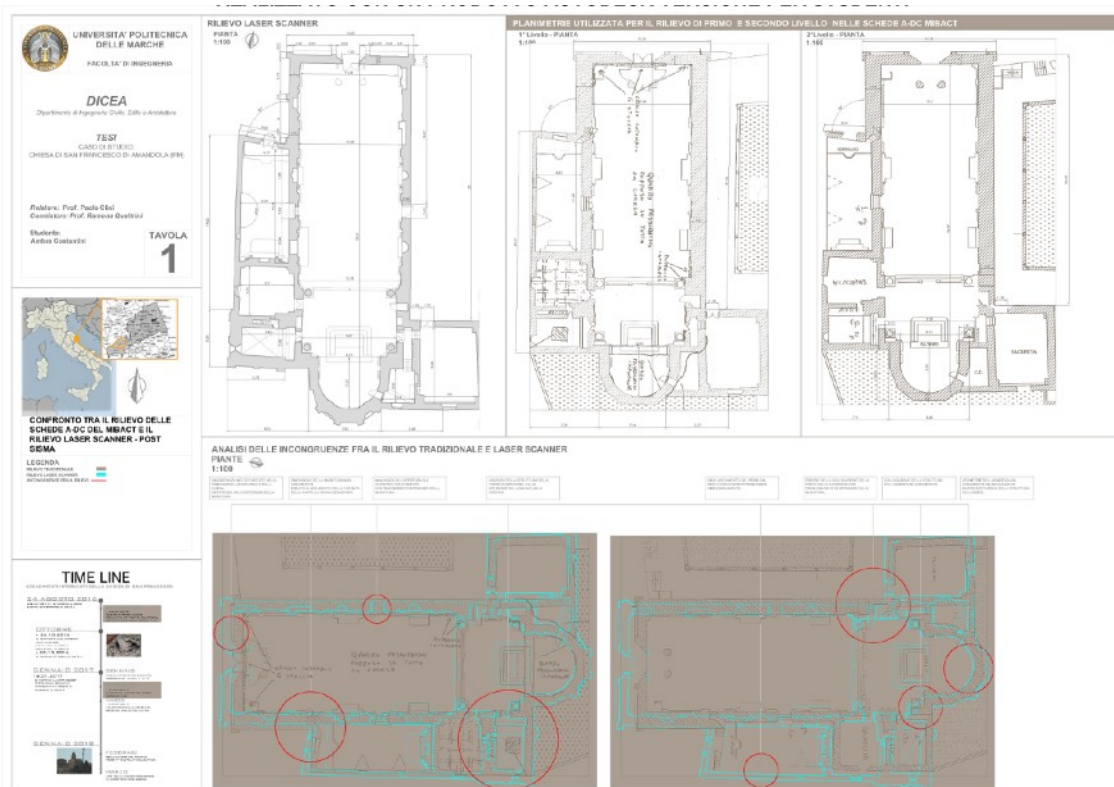


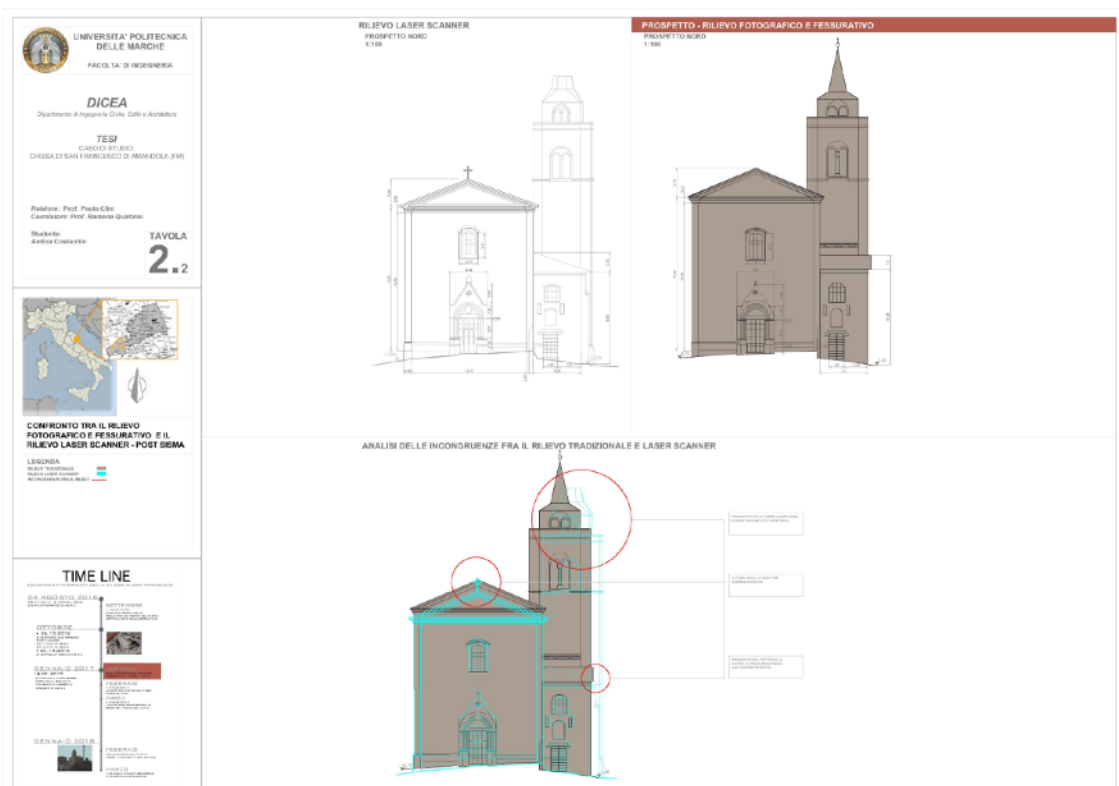
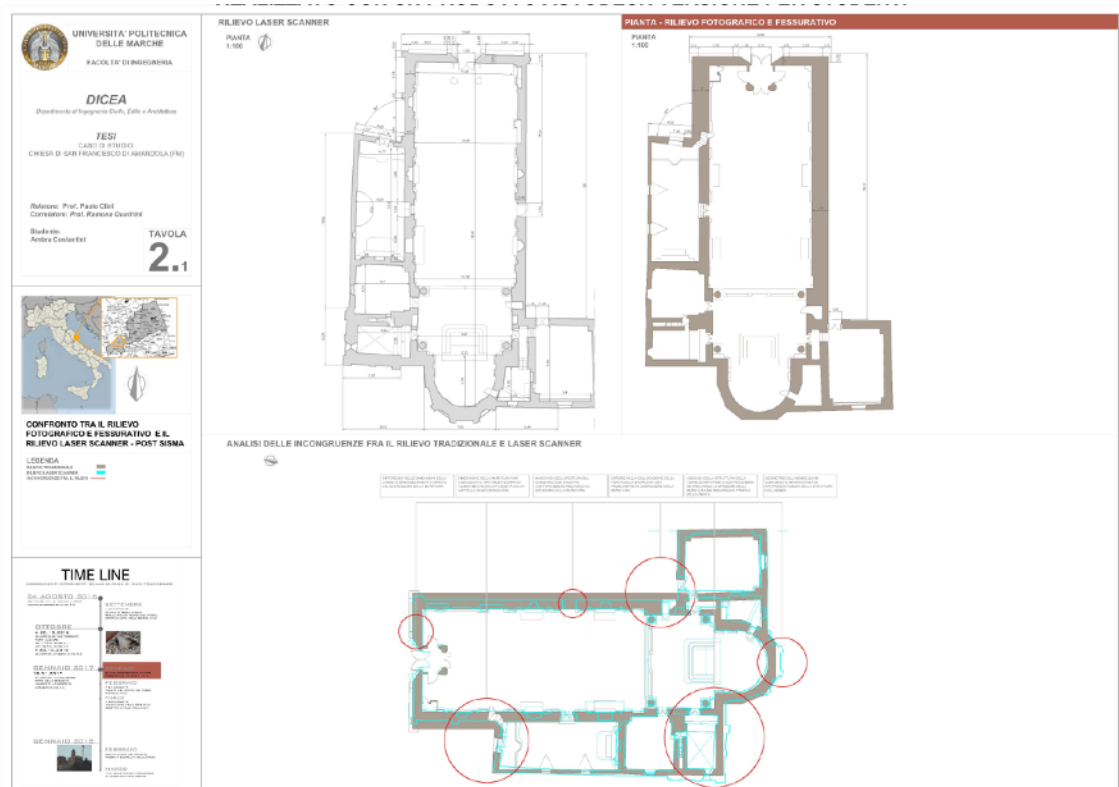




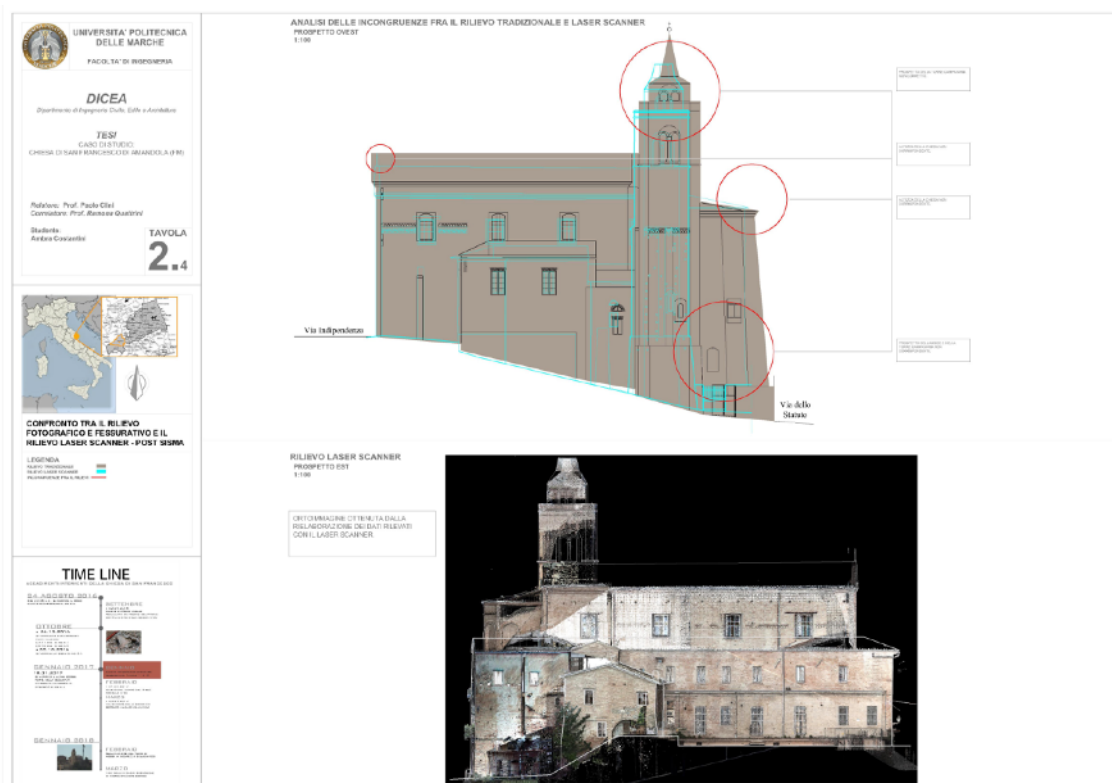
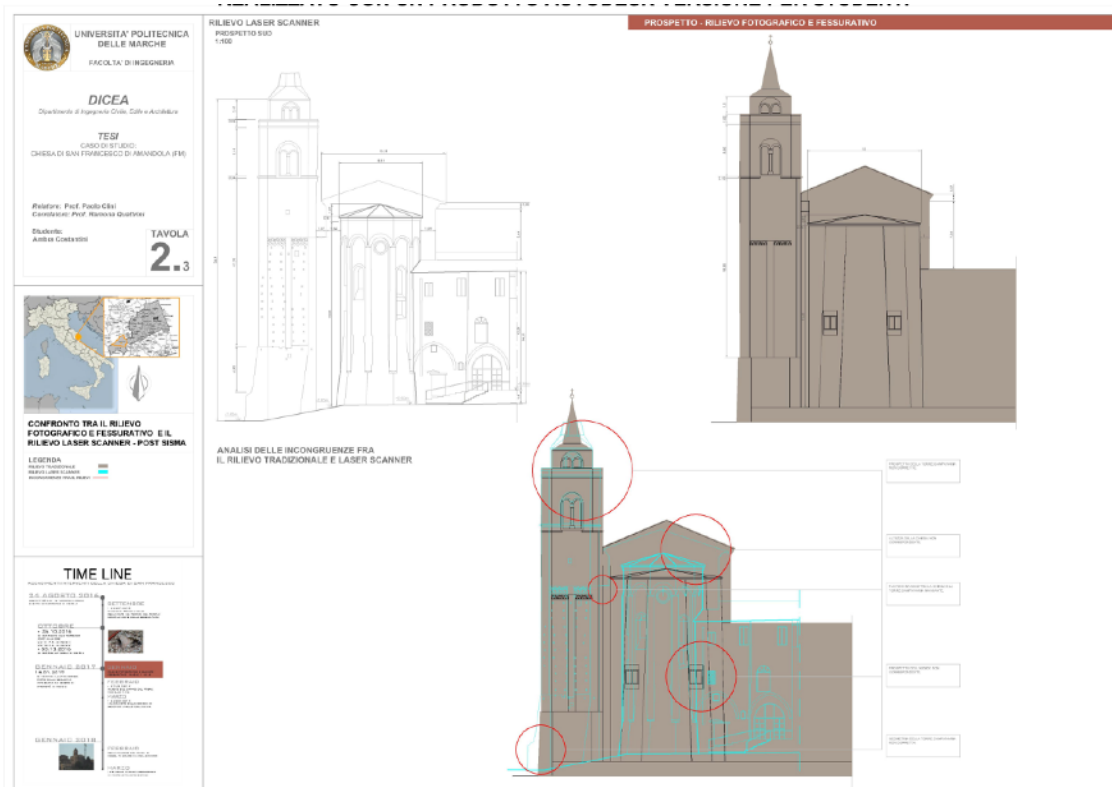


## II. Confronto rilievo tradizionale e laser scanner











## BIBLIOGRAFIA

---

### Documentazione storica e fotografica (in ordine alfabetico)

AA. VV., 1997

AA.VV., *Dizionari di toponomastica. Storia e significato dei nomi geografici italiani*, Torino, UTET, 1997

ANONIMO, 1888

*Fogli catastali del 1888*, in Archivio di Stato di Ascoli Piceno

ANTONELLI-GAGLIARDI-VIRGILI, 1995

Mario Antonelli M., Gagliardi G., Virgili B. M., *Amandola e suo territorio*, Milano, Silvana Editoriale, 1995

BARTOLINI\_SALIMBENI, 1995

Bartolini Salimbeni L., *Spazio, forma e funzione nell'architettura francescana*, in Pellegrini L. e Da Campagnola S. (a cura di), *Il francescanesimo nella Valle Reatina*, MILANO, Silvana Editoriale, 1993, pp.131-161

BEDINI-BRONZINI-MARINELLI, 2012

Bedini M.A., Bronzini F., Marinelli G., *Marche. Il battito della mia terra*, Ancona, Il Lavoro Editoriale, 2012

BONVICINI, 1978

Bonvicini P., *La centuriazione augustea della Valtenna*, Fermo, 1978

CAI Club Alpino Italiano, 1885

CAI Club Alpino Italiano (a cura di), *Guida della Provincia*, Ascoli Piceno, CAI, 1885

FERRANTI, 1985

Ferranti P., *Memorie storiche della città di Amandola*, Ripatransone, 1985, p.34

FILIPPETTI-RAVAGLIA, 2002

Filippetti F., Ravaglia E., *Guida insolita ai misteri, ai segreti, alle leggende e alle curiosità delle Marche*, Roma, Newton&Compton, 2002

GALLO, 1808

Gallo F., *Inventario e stima di mobili ritrovati nel convento dei FF. MM.*

*conventuali di Mandola*, 1808, manoscritto notarile in Archivio di Stato di Ascoli Piceno

GESUÈ, 2000

Gesùè O., *ACTUM IN TERRA AMANDULE IN LOGIA SIVE TRASANNA ECCELSIE SANCTI FRANCISCI. I frati del “luogo di San Francesco” nella società amaldolese del XIV e XV secolo*, in “Picenum Seraphicum. Rivista di studi storici e francescani”, XIX, 2000, pp.151-170

MANGANI-MARIANO, 1998

Mangani G., Mariano F., *Il disegno del territorio. Storia e cartografia delle Marche*, Ancona, Il Lavoro Editoriale, 1998

MARINI, 2015

Marini A., *Il comportamento delle strutture in muratura sotto il sisma – Meccanismi di danno*, Bergamo, Università degli Studi di Bergamo, 2015, pp. 5-9

NEPI, 1960

Nepi G., *Cenni storici di Montefortino*, Fermo, 1960

NEPI, 1976

Nepi G., Settimi G., *Storia di Santa Vittoria in Matenano*, Camerino, 1976

PACINI-AVARUCCI-PAOLI, 1996/98

Pacini D., Avarucci G., Paoli U., *Liberturium dell’Episcopato e della città di Fermo 977/1266*, Fondazione Cassa di Risparmio di Fermo, 1996/98

PACIOCCO-PELLEGRINI, 2001

Paciocco R., Pellegrini L., *I Francescani nelle Marche secoli XIII-XVI*, Milano, Silvana Editoriale, 2001, pp.124-195

PERSI-MANGANI, 2005

Persi P, Mangani G., *Nomi di paesi. Storia, narrazioni e identità dei luoghi marchigiani attraverso la toponomastica*, Ancona, Il Lavoro Editoriale, 2005

ROTONDI, 1934

Rotondi P., *Panfilo da Spoleto e gli affreschi di San Francesco in Amandola*, in “Rassegna Marchigiana”, XII (Gennaio-Dicembre), 1934, pp. 429-444

TOULIATOS, 1996

Touliatos, P. G., 1996, *Seismic behaviour of traditionally built constructions*, in Petrini V., Save M. (a cura di), *Protection of the architectural heritage against earthquakes*, New York, Springer, 1996



VITTORI, 1931

Vittori A., *Montemonaco nel regno della Sibilla Appenninica*, Firenze, 1931

### **Analisi strutturale (in ordine cronologico)**

CLEMENTI-PIERDICCA-FORMISANO-CATINARI-LENCI, 2017

Clementi, F., Pierdicca, A., Formisano, A., Catinari, F., Lenci, S., *Numerical model upgrading of a historical masonry building damaged during the 2016 Italian earthquakes: the case study of the Podestà palace in Montelupone (Italy)*, in “Journal of Civil Structural Health Monitoring”, 7(5), 2017, pp. 703–717

CLEMENTI-GAZZANI-POIANI-LENCI, 2016

Clementi, F., Gazzani, V., Poiani, M., Lenci, S., *Assessment of seismic behaviour of heritage masonry buildings using numerical modelling*, in “Journal of Building Engineering”, 8, 2016, pp. 29–47

VALLUCCI-QUAGLIARINI, 2013

Vallucci, S., Quagliarini, E., Lenci, S., *Costruzioni storiche in muratura*. W. K. Italia, 2013, p. 350

MAGENES, 2003

Magenes G., *Edifici con struttura in muratura*, in IX Corso di aggiornamento “L’ingegneria e la sicurezza sismica”, Bergamo, Ordine degli Ingegneri della provincia di Bergamo, 2003, p.4

PIZZETTI-ZORGNO TRISCIUOGLIO, 1980

Pizzetti G., Zorgno Trisciuglio A. M., *Principi statici e forme strutturali*, Torino, UTET, 1980, p. 507

### **Rilievo e documentazione digitale (in ordine cronologico)**

GABELLIERI-GEMIGNANI, 2019

Gabellieri N., Gemignani C. A., *Lo studio dei paesaggi agrari attraverso l’analisi digitale della fotografia storica. Il caso del sistema a ‘marrelo’ della Val Polcevera nelle immagini di Emilio Sereni*, in “Rivista Gografica Italiana”, 1, 2019, pp. 51-76

CARROZZINO-COLOMBO-TECCHIA-EVANGELISTA-BERGAMASCO, 2018

Carrozzino M., Colombo M., Tecchia F., Evangelista C., Bergamasco M., *Comparing Different Storytelling Approaches for Virtual Guides in Digital*

*Immersive Museums*. in De Paolis L., Bourdot P., “Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics. AVR 2018. Lecture Notes in Computer Science”, 10851, Springer, 2018, pp. 292–302

NESPECA, 2018

Nespeca, R., *Documentazione digitale per il cultural heritage - Point cloud come sistema informativo*, Roma, Aracne, 2018, p. 180

SCHONHOFER-HUBNER-RASHED-AIGNER-JUDMAIER-SEIDL, 2018

Schonhofer A., Hubner S., Rashed P., Aigner W., Judmaier P., Seidl M., *ViennAR: User-Centered-Design of a Bring Your Own Device Mobile Application*, in De Paolis L., Bourdot P., “Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics. AVR 2018. Lecture Notes in Computer Science”, 10851, Springer, 2018, pp. 275–291

BALLETTI-BALLARIN-GUERRA, 2017

Balletti, C., Ballarin, M., Guerra, F., *3D printing: State of the art and future perspectives*, in “Journal of Cultural Heritage”, 26, 2017, pp. 172-182

CLINI-EL MEHTEDI-NESPECA-RUGGERI-RAFFAELI, 2017

Clini, P., El Mehtedi, M., Nespeca, R., Ruggeri, L., Raffaelli, E., *A digital reconstruction procedure from laser scanner survey to 3d printing: the theoretical model of the Arch of Trajan (Ancona)*, in “SCIRES-IT SCientific REsearch and Information Technology”, 7(2), 2017, pp. 1–12

CLINI-FRONTONI-MARTINI-QUATTRINI-PIERDICCA, 2017

Clini P., Frontoni E., Martini B., Quattrini, R., Pierdicca, R., *New Augmented Reality applications for learning by interacting*, in “Archeomatica”, v. 8, n. 1, 2017, p. 6

CLINI-FRONTONI-QUATTRINI-PIERDICCA.NESPECA, 2017

Clini, P., Frontoni, E., Quattrini, R., Pierdicca, R., Nespeca, R., *Real/Not Real: Pseudo-Holography and Augmented Reality Applications for Cultural Heritage*, in Ippolito A., Cigola M., *Handbook of Research on Emerging Technologies for Digital Preservation and Information Modeling*, Hershey (US), IGI Global, 2017, pp. 201-227

ERCAN-CAKTI, 2017

Ercan T., Çaktı E., *Use of laser scanning in civil and earthquake engineering*, in “4th International Conference on Earthquake Engineering and Seismology - Anadolu University”, Eskisehir (Turchia), 11-13/10/2017, pp. 1-8

MESCHINI-FERIOZZI, 2017

Meschini A., Feriozzi R., *Il rilievo strumentale integrato per la conoscenza dei danni e la messa in sicurezza. Il caso della chiesa di Santa Maria in Via a Camerino (MC)*, Pistoia, ANIDIS 2017, pp. 99-106

MIATTON-PARRINELLO, 2017

Miatton, C., Parrinello, S., *Modelli descrittivi per la gestione degli interventi di manutenzione sulla facciata della basilica di San Michele a Pavia*, Emplert T. (a cura di), *3D modeling & BIM Progettazione, Design, Proposte per la ricostruzione*, Roma, Sapienza Università di Roma/Tipografia del Genio Civile, 2017, pp. 260–277

QUAGLIARINI-CLINI-RIPANTI, 2017

Quagliarini, E., Clini, P., Ripanti, M., *Fast, low cost and safe methodology for the assessment of the state of conservation of historical buildings from 3D laser scanning: The case study of Santa Maria in Portonovo (Italy)*, in “Journal of Cultural Heritage”, 24, 2017, pp. 175–183

HADJIDEMETRIOU, 2016

Hadjidemetriou, G., *Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection*, in “Lecture Notes in Computer Science”, 10058, 2016, Springer, p. 79

ANCONA-CLINI-DELLACASA-FALZONE-LACAMERA-QUATTRINI-SOMARIVA-STEPHENS, 2015

Ancona M., Clini P., Dellacasa A., Falzone P., Lacamera A., Quattrini R., Somariva E., Stephens J., *Extended a mobile device with low cost 3d modeling and building scale mapping capabilities, for application in architecture and archaeology*, in “The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, Volume XL-5/W4, 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 25-27 February 2015, pp. 453-459

DE SANCTIS, 2015

De Sanctis A., *Rilievo dell'Architettura: una condotta per l'analisi e l'interpretazione*, in “DISEGNARECON”, 8/14, gennaio 2015

GAIANI-APOLLONIO-CLINI-QUATTRINI, 2015

Gaiani M., Apollonio E. I., Clini P., Quattrini R., *A Mono-Instrumental Approach to High-Quality 3D Reality-Based Semantic Models. Application on the Palladio Library*, in “Digital Heritage”, 2015

PIETRONI-FORLANI-RUFA, 2015

Pietroni E., Forlani M., Rufa C., *Livia's Villa Reloaded: an example of Re-use and Update of a Pre-existing Virtual Museum, Following a Novel Approach in Storytelling Inside a Virtual Reality Environments*, in "Digital Heritage", 2015

QUATTRINI-MALINVERNI-CLINI-NESPECA-ORLIETTI, 2015

Quattrini R., Malinverni E. S., Clini P., Nespeca R., Orlietti E., *From tIs to hbim. high quality semantically-aware 3d modeling of complex architecture*, in "International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives", 40(5W4), 2015, pp. 367-374

FORTUNATI-ZOPFI-BISHOP-DE ROSA-MALASPINA-ZANNI, 2014

Fortunati M., Zopfi L., Bishop J., De Rosa A., Malaspina F., Zanni S., *Applicazioni di Structure From Motion (SFM). Tecniche open source di rilievo per interventi archeologici d'emergenza*, in "Archeomatica", 5, 2014, pp. 6–9

QUATTRINI-BALEANI, 2014

Quattrini, R., & Baleani, E., *Theoretical background and historical analysis for 3D reconstruction model. Villa Thiene at Cicogna*, in "Journal of Cultural Heritage", 16(1), 2014, pp. 119–125

APOLLONIO-GAIANI-SUN, 2013

Apollonio F. I., Gaiani M., Sun Z., *3D Modeling and Data Enrichment in Digital Reconstruction of Architectural Heritage*, in "International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", XL-5/W2, 2013, pp. 43–48

GARAGNANI-MANFREDINI, 2013

Garagnani S., Manfredini A. M., *Parametric accuracy: Building Information Modeling process applied to the cultural heritage preservation*, In "International Archive of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", XL-5/ W1, 2013, pp. 87–92

CLINI-QUATTRINI, 2013

Clini P., Quattrini R., *Tecnologie e documentazione low cost per l'archeologia: i siti di Leptis Magna e Sabratha*, in Atti del 29° Convegno SCIENZA E BENI CULTURALI - Conservazione e Valorizzazione Dei Siti Archeologici, Venezia, 2013, pp. 493–502

HERMON-IANNONE-FAKKA-KHALAILY-AVNI-RE'EM, 2013

Hermon S., Iannone G., Fakka M., Khalaily H., Avni G., Re'em A., *Digitizing the Holy-3D documentation and analysis of the architectural history of the "room of*

*the Last Supper. The Cenacle in Jerusalem*, in “IEEE Xplore”, 2013, pp. 359–362

PAPA-DI PASQUALE, 2013

Papa S., Di Pasquale G. (a cura di), *Manuale per la compilazione della scheda per il rilievo del danno ai beni culturali, Chiese MODELLO A – DC*, 2013, pp. 1-149

PARRINELLO, 2013

Parrinello S., *Disegnare il Paesaggio. Esperienze di Analisi e Letture Grafiche dei Luoghi*, Firenze, EDIFIR, 2013, pp.. 134-304

BERTOCCI-BINI, 2012

Bertocci S., Bini M., *Manuale di rilievo architettonico e urbano*, Torino, Città Studi, 2012, p. 216

BIANCHINI-BORGOGNONI-IPPOLITO-SENATORE-CAPITANO-CAPOCEFALO, COSENTINO, 2012

Bianchini C., Borgognoni F., Ippolito A., Senatore L. J., Capitano E., Capocefalo C., Cosentino F., *From surveying to representation. Theoretical background, practical issues, possible guidelines, 18th International conference proceeding Virtual Sistem and Multimedia (VSMM)*, Milano, 2012, pp. 507-513

LO BUGLIO-DE LUCA, 2012

Lo Buglio D., De Luca L., *Representation of architectural artifacts: definition of an approach combining the complexity of the 3d digital instance with the intelligibility of the theoretical model*, in “SCIRES-IT SCientific RESearch and Information Technology”, 2, 2012, pp. 63–76

BIANCHINI-SENATORE, 2011

Bianchini C., Senatore L. J., *Metodi speditivi per la visualizzazione ed esplorazione interattiva di nuvole di punti*, in “Documentation of Mediterranean Ancient Theatres: Athena1s activities in Merida”, Roma, Gangemi, 2011, pp. 53–57

BINDA-MODENA-CASARIN-LORENZONI-CANTINI-MUNDA, 2011

Binda L., Modena C., Casarin F., Lorenzoni F., Cantini L., Munda S., *Emergency actions and investigation on cultural heritage after the L'aquila earthquake: the case of Spanish Fortress*, in “Bulletin of Earthquake Engineering”, 2011, pp. 105-138

CLINI-QUATTRINI, 2011

Clini P., Quattrini R., *Le panoramiche sferiche per il rilievo e la comunicazione dell'architettura, un nuovo approccio alla realtà virtuale speditiva*, in Docci M. (a cura di), *Metodologie Integrate per Il Rilievo, Il Disegno, La Modellazione Dell'architettura e Della Città*, Roma, Gangemi, 2011, pp. 239–251

DE LUCA, 2011

De Luca L., *La fotomodellazione architettonica - Rilievo, modellazione, rappresentazione di edifici a partire da fotografie*, Palermo, D. F. E., 2011, p. 264

FANGI, 2011

Fangi G., *La fotogrammetria sferica per l'incidentistica stradale*, Ancona, Università Politecnica delle Marche, 2011

REMONDINO, 2011

Remondino F., *Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning*, in "Remote Sensing", 3(6), 2011, pp. 1104–1138

RUSSO-REMONDINO-GUIDI, 2011

Russo M., Remondino F., Guidi G., *Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico*, in "Archeologia e Calcolatori", 22, 2011, pp.169-198

SCOPIGNO-CALLIERI-CIGNONI-CORSINI-DELLEPIANE-PONCHIO-RANZUGLIA, 2011

Scopigno, Callieri, Cignoni, Corsini, Dellepiane, Ponchio, Ranzuglia, *3D models for Cultural Heritage: beyond plain visualization*, in "IEEE Computer", 44, 2011, pp. 48–55

BIANCHINI, 2010

Bianchini C., *Il rilievo con scanner laser applicato alla chiesa sotterranea di Santa Maria della Rupe in Narni: procedura e metodologia*, IN AA. VV., *La chiesa di Santa Maria Maggiore e i Domenicani a Narni*, TERNI, Morphema, 2010, pp. 383-396

MENDITTO, 2010

Menditto G., *Fessurazioni nelle strutture*, Palermo, Dario Flaccovio Editore, 2010

RINAUDO-CHIAMBRANDO-NEX-PIATTI, 2010

Rinaudo F., Chiambrando F., Nex F., Piatti D., *Integration of TOF camera and multiimage matching approach for Cultural Heritage survey*, in "The

International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, 5, 2010, pp. 143–148

DOCCI-MAESTRI, 2009

Mario Docci, Diego Maestri, *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*, Bari, Laterza, 2009, 9, p.14, p. 364

REMONDINO-EL HAKIM-GIRARDI-RIZZI-BENEDETTI-GONZO, 2009

Remondino, El-Hakim S., Girardi S., Rizzi A., Benedetti S., Gonzo L., *3D Virtual reconstruction and visualization of complex architectures - The 3D-ARCH project*, in “NRC Publications Archive (NPArc)”, 2009, pp. 3–11

CLINI, 2008

Paolo Clini, *Il rilievo dell'architettura. Tecniche, metodi ed esperienze*, Perugia, Alinea Editrice, 2008, pp.14-15

DOCCI, 2007

Docci M., *Metodologie integrate per il rilievo, il disegno, la modellazione dell'architettura e della città*, Roma, Gangemi, p. 263

SACERDOTE-TUCCI, 2007

Sacerdote F., Tucci G., *Sistemi a scansione per l'architettura e il territorio*, Firenze, Alinea, 2007, pp. 176

SAINT AUBIN, 1999

Saint Aubin J.P., Baratin L., Selvini A. (a cura di), *Il rilievo e la rappresentazione dell'architettura*, Bergamo, Moretti & Vitali, 1999

SGROSSO, 1996

Sgrosso A., *Rappresentazione geometrica dell'architettura*, Torino, Utet, 1996

CHEN-MEDIONI, 1991

Chen Y., Medioni G., *Object modeling by registration of multiple range images*, in “Proceeding of the 1991 IEEE International Conference on Robotics and Automation”, Los Angeles, 1991





## SITOGRAFIA

---

### **Cultural Heritage (in ordine di rilevanza)**

Consiglio d'Europa - Settore Trattati: Convenzione quadro del Consiglio d'Europa sul valore del patrimonio culturale per la società (trad. di: Council of Europe Framework Convention on the Value of Cultural Heritage for Society, Council of Europe Treaty Series n. 199), Faro, 27/10/2005  
<https://www.coe.int/it/web/conventions/full-list/-/conventions/rms/0900001680083746> (EN) | <https://translate.google.com/translate?hl=it&sl=en&u=https://www.coe.int/it/web/conventions/full-list/-/conventions/rms/0900001680083746&prev=search> (trad. IT)

Progetto Ophera MIBAC (Opening cultural heritage to communities during the central - Italy post - earthquake restoration process. Digital technologies and new competencies for cultural professionals)  
<https://www.ophera.beniculturali.it>

Ufficio del Soprintendente Speciale per le aree colpite dal sisma del 24 agosto 2016  
<https://uss-sisma2016.beniculturali.it/attivita/salvaguardia/ophera-progetto-europeo-per-valorizzare-restauro-opere-colpite-da-sisma-centro-italia/>

### **Normativa (in ordine di rilevanza)**

MIBACT: DIRETTIVA 23 aprile 2015: Aggiornamento della direttiva 12 dicembre 2013, relativa alle «Procedure per la gestione delle attività di messa in sicurezza e salvaguardia del patrimonio culturale in caso di emergenze derivanti da calamità naturali» (pubblicata in GU Serie Generale n.169 del 23-7-2015)  
<https://www.beniculturali.it/mibac/export/MiBAC/sito-MiBAC/MenuPrincipale/Normativa/Direttive/index.html>

Edilportale: Legge regionale 21 dicembre 2012 n. 16: Norme per la ricostruzione dei territori interessati dal sisma del 20 e 29 maggio 2012 (pubblicata in G.U. regionale n. 286 del 21/12/2012 n. 286)  
<https://www.edilportale.com/normativa/legge-regionale/2012/16/regione-emilia->

[romagna-norme-per-la-ricostruzione-dei-territori-interessati-dal-sisma-del-20-e-29-maggio-2012\\_13447.html](http://www.protezionecivile.gov.it/romagna-norme-per-la-ricostruzione-dei-territori-interessati-dal-sisma-del-20-e-29-maggio-2012_13447.html)

Protezione Civile - Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile:

- Ordinanza del Capo del Dipartimento della Protezione Civile n. 393 del 13 settembre 2016: ulteriori interventi urgenti di protezione civile per l'eccezionale evento sismico che ha colpito le Regioni Lazio, Marche, Umbria e Abruzzo il 24 agosto 2016 (Art. 5)  
[http://www.protezionecivile.gov.it/amministrazione-trasparente/provvedimenti/dettaglio/-/asset\\_publisher/default/content/ordinanza-n-393-del-13-settembre-2016-ulteriori-interventi-urgenti-di-protezione-civile-per-l-eccezionale-evento-sismico-che-ha-colpito-le-regioni-laz](http://www.protezionecivile.gov.it/amministrazione-trasparente/provvedimenti/dettaglio/-/asset_publisher/default/content/ordinanza-n-393-del-13-settembre-2016-ulteriori-interventi-urgenti-di-protezione-civile-per-l-eccezionale-evento-sismico-che-ha-colpito-le-regioni-laz)
- Procedura del Soggetto attuatore del 21 settembre 2016: gestione delle attività sulla messa in sicurezza dei beni culturali mobili e immobili  
[http://www.protezionecivile.gov.it/amministrazione-trasparente/provvedimenti/dettaglio/-/asset\\_publisher/default/content/procedura-del-soggetto-attuatore-del-21-settembre-2016-gestione-delle-attivita-sulla-messa-in-sicurezza-dei-beni-culturali-mobili-e-immobili](http://www.protezionecivile.gov.it/amministrazione-trasparente/provvedimenti/dettaglio/-/asset_publisher/default/content/procedura-del-soggetto-attuatore-del-21-settembre-2016-gestione-delle-attivita-sulla-messa-in-sicurezza-dei-beni-culturali-mobili-e-immobili)
- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 13 marzo 2013: approvazione del Manuale per la compilazione della scheda di rilievo del danno ai beni culturali, Chiese (modello A-DC)  
[http://www.protezionecivile.gov.it/amministrazione-trasparente/provvedimenti/dettaglio/-/asset\\_publisher/default/content/dpcm-del-13-marzo-2013-approvazione-del-manuale-per-compilare-la-scheda-di-rilievo-del-danno-ai-beni-culturali](http://www.protezionecivile.gov.it/amministrazione-trasparente/provvedimenti/dettaglio/-/asset_publisher/default/content/dpcm-del-13-marzo-2013-approvazione-del-manuale-per-compilare-la-scheda-di-rilievo-del-danno-ai-beni-culturali)

Geologi - il sito dei geologi italiani: Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, paragrafo 8.4.3 (pubblicato in G.U. 4 febbraio 2008 n. 29)

[http://www.geologi.it/leggi/dm\\_14-01-2008.htm](http://www.geologi.it/leggi/dm_14-01-2008.htm)

### **Rilievo e documentazione digitale (in ordine di rilevanza)**

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia: Mappe interattive di pericolosità sismica

<http://esse1-gis.mi.ingv.it>

#### Civiltà di Cantiere:

- Dossier *Ricostruire con efficienza in qualità, trasparenza e legalità*, 11/01/2018  
<http://www.civiltadicantiere.it/articles/ricostruire-con-efficienza-in-qualita-trasparenza-e-legalita>
- Dossier *La rigenerazione dei territori colpiti dal sisma 2016-2017. RICOSTRUIRE CON EFFICIENZA, IN QUALITÀ TRASPARENZA E LEGALITÀ*  
[http://www.formedil.it/wp-content/uploads/2018/01/CNCE-Dossier-Terremoto\\_RICOSTUIRE-IN-EFFICIENZA-IN-QUALITÀ-TRASPARENZA-E-LEGALITÀ.pdf](http://www.formedil.it/wp-content/uploads/2018/01/CNCE-Dossier-Terremoto_RICOSTUIRE-IN-EFFICIENZA-IN-QUALITÀ-TRASPARENZA-E-LEGALITÀ.pdf)

#### InGenio - Informazione tecnica e progettuale:

- Nardone R., *NTC 2018: il ruolo della conoscenza geologica negli interventi sulle costruzioni esistenti*, 02/07/2018  
<https://www.ingenio-web.it/20529-ntc-2018-il-ruolo-della-conoscenza-geologica-negli-interventi-sulle-costruzioni-esistenti>
- Stefani M., *I LOD nella UNI 11337:2017*, 21/03/2017  
<https://www.ingenio-web.it/6590-i-lod-nella-uni-113372017>
- CNAPPC (Consiglio Nazionale Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori), *Consiglio Nazionale e Ordini del cratere: "manca una strategia complessiva per la ricostruzione e la rinascita"*, 06/08/2019  
<https://www.ingenio-web.it/24327-sisma-centro-italia-ricostruzione-lallarme-degli-architetti>
- Alessandrini S., *Circolare NTC 2018, edifici esistenti: il Capitolo 8 con alcuni commenti tecnici*, 04/12/2019  
<https://www.ingenio-web.it/22529-circolare-ntc-2018-edifici-esistenti-il-capitolo-8-con-alcuni-commenti-tecnici>

Leica Geosystems: Leica ScanStation P40/P30 – Soluzione laser scanner 3D ad alta definizione

<https://leica-geosystems.com/it-it/products/laser-scanners/scanners/leica-scanstation-p40--p30>

Synergis - Engineering Design Solutions: *Leica JetStream. Simplified point cloud access and ultra-high-speed rendering*

<https://www.synergis.com/software/top-products/leica-jetstream/>

BibLusBIM - Acca Software:

<http://bim.acca.it/legame-bim-ifc/>

## **Storia (in ordine di rilevanza)**

Città di Amandola - Comune di Fermo

<http://www.comune.amandola.fm.it/c044004/zf/index.php/servizi-aggiuntivi/index/index/idtesto/20044>

Regione Marche: Cultura - Catalogo Beni Culturali

<http://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Cultura/Catalogo-beni-culturali>

SibilliniWeb - I Monti Sibillini sul Web

<https://www.sibilliniweb.it/citta/amandola-chiesa-di-san-francesco-xivsec/>

Luoghi del Silenzio - Marche

[http://www.luoghidelsilenzio.it/marche/06\\_chiese/04\\_fermo/00061/index.htm](http://www.luoghidelsilenzio.it/marche/06_chiese/04_fermo/00061/index.htm)

Amandola, guglia del campanile ed esterno della Chiesa di San Francesco prima e dopo il Terremoto

[https://www.youtube.com/watch?v=z\\_sKPgPg3nA](https://www.youtube.com/watch?v=z_sKPgPg3nA)

Amandola, cappella della Chiesa di San Francesco: Crocifissione

<https://www.youtube.com/watch?v=8usgftU7E1E>

Amandola, cappella della Chiesa di San Francesco: Annunciazione

<https://www.youtube.com/watch?v=xFHE94LovPM>

Amandola, Chiesa di San Francesco

<https://www.youtube.com/watch?v=AICU4vX8sco>