

Politecnico di Torino
Corso di laurea in Architettura
Vecchio ordinamento
AA. 2017/2018



IL RILIEVO SOSTENIBILE PER IL PATRIMONIO
EDILIZIO A RISCHIO:
MOBILE MAPPING BASATO SU TECNOLOGIA SLAM

Relatrice: Antonia Teresa Spanò
Correlatrice: Giulia Sammartano

Candidata: Alice Accornero

ral

INDICE

INTRODUZIONE	avvalersi del mobile mapping in geomatica per un rilievo sostenibile del patrimonio vulnerabile	7
1	FOTOGRAMMETRIA E LIDAR	
1.1	Nuovo approccio al rilievo 3D	13
1.2	Impatto dei sistemi low cost	15
1.3	Applicazione della fotogrammetria tradizionale per derivare nuvole di punti	16
1.3.1	Impiego di sistemi UAV nel rilievo del chiostro di San Nicola a Tolentino	18
1.4	LiDAR concezione tradizionale per risultati innovativi	18
1.4.1	Impiego di sistemi LiDAR nel rilievo del chiostro di San Nicola a Tolentino	20
1.5	Strumenti per la generazione di nuvole di punti acquisite tramite sistemi di mobile mapping	20
1.5.1	Impiego di sistemi MMS nel rilievo del chiostro di San Nicola a Tolentino	21
1.6	Risultati ottenibili in termini di automatismo	20
2	TECNOLOGIA DEGLI HAND-HELD SCANNER MOBILI	
2.1	Come nasce la tecnologia SLAM	25
2.2	Strumentazione tecnologica utilizzata: lo scanner ZebRevo	27
2.3	Dalla scansione all'elaborazione	28
2.4	Vantaggi della tecnologia SLAM ed eventuali problemi riscontrati	30
3	ATTIVITA' SISMICA IN ITALIA	
3.1	Attività sismica dal punto di vista geologico	33
3.2	Il territorio di centro Italia e gli eventi sismici: dal 62 D.C. al 2000	36
3.2.1	Dall'anno 62 D.C. al XIX secolo	37
3.2.2	Terremoti nel XIX secolo	41
3.2.3	Il XX secolo: eventi sismici	43
3.3	Terremoti del terzo millennio	49
3.3.1	Sequenza sismica Amatrice-Norcia-Visso: 2016 e 2017	51
3.4	Resoconto sintetico della normativa antisismica	55
3.5	Rilievo del patrimonio vulnerabile per la riduzione del rischio sismico	57
3.6	L'intervento di rilievo del Politecnico di Torino	58

4 DANNI AGLI EDIFICI

4.1	Danni imputabili ai terremoti e loro classificazione	63
4.2	Esempi di danneggiamenti strutturali	65
4.3	Verifiche di agibilità	67
4.4	Scheda AEDES	68

5 PRIMO CASO STUDIO: UN EDIFICIO DI ARQUATA DEL TRONTO

5.1	Inquadramento territoriale	71
5.2	Rilievo ed analisi dei danni	73
5.3	Restituzione grafica della nuvola di punti	74

6 SECONDO CASO STUDIO: IL COMPLESSO CONVENTUALE DELLA BASILICA DI SAN NICOLA, ANALISI GEOGRAFICA E STORICA

6.1	Inquadramento territoriale e geografico del comune Di Tolentino	79
6.1.2	Inquadramento territoriale dell'area su cui insiste la basilica	82
6.1.3	Pianta con l'indicazione delle diverse aree del complesso basilicale	84
6.2	Inquadramento storico del complesso della basilica	85
6.3	Il chiostro trecentesco	87
6.4	La basilica di San Nicola	90
6.4.1	La facciata della basilica	92
6.4.2	Il campanile	94
6.4.3	Le cappelle e la sagrestia della basilica	94
6.4.4	La cripta	95
6.5	Cronologia della fabbrica	96
6.6	Gli ordini mendicanti e la loro architettura	98

7 SECONDO CASO STUDIO: IL COMPLESSO CONVENTUALE DELLA BASILICA DI SAN NICOLA, RILIEVO E RESTITUZIONE

7.1	Indagine fotogrammetrica: acquisizione dei dati	103
7.2	Elaborazione dei dati	109
7.3	Restituzione del rilievo del convento	114
7.4	Restituzione del rilievo del blocco scala	0000

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

INTRODUZIONE:

AVVALERSI DEL MOBILE MAPPING PER UN RILIEVO SOSTENIBILE DEL PATRIMONIO ARCHITETTONICO

L'indagine che vede protagonista un edificio deve tenere conto della sua complessità, che è data solo in parte dal suo stato di fatto: il risultato che vediamo è una somma di circostanze ed eventi, di alternative ma anche di vincoli, che, strato su strato, hanno dato vita, nel corso del tempo, ad un manufatto architettonico.

Proprio per questo il rilievo diventa tanto più significativo quanto più è approfondita, in prima analisi, la ricerca delle scelte storico-architettoniche che ne hanno determinato la forma nel suo divenire e, in seconda battuta, come nel presente caso, sull'esame degli avvenimenti che ne hanno definito la necessità inderogabile.

Il chiostro della Basilica di San Nicola viene rilevato, in modo speditivo, nel contesto del terremoto che ha scosso il comune di Tolentino. Il rilievo è stato effettuato da una squadra di ricerca del Politecnico che si ripropone di intervenire nei casi di emergenza, mettendo a disposizione competenze ed attrezzature per offrire un supporto di tipo analitico. Da una parte l'analisi dei danneggiamenti subiti è fondamentale per capire quali fabbriche ed infrastrutture debbano essere messe in sicurezza e quali siano invece agibili, e come intervenire negli eventuali restauri, dall'altra tale analisi costituisce la base di partenza per documentare il patrimonio architettonico in modo sostenibile. Il tipo di rilievo impiegato rimanda l'elaborazione dei dati ad un secondo tempo, ma soprattutto permette di impiegare un lasso di tempo eccezionalmente breve per "fotografare" una situazione che necessiterebbe, se rilevata con tecniche tradizionali, di tempi lunghissimi e di una precisa pianificazione a priori.

L'utilizzo della strumentazione che si basa su tecnologia SLAM permette di ottenere nuvole di punti generate dai moderni sistemi di mapping mobile in modo rapido ed efficiente, rimandandone lo studio a posteriori. Inoltre rispetta, proprio grazie alla velocità con cui registra la tridimensionalità di una struttura, quel principio di sostenibilità da cui non ci può più esimere.

La sostenibilità, nel caso del rilievo architettonico, è da intendersi sia in termini di risparmio di tempo e di risorse, sia come ricerca generalizzata del modo più efficiente di documentare il patrimonio esistente. La documentazione ha poi, a sua volta, il doppio scopo di riconoscere il valore di un ambiente (che sia costruito o naturale) e di sancirne, proprio attraverso l'attribuzione di quel valore, la salvaguardia.

I temi che vengono trattati nel corso di questo elaborato si possono ricondurre:

- al cambiamento del modo di ottenere un rilievo in relazione alle nuove tecnologie ed alla ricerca di sostenibilità, il tipo di strumentazione che si è utilizzata per i rilievi effettuati, con particolare attenzione al tipo di rilevamento ottenuto, e l'elaborazione che si fa a posteriori, come entrambi si legano ad altri tipi di indagini ed i risultati che si possono ottenere;
- al terremoto, sia perché è l'evento che ha determinato la necessità del rilievo, sia perché è causa dei danni individuati; si studia l'evento sismico, come si classifica, quale incidenza ha sull'area trattata, quali sono i danni che provoca; come gli strumenti di analisi e documentazione possono influire positivamente sulla messa in sicurezza del patrimonio storico;
- ad un primo caso studio, oggetto di un'interessante esercitazione del corso di rilievo e fotogrammetria, che mi ha regalato il primo approccio al tipo di ricerca che si sta conducendo, e all'utilità che essa dà come contributo in casi d'emergenza;
- all'analisi territoriale dell'area su cui insiste il complesso della basilica di San Nicola, e l'indagine storica sulla costruzione indagata;
- al rilievo del convento, di cui è interessante il risultato, ma anche l'iter che ha permesso di produrlo combinato all'analisi della metodologia attraverso cui lo si è potuto ottenere, e del blocco scale, per evidenziare il grado di dettaglio che è possibile raggiungere.

La stesura di questo elaborato si limita ad affrontare i temi elencati, ma è attraverso un percorso che vengono a definirsi alcune scelte personali, ed una parte del percorso è da ritrovarsi nel titolo della tesi: sono essenzialmente due i macro argomenti che hanno motivato, per me, questo tipo di ricerca.

Uno dei due ambiti è la tecnologia SLAM, che in questo caso è applicata al rilievo, ma ha la possibilità di essere utilizzata in modo proficuo anche in altri campi. L'altro ambito è invece legato alla sostenibilità.

La prima volta che ho sentito parlare in modo non beffardo di sostenibilità è stato al primo insegnamento che ho seguito, tenuto dal professor Cavaglià, in cui venne assegnato, oltre al materiale di studio inerente al corso stesso, un saggio da leggere.

Era "Oltre i limiti dello sviluppo", e raccontava di come l'umanità si sarebbe dovuta scontrare con la consapevolezza che le risorse non sono infinite, e che lo sviluppo a livello globale avrebbe comportato dei costi non irrilevanti dal punto di vista della sostenibilità ecologica.

Anche senza fare riferimento specifico ai contenuti, è stata la prima volta che ho avuto la consapevolezza della responsabilità che dobbiamo all'ambiente che ci ospita, e l'attenzione che si deve porre in tutti i processi produttivi, in modo che l'impatto che inevitabilmente producono sia il minore possibile.

In seguito ci sono stati altri contributi, come il corso di progettazione urbanistica, che mi hanno fatto comprendere che la ricerca della sostenibilità deve essere intesa come trasversale ed applicata ovunque sia possibile: si è parlato di smart city, un modello di città intelligente e digitalizzato in cui, tanto per fare un esempio qualsiasi, la raccolta differenziata dei rifiuti è legata a dei sensori di peso posti sui cassonetti che dialogano con la gestione centrale, in modo che sia garantito lo svuotamento, ma limitatamente a quando segnalato come necessario, per non sprecare risorse mantenendo però adeguata l'efficienza.

Allo stesso modo la sostenibilità applicata al rilievo si sposa bene con le nuove tecnologie che uniscono la rapidità di raccolta dati alla possibilità di creare una più vasta documentazione del patrimonio ambientale ed antropico, allo scopo di preservarlo e difenderlo. In particolare la tecnologia SLAM, come indica il suo acronimo che sta per Simultaneous Localization And Mapping, ha la sua più significativa capacità nel mettere in grado la strumentazione che la utilizza di poter contestualmente scansire l'ambiente circostante ed autolocalizzarsi, permettendo di ottenere una grande quantità di dati con un dispendio ridotto di energie e risorse; a questo si possono aggiungere caratteristiche di portabilità (lo strumento che la impiega è leggero e compatto) e versatilità, rendendola adatta anche ad altri scopi.

Una ventina di anni fa sono stata coinvolta in un incidente automobilistico; senza entrare nel merito delle responsabilità o della dinamica voglio solo sottolineare che, essendosi chiusa la pratica giudiziaria più di cinque anni dopo, il mio ricordo e quello delle altre persone coinvolte è stato mediato dall'emozione e soprattutto dal tempo; in egual modo la testimonianza degli agenti allora intervenuti è stata lacunosa, né altro si poteva pretendere.

Quello che invece è legato all'importanza del rilievo e di una possibile memoria fotogrammetrica è la seguente: in questo caso l'unico documento effettivamente rimasto, nonché l'unico effettivamente oggettivo, è un disegno di tre veicoli su un foglio a quadretti, con indicazioni imprecise per quanto riguarda la segnaletica stradale rispetto alla posizione dei veicoli stessi, senza indicazioni metriche di alcun genere; un documento pressoché inutilizzabile, che ha portato a non poter effettivamente desumere una dinamica dell'evento.

Data la massima velocità con cui si deve, ovviamente, sgombrare una strada, non si sono potuti fare accertamenti più accurati: è importante che alla precisione si aggiungano i requisiti di celerità di cui sono dotati moltissimi dei nuovi metodi di rilievo, ed è questo che li rende utilizzabili anche in situazioni di emergenza.

Un rilievo su un luogo di incidente effettuato con tecnologia SLAM è più veloce che predisporre un disegno su un foglio di carta, a cui si deve aggiungere la necessità dell'ausilio di bindella metrica, ed è di gran lunga più preciso ed accurato. Inoltre un rilievo con strumenti di tipo tradizionale consterà unicamente di quello che al rilevatore è parso "importante" mentre tutto il resto andrà logicamente perso; viceversa una scansione raccoglie tutti i dati, e non è detto che solo i dati evidenti siano "importanti".

Come raccontano i blogger locali, in alcuni paesi l'utilizzo di questa tecnologia sta prendendo piede per predisporre rilevamenti metrici sul luogo di incidenti: in Svizzera un laser scanner 3d è in dotazione alla polizia di Zurigo dal 2015, mentre nel Canton Ticino hanno in dotazione un Faro Focus 3D che viene utilizzato in caso di incidenti gravi, e che permette di rilevare la scena con un significativo risparmio di tempo, implementando la precisione del rilevamento stesso. La polizia britannica dell'Essex ha cominciato ad usarlo per fare rilievi tridimensionali dagli incidenti stradali. Testato sulle strade londinesi, ha permesso di raccogliere il trenta per cento di informazioni in più nella metà del tempo, rispetto ai metodi tradizionali manuali. Il che significa dimezzare i tempi di chiusura o inagibilità di una strada, dopo un incidente, e avere a disposizione una copia virtuale della scena.

Si può sostenere quindi che l'utilizzo di questa tecnologia, oltre ad essere adeguata ai casi di emergenza, oltre ad essere sostenibile per economia di risorse, oltre a dare la possibilità di avere una documentazione territoriale quanto più possibile vasta, completa e puntuale, ha una versatilità che la rende conveniente anche in altri ambiti.

BIBLIOGRAFIA :

Gaeta L., Janin R. U., Mazza L., *Governo del territorio e pianificazione spaziale*, Torino, CittàStudi Edizioni, 2013

Meadows D., Meadows D., Randers J., *Oltre i limiti dello sviluppo*, Milano, Il Saggiatore, 1993

SITOGRAFIA :

Bruno P., “*Laser scanner 3D, addio ai furbetti degli incidenti stradali*” del 2/5/2012 consultato il 17/6/2018 in <https://www.tomshw.it> (url: <https://www.tomshw.it/laser-scanner-3d-addio-furbetti-degli-incidenti-stradali-39543>)

“*Scanner 3D per rivivere la scena del crimine*” articolo della redazione del 19/2/2014 consultato il 17/6/2018 in <https://www.ilmessaggero.it> (url: https://www.ilmessaggero.it/blog/daily_web/scanner_3d_rivivere_la_scena_crimine-1372945.html)

“*Scanner laser 3D alla polizia di Zurigo*”, articolo della redazione del 20/05/2015 consultato il 17/6/2018 in <https://www.tvsvizzera.it> (url: <https://www.tvsvizzera.it/tvs/scanner-laser-3d-alla-polizia-di-zurigo/42642594>)

“*Un nuovo super scanner per la polizia*”, articolo della redazione del 24/6/2015 in www.ticinonews.ch consultato il 17/5/2018 (url: <http://www.ticinonews.ch/ticino/242164/un-nuovo-super-scanner-per-la-polizia>)

1.1 Nuovo approccio al rilievo 3D

Fotogrammetria e rilievo, non solo alla scala architettonica, sono materie che hanno risentito in larghissima misura, e con risposte del tutto positive, dell'innovazione tecnologica degli ultimi anni.

Come sottolineato nelle dispense del laboratorio di geomatica¹, un cambiamento radicale è il seguente: con i metodi consolidati e la strumentazione classica era fondamentale decidere quali e quanti punti rilevare, ovvero decidere a priori uno schema di presa e seguirlo in modo puntuale: i punti da rilevare dovevano essere scelti in modo da essere significativi; con la tecnica del laser scanning (e la strumentazione associata) si ottengono delle nuvole dense di punti, da cui si possono estrapolare a posteriori i dati necessari alla restituzione tramite la costruzione di un modello tridimensionale. Mentre prima si sceglievano relativamente pochi punti, che dovevano necessariamente essere significativi, adesso ci si trova con moltissimi punti, una sovrabbondanza di dati, che permettono una descrizione efficace ed esauriente del manufatto oggetto di studio.

La possibilità di estrapolare i dati a posteriori non significa che non sia necessaria una pianificazione del rilievo. La pianificazione della fase di acquisizione dati è fondamentale per raggiungere il risultato prefissato; deve tenere conto dei vincoli legati:

- allo strumento; nel caso del rilievo LiDAR sono: la portata reale del laser, la velocità di acquisizione, il settaggio della risoluzione (che è funzione della scala a cui si deve restituire il rilievo), nel caso della fotogrammetria sono le caratteristiche del sensore focale e la risoluzione;
- all'oggetto,
- all'articolazione e complessità spaziale dell'ambiente in cui l'oggetto è situato
- alle condizioni di luce (il LiDAR non risente della scarsità di luce, mentre gli strumenti di tipo fotogrammetrico necessitano di condizioni di luce buona).

1 "Il termine geomatica nasce all'Università di Laval in Canada nei primi anni Ottanta del XX secolo. Le crescenti potenzialità offerte dal calcolo elettronico stavano rivoluzionando le scienze del rilevamento e della rappresentazione. Questa intuizione è stata impernata sulla georeferenziazione, vale a dire sull'attribuzione delle corrette coordinate geografiche. La geomatica è definita come un approccio sistemico, integrato e multidisciplinare per acquisire in modo metrico e tematico, integrare, trattare, analizzare, archiviare e distribuire dati spaziali georiferiti con continuità in formato digitale." (fonte: http://www.treccani.it/enciclopedia/geomatica-per-la-gestione-del-territorio_%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/).

La pianificazione del rilievo di tipo LiDAR deve studiare anche la percentuale di sovrapposizione dei dati acquisiti; deve garantire un buon risultato nell'orientamento delle scansioni e permettere la registrazione delle nuvole in un unico sistema di riferimento: l'unione delle nuvole è basata anche sulla loro sovrapposizione.

Un'attenta pianificazione dell'acquisizione della documentazione metrica offre dei vantaggi in termini di sostenibilità, permettendo di consumare le minori risorse possibili in termini economici e di tempo. Le nuvole di punti sono espresse in dati che sono unicamente di tipo numerico, cosa che ne consente anche una maggiore flessibilità nella possibilità di condivisione (Spanò, 2013).

Utilizzando le nuvole di punti, inoltre, si ha la possibilità di restituire dei disegni che tengano conto di deformazioni, cedimenti, trasformazioni, ovvero che sono effettivamente rispondenti allo stato reale dei luoghi: la nuvola di punti permette di ottenere un risultato acritico, che viene poi opportunamente restituito e comunicato da chi esegue l'elaborazione e l'analisi dei dati.

Il futuro della documentazione metrica, relativa al patrimonio architettonico e non, si sta configurando attraverso una continua implementazione di dati, che vengono acquisiti tramite più tipi di strumentazione e con tecniche differenti, ma il cui risultato finale è sempre più spesso rappresentato dall'elaborazione di una nuvola di punti, anche perché rappresenta il modo più flessibile di condividere i dati.

Ottenere nuvole di punti è possibile tramite l'impiego di differenti strumenti associati a specifiche tecnologie, si evidenziano in questo caso studio in particolare:

- applicazioni di fotogrammetria di tipo tradizionale
- lidar
- sistemi di mobile mapping

Tutti questi sistemi si possono associare ad una ricerca di abbattimento del costo, che può incidere sia sulla costante ricerca di rendere sempre più efficace e produttiva l'acquisizione vera e propria dei dati, sia sull'automazione dell'elaborazione dei dati acquisiti; tutti inoltre producono un risultato che si presta non solo al principio di condivisione dei dati, ma anche alla possibilità di aggiornarli ed implementarli nel tempo.

Questi metodi, d'altra parte, non possono essere utilizzati a prescindere dall'integrazione con il metodo topografico. L'inquadramento in una rete topografica è comunque necessario al fine ottenere un unico sistema di riferimento, avere un controllo della qualità metrica del modello finale (attraverso la valutazione dell'errore) e consentire la georeferenziazione dei dati (i modelli sono fisicamente inseriti in un contesto geografico, territoriale e topografico preciso e definito).

1.2 Impatto dei sistemi low cost

Il costo di produzione della tecnologia è destinato a scendere; negli ultimi vent'anni si è assistito ad un calo quasi fisiologico del prezzo delle apparecchiature, pensando anche ad oggetti di uso comune come cellulari, televisori, fotocamere, tecnologia legata all'auto. Calo che diventa ancora più significativo se collegato all'implementazione altissima delle prestazioni. (Se si pensa al telefono cellulare, ad esempio, esso ha sostituito, comprendendoli, il lettore multimediale, il navigatore satellitare, la macchina fotografica: non ha le stesse prestazioni dei singoli strumenti, ma si sta via via avvicinando ad avere delle caratteristiche qualitative molto simili; in geomatica ci sono numerose esperienze di produzione di modelli metrici che derivano da immagini che sono state acquisite tramite cellulare).

Per quanto riguarda le tecniche legate alla geomatica l'impatto dei sistemi low cost è altissimo. Come si legge nel contributo "Versatilità di metodi e tecniche della geomatica per la documentazione del patrimonio costruito. Approcci sostenibili per la valutazione sismica" lo sviluppo recente nell'elettronica e nell'informatica ha migliorato esponenzialmente gli strumenti, e di conseguenza la loro capacità di acquisizione dati; progettando un'operazione di rilievo l'integrazione delle tecniche disponibili (compreso il caso studio oggetto della presente tesi, il convento della basilica) consente di ottenere un risultato migliore utilizzando le migliori risorse ed in minore tempo. "L'ampio spettro delle soluzioni disponibili consente la selezione di quelle più appropriate, e quindi comporta il raggiungimento del risultato con minore impegno di risorse."¹

Come precedentemente accennato, la ricerca della sostenibilità si applica anche al campo del rilievo, in quanto anche la documentazione metrica deve essere studiata come un processo produttivo che consumi le minori risorse possibili in termini di economici e di tempo.

L'elevato contenuto tecnologico di strumenti e di tecniche hanno determinato un abbassamento dei costi necessari per acquisire ed elaborare i dati; inoltre i relativi processi sono sempre più sofisticati e sono basati su algoritmi matematici studiati allo scopo di automatizzarli il più possibile. Cambia anche la possibilità di fruizione dei dati, che sono messi a disposizione, in modo informatizzato, ad una più elevata quantità di utenti: proprio grazie alla natura esclusivamente numerica dei dati la condivisione è più semplice ed immediata.

¹ Spanò A. T., "Versatilità di metodi e tecniche della geomatica per la documentazione del patrimonio costruito. Approcci sostenibili per la valutazione sismica " in Ientile R., Naretto M., (a cura di), *Patrimonio architettonico e rischio sismico: un percorso tra conoscenza ed obiettivi di conservazione*, Torino, Celid, (2013).

1.3 Applicazioni della fotogrammetria tradizionale per derivare nuvole di punti

La fotogrammetria nasce come metodo di rilevamento che deriva delle misure da immagini ed è caratterizzata da:

- molteplicità di applicazioni, può essere impiegata su oggetti di qualsiasi dimensione; è utile quando, per descrivere un oggetto in modo esauriente sia necessario rilevare un gran numero di punti;
- affidabilità delle informazioni desunte, c'è il presupposto di una stima della precisione;
- capacità di inserire in un sistema di riferimento la terna della coordinate cartesiane, ovvero di collocare all'interno di uno spazio le caratteristiche e la forma dell'oggetto.

I dati che vengono registrati sono poi interpretati per fornire la “rappresentazione dell'oggetto” che, in quanto modello, è di fatto una sintesi: le informazioni devono essere comunicate in modo chiaro e leggibile, e per questo la rappresentazione è codificata.

I campi applicativi sono principalmente:

- la fotogrammetria aerea, utilizzata principalmente per la produzione della cartografia e per il rilevamento del territorio;
- la fotogrammetria terrestre;
- il telerilevamento, che acquisisce ed analizza dati da satelliti.

Il metodo fotogrammetrico, come meglio indicato nelle dispense del corso, essenzialmente riesce a trarre dei dati metrici da fotogrammi in quanto possono essere ricondotti ad una prospettiva centrale.

Nasce tutto dalla considerazione che esiste una corrispondenza geometrica biunivoca tra i punti sull'oggetto e la loro proiezione sul quadro e che, introducendo una seconda proiezione, sia possibile determinare con precisione il punto oggetto. L'apporto, anche in questo campo, dell'informatica è stato fondamentale per poter mettere a punto degli algoritmi che permettono l'automazione dei processi fotogrammetrici.

Le tre principali fasi del processo fotogrammetrico sono: la fase di presa (in cui i fotogrammi vengono acquisiti), la fase di orientamento (che determina i parametri¹ che regolano le relazioni fra punto oggetto e punto immagine), la fase di restituzione. A queste tre fasi è associato preliminarmente l'appoggio topografico che, tramite punti collimabili sui fotogrammi, permette di conoscere le coordinate di alcuni punti noti, che permettono, a loro volta, di vincolare l'orientamento. La fotogrammetria digitale presenta forti innovazioni, tutte legate a repentini cambiamenti informatici; le immagini utilizzate sono digitali, per elaborare i dati è sufficiente un pc con buone prestazioni e gli algoritmi matematici innovativi hanno reso gran parte delle operazioni automatiche.

¹ “I parametri di orientamento si dividono in: interno, serve per stabilire il sistema di riferimento dell'immagine e per definire la posizione reciproca dei centri di proiezione e dei fotogrammi, ed esterno, consente di determinare la posizione di presa e la posizione dei fotogrammi nel sistema di riferimento oggetto.”

Le immagini digitali contengono esclusivamente dati di carattere numerico (anche il dato del colore, radiometrico, è rappresentato da un numero) che, quindi, non cambiano e non si “rovinano” con il passare del tempo.

Una delle applicazioni è la fotogrammetria aerea, le cui caratteristiche, per quanto riguarda la fase di presa, sono:

- il volo è pianificato ed è costituito da linee rette fra loro parallele, l'insieme delle immagini acquisite è detto “strisciata”
- la ripresa di una data porzione di terreno appare su due fotogrammi contigui per permettere di avere il “ricoprimento longitudinale”, detto anche overlap.

Un metodo sostenibile per le riprese di tipo aereo è rappresentato dalla possibilità di utilizzare mezzi aerei non convenzionali a volo autonomo (detti UAV, Unmanned Aerial Vehicle) che rappresentano una tecnica promettente, se dotati di camere digitali ad alta risoluzione, e sostenibile (Chiabrando et al, 2012).

Terminata la fase di presa ed acquisiti i fotogrammi si utilizzano dei software che eseguono in modo automatico la fase di orientamento. Tramite algoritmi di matching, detti anche tecniche di autocorrelazione, vengono estratti dei punti di legame (tie point) che permettono di costruire un insieme con le immagini acquisite e di derivarne una nuvola di punti.

Tutte le fasi di orientamento sono eseguite in modo automatico, e grazie alla tecnica del SfM (Structure from Motion), i software sono in grado, anche senza avere i parametri di calibrazione della camera, di costruire un modello denso di punti. Il sistema SfM permette di stimare le coordinate tridimensionali di un punto ricostruendo la geometria propria dell'oggetto analizzato attraverso la posizione delle prese. I punti di legame vengono estratti in modo automatico, e quelli riconosciuti dal programma come punti omologhi vengono allineati nel successivo passaggio, che attraverso calcoli basati sulla geometria epipolare, da' origine ai modelli.

Tra i mezzi aerei non convenzionali utilizzati per il rilevamento c'è il drone: l'impiego di droni per la valutazione e il monitoraggio ambientale, che ha la necessità di misurazioni metriche, presenta dei vantaggi forti: la facilità di spostamento con cui può arrivare il mezzo in loco, la necessità di un gruppo di lavoro adatto a pilotare il mezzo esigua per numero, la possibilità di adeguare il mezzo al tipo di rilievo necessario (ad esempio dotarlo di sensori diversi o ulteriori rispetto alla camera che acquisisce le immagini: utile per rilevare altri fenomeni, tra i quali quelli potenzialmente dannosi come il fumo o il livello di inquinamento) e la capacità di poter osservare le riprese in tempo reale. Gli svantaggi possono essere il tempo di volo, ancora breve, e che quindi non permette di coprire distanze eccessive, o di essere fisicamente troppo lontani dalla zona che si intende rilevare, e la relativa esiguità della zona che si ha la possibilità di ricoprire.

1.3.1 Impiego di sistemi UAV nel rilievo del chiostro di San Nicola a Tolentino



Fig. 1 Sopra, drone Phantom 4 Pro
(fonte: <https://www.dji.com/phantom-4-pro/>
info)

Nel caso del rilievo del chiostro della basilica di San Nicola a Tolentino, viene pianificato, ed effettuato, un rilievo UAV con il drone Phantom 4 Pro (fig. 1), che ha sorvolato l'area compiendo un itinerario a serpentina e camera nadirale, ovvero con la camera rivolta verso terra (fig 3); dai fotogrammi è stata derivata per via fotogrammetrica, utilizzando il programma Photoscan, una nuvola di punti (fig. 2)

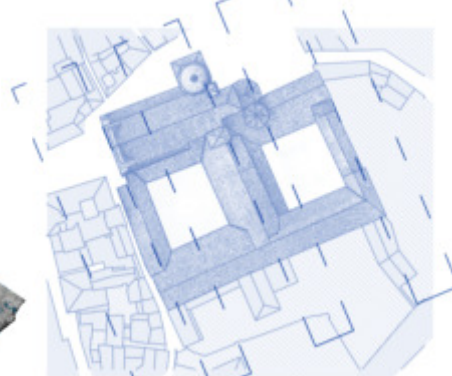


Fig. 3 Sopra, itinerario seguito
dal drone, a serpentina,
con camera nadirale

Fig. 2 Asinistra, nuvola derivata dalle
riprese UAV

1.4 LiDAR, concezione tradizionale per risultati innovativi

La tecnica della scansione laser, utilizzata a partire dalla fine degli anni '90, non si può propriamente definire di nuova concezione.

Nasce da un'evoluzione dei distanziometri ad onde elettromagnetiche: è nota come Lidar (Light detection and ranging); nonostante i primi lavori risalgano al 1989, solo con l'alleggerimento degli strumenti e l'abbassamento dei costi (eventi che sono dipendenti dall'innovazione tecnologica) questa applicazione trova spazio nel campo del rilievo architettonico.

La sua crescente diffusione, nelle diverse tipologie di impiego in cui si può declinare, e accoppiata ai sistemi di gestione di nuvole di punti, risponde a quelle esigenze di documentazione del patrimonio architettonico esistente che, sfruttando la modellazione delle aree urbane, potranno "costituire un supporto ai processi progettuali e decisionali" (Chiabrando et al, 2012).

Il funzionamento della tecnica del laser scanning terrestre si può definire come il rilevamento polare di un elevatissimo numero di punti, a partire da una sorgente

che permette di ricostruire l'immagine tridimensionale dell'oggetto tramite la risposta radiometrica di ciascuno di essi; in pratica viene convertita in modo acritico "la forma fisica di un oggetto in una serie di punti di coordinate note effettuando una selezione dei punti secondo un ordine precostituito di acquisizione, senza operare alcun tipo di selezione" (Sacerdote et al, 2007).

La sorgente è composta da luce laser, con caratteristica di monocromaticità, che si propaga con estrema direzionalità ed a grande distanza.

La distanza del singolo punto rilevato può essere determinata in modi differenti, che dipendono anche dal tipo di scansione effettuata.

I sistemi a scansione si dividono in :

- sistemi distanziometrici, in cui la misurazione della distanza può essere determinata attraverso la misurazione del tempo di volo, oppure attraverso la misura della differenza di fase
- sistemi triangolatori, in cui la misurazione viene fatta applicando il principio della fotogrammetria: il punto è rilevato come intersezione di due rette di direzione nota.

La pianificazione di un progetto di presa effettuato con laser scanner terrestre deve tenere conto di più fattori (Sacerdote et al, 2007): la velocità di acquisizione, la risoluzione delle scansioni da effettuare (che dipende dalla scala a cui l'oggetto deve essere restituito), la portata effettiva dello scanner che viene utilizzato, la forma dell'oggetto.

Il risultato della scansione è un insieme di punti di coordinate note organizzato sotto forma di nuvola in un sistema tridimensionale. Per eseguire il rilievo di un oggetto sono di norma necessarie più scansioni, da cui consegue l'esigenza di registrare le nuvole tra loro. Per registrare le nuvole ci sono più sistemi, ad esempio utilizzare una scansione come riferimento per tutte le altre, oppure utilizzare un sistema esterno alle scansioni, e definito per via topografica. Il riferimento gestito per via topografica è da preferirsi se c'è l'esigenza di georeferenziare la nuvola, o l'insieme di nuvole. Per poter registrare le nuvole tra loro è necessario che ci sia una percentuale di sovrapposizione che deve essere studiata in modo da garantire un buon ricoprimento, che di solito è del 30%.

Il laser scanner è composto di un sistema di misurazione diretta, ed ha una precisione strumentale dichiarata dalla casa costruttrice, che fornisce anche il certificato di calibrazione. I parametri legati alle caratteristiche sono diverse per ogni strumento¹, e si possono riassumere in:

- portata (massima distanza che lo strumento è in grado di rilevare)
- velocità di acquisizione (numero di punti acquisiti al secondo)
- accuratezza (grado di conformità rispetto al valore reale)
- precisione (capacità dello strumento di restituire lo stesso valore in misurazioni successive)
- classe laser (la pericolosità del raggio emesso).

1 "Laser scanner" articolo di redazione consultato il 30/6/2018, in [www. Microgeo.it](http://www.Microgeo.it) (url: <https://www.microgeo.it/it/prodotti-e-soluzioni/20151-laser-scanner.aspx>)

1.4.1

Impiego di sistemi LiDAR nel rilievo del chiostro di San Nicola a Tolentino



Fig.1 A sinistra, Leika Geosystem
(fonte:<https://www.faro.com>)

Fig.2 A destra, schema
delle posizioni di
acquisizione dello
strumento

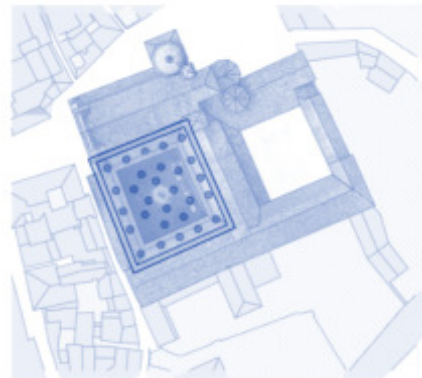
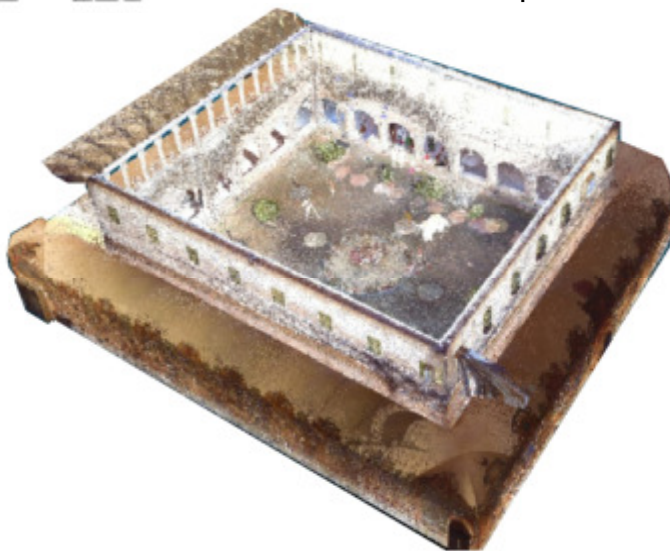


Fig.3 Sotto, nuvola derivata
dalle riprese Lidar



Nel caso del rilievo del chiostro della basilica di San Nicola a Tolentino, viene pianificato, ed effettuato, un rilievo Lidar con lo strumento Faro Focus 3D (fig. 1), che ha effettuato scansioni laser da più punti di stazione (fig. 2); le nuvole di punti ottenute sono state registrate, ottenendo una nuvola dell'intera area relativa (fig. 3).

1.5 Strumenti per la generazione di nuvole di punti

Un altro metodo per generare nuvole di punti deriva dai mobile mapping systems. Sono sistemi di rilevamento che hanno la caratteristica di combinare strumenti di rilievo (laser scanner 2d) e di navigazione (GPS).

Questo tipo di rilievo in movimento è caratterizzato dal fatto che si introduce il concetto di “traiettoria di acquisizione”. Lo strumento è di base un profilometro; registra una sequenza di sezioni verticali trasversali al moto; le prime due dimensioni sono date dalla scansione, la terza è in relazione al movimento.

La traiettoria è calcolata con il supporto di sistemi satellitari che danno informazioni di posizionamento ed orientamento, costituendo di fatto una serie ravvicinata di punti di stazione. Per questo i primi strumenti proposti erano dotati di ricevitori sia per il sistema GPS O GNSS. Si proponevano inoltre di integrare un'eventuale perdita di segnale con dati desunti dalla cartografia catastale.

Un'evoluzione è costituita dalla tecnologia SLAM (acronimo per Simultaneous Localization And Mapping) che introduce il concetto di autoorientamento, di cui si parlerà in modo specifico oltre (cfr cap. 2)

1.5.1

Impiego di sistemi SLAM nel rilievo del chiostro di San Nicola a Tolentino

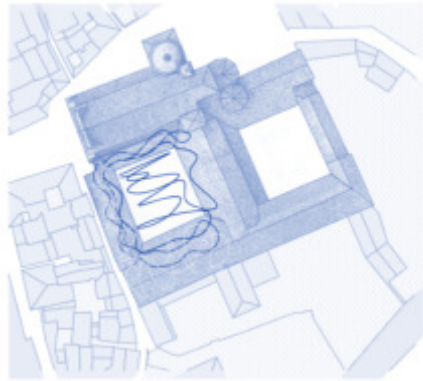


Fig. 1 A sinistra, schema degli itinerari seguiti



Fig. 2 A destra, strumento a tecnologia SLAM, ZebRevo (fonte: <https://www.geoslam.com/technology/>)

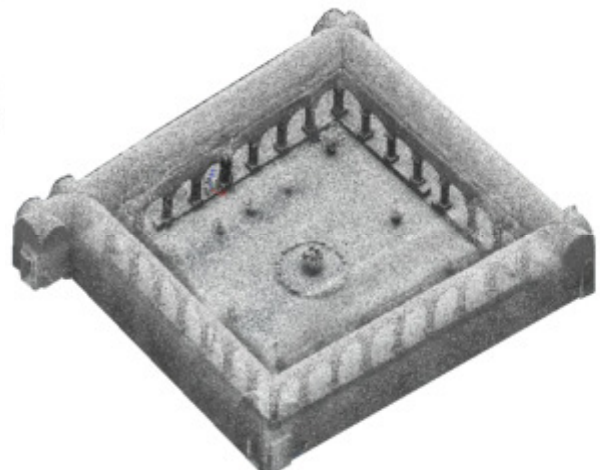


Fig. 3 A destra, nuvola di punti del chiostro, ottenuta con tecnologia SLAM; le altre due nuvole sono state rilevate all'interno del primo piano, nell'area conventuale del complesso.

Nel caso del rilievo del chiostro della basilica di San Nicola a Tolentino, vengono pianificati, ed effettuati, tre rilievi con lo strumento ZebRevo (fig. 2), che utilizza la tecnologia SLAM; le tre nuvole di punti ottenute sono state registrate sulla nuvola LiDAR del chiostro. L'itinerario è esemplificato nella figura 1.

1.6 Risultati ottenibili in termini di automatismo

La ricerca di un sempre maggiore automatismo in riferimento al risultato finale deve essere considerata nell'ottica, come precedentemente esposto, di cercare di ridurre il più possibile i costi economici e di tempo, e di rendere quanto più possibile sostenibile la produzione di dati.

Se semplificassimo i passaggi che conducono dall'oggetto alla sua rappresentazione grafica, li potremmo distinguere in tre principali fasi:

- la pianificazione del rilievo, che passa attraverso la scelta delle tecniche da utilizzare (e degli strumenti) in relazione al tipo di rilievo che si vuole ottenere, all'oggetto, all'ambiente in cui è situato;
- l'acquisizione dei dati attraverso i sistemi di volta in volta considerati più efficienti;
- l'analisi dei dati ottenuti e la restituzione degli stessi, che si relaziona al tipo di indagine che si sta effettuando ed al tipo di elaborato finale che si vuole ottenere.

I dati ottenuti dai differenti tipi di rilievo esplorati nei paragrafi precedenti sono di diverso tipo, ed hanno scale di dettaglio differenti, ma in tutti casi il prodotto del rilievo è una nuvola di punti.

La prima parte di elaborazione è effettuata dal programma che è in dotazione con lo strumento, nel caso sia della tecnologia Lidar, sia di quella SLAM, che ne processa i dati ottenuti e permette di registrarli, ottimizzarli ed esportarli in diversi formati, utilizzabili poi nei differenti tipi di programmi di gestione. Nel caso della fotogrammetria aerea UAV, l'elaborazione è fatta con software che si basano sulla ricostruzione della geometria interna (della camera) ed esterna (delle prese).

Ottenuta la nuvola su cui lavorare, ci sono alcune operazioni preliminari da compiere per poterla utilizzare al meglio. Le diverse scansioni devono essere:

- registrate, sia tra loro, sia rispetto al sistema globale di riferimento; gli strumenti non dotati di GPS (come la strumentazione a tecnologia SLAM) generano nuvole che devono essere georiferite con metodi diversi (nel caso studio del convento, le nuvole ottenute dallo strumento ZebRevo, sono state allineate a quella georiferita del chiostro);
- pulite e filtrate ; la pulizia ha lo scopo di alleggerire il file da tutti quei dati che non sono utili al rilievo), il filtraggio, o eliminazione del “rumore” ha lo scopo di eliminare quei punti che hanno una buona probabilità di non appartenere alla superficie (il filtro lavora attraverso la misurazione dello scarto fra i punti rilevati, stabilita una soglia di distanza si interviene sui punti che sono oltre il valore medio)
- eventualmente segmentate, ossia suddivise in porzioni semanticamente significative.

Per quanto riguarda la restituzione del disegno architettonico i programmi di gestione di nuvole di punti presentano soluzioni simili per quanto riguarda l'estrazione di profili di sezione, siano esse verticali oppure orizzontali.

Una parte delle operazioni di pulizia e segmentazione vengono fatte con il programma 3D Reshaper¹.

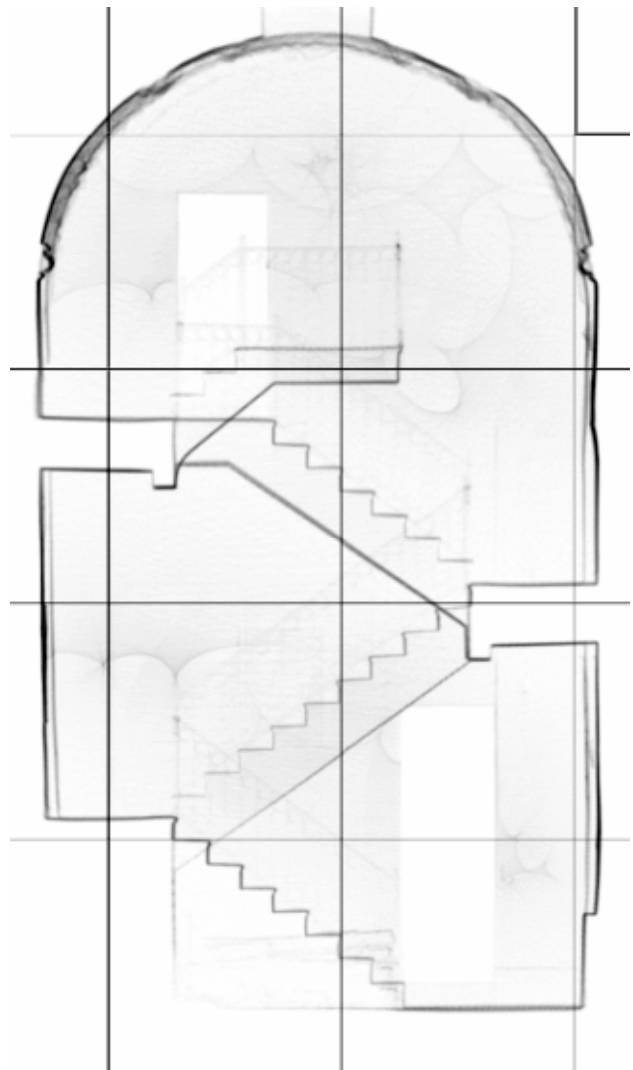
Per estrarre un profilo di sezione si danno al programma alcune indicazioni ed esso le estrae in modo automatico. Si sceglie l'area interessata, si setta lo spessore della fascia di punti da cui estrarre il profilo e la distanza tra i punti che può essere considerata accettabile per generare una linea vettoriale. I risultati sono buoni, ma non ancora tali da poter garantire un processo completamente automatico, e vanno considerati più che altro di supporto al disegnatore. Queste immagini non devono essere confuse con le ortofoto², ma possono essere

1 Alcuni dei programmi presenti sul mercato nascono da progetti pensati per la produzione meccanica; solo per citarne uno, 3dresaper, che viene utilizzato in modo massiccio per comporre porzioni di nuvola e georiferirle, nasce dall'espansione di un software di modellazione meccanica. La sua casa di produzione è la Hexagon, che è stata una delle prime ad utilizzare il controllo numerico per le macchine utensili. Il controllo numerico rende le macchine capaci di compiere dei cicli di lavorazione in modo autonomo utilizzando misurazioni di posizione, di punti ed assi di lavorazione con una precisione molto alta.

2 “L'ortofoto di precisione è una rappresentazione bidimensionale ottenibile a partire da un modello di fotogrammi orientati, per i quali cioè, è stata determinata l'esatta posizione del centro di presa nel momento dell'acquisizione dei fotogrammi. La realizzazione dell'ortofoto prevede che i singoli pixel del fotogramma originale siano proiettati dapprima sul modello altimetrico (DEM) secondo la geometria proiettiva ricostruita tramite il processo fotogrammetrico e poi su un piano, corrispondente generalmente al piano orizzontale (cartografico se ci si trova in tale ambito) oppure ad un qualsiasi piano di proiezione degli elaborati architettonici (piani di proiezione e sezione orizzontali o verticali).” (Chiabrando et al., 2017)

utilizzate come viste piane di nuvole di punti, anche colorate, e permettono di preparare la restituzione del file di disegno vero e proprio. Un software che permette di ottenere delle immagini di questo genere è Pointcab. Ottenute queste immagini dal, esse possono essere importate in un programma di disegno tecnico ed utilizzate come base per il disegno architettonico. Si avranno quindi a disposizione, oltre ai dati ordinari, anche degli spunti per eventuali indagini alternative. Se si prendesse come esempio il blocco scale, immagine a lato, e la si ingrandisse, si vedrebbe un leggero incavarsi del piano rispondente ai pianerottoli ed agli scalini, nella parte centrale degli stessi, che corrisponde al punto di maggior calpestio.

A lato, immagine del blocco scale del convento, tratta da Point Cab; con questo programma è possibile stampare in modo virtuale delle viste piane simili di nuvole di punti simili a ortofoto, su cui è possibile poi prendere delle misure reali; queste immagini possono essere importate in autocad ed utilizzate come base per il disegno architettonico convenzionale.



Oltre alla restituzione grafica classica (piante prospetti e sezioni) la nuvola di punti può essere trasformata in una mesh; il funzionamento è il seguente: i punti vengono uniti per formare delle superfici elaborate sotto forma di triangoli, il più possibile equilateri, che andranno a trasformarsi in una superficie: nel caso in cui la superficie sia interrotta (per mancanza di sufficienti dati) si può intervenire riempiendo le lacune. La restituzione sotto forma di modello tridimensionale è molto efficace dal punto di vista della comunicazione.

BIBLIOGRAFIA:

F. Chiabrando F., Donadio E., Spanò A., "Modelli 3D densi tra esperienze didattiche e ricerche di soluzioni fruibili", in, "SCAVI AD AQUILEIA III. Aquileia, l'insula tra Foro e porto fluviale Lo scavo dell'Università degli Studi di Trieste 1. La strada", Trieste, EUT Edizioni Università di Trieste, 2017, pp. 79-100)

Chiabrando F., Spanò A. T. "*I sistemi laser scanning nei progetti e percorsi formativi d'architettura*", Bollettino della società italiana di fotogrammetria e topografia, Sifet, 2012

Sacerdote F., Tucci G., (a cura di), "*Sistemi a scansione per l'architettura e il territorio*", Alinea Editrice, Firenze, 2007

Spanò A. T., "*Versatilità di metodi e tecniche della geomatica per la documentazione del patrimonio costruito. Approcci sostenibili per la valutazione sismica*" in Ientile R., Naretto M., (a cura di), *Patrimonio architettonico e rischio sismico: un percorso tra conoscenza ed obiettivi di conservazione*, Torino, Celid, (2013).

SITOGRAFIA:

<https://www.dji.com>

<https://www.faro.com>

<https://www.geoslam.com/technology/>

<http://www.treccani.it> per la voce geomatica

"*Laser scanner*" articolo di redazione consultato il 30/6/2018, in [www. Microgeo.it](http://www.microgeo.it) (url: <https://www.microgeo.it/it/prodotti-e-soluzioni/20151-laser-scanner.aspx>)

"*Mezzi aerei non convenzionali a volo autonomo per il rilievo fotogrammetrico in ambito archeologico*" di Chiabrando F., Lingua A., Maschio P., Rinaudo F., Spanò A. - Formato elettronico - (2012), pp. 1-12. (Intervento presentato al convegno Una giornata informale per i 70 anni del Prof. Carlo Monti - 3 Maggio 2012 tenutosi a Milano nel 3 maggio 2012)

DEGLI HAND-HELD SCANNER MOBILI

2.1 Come nasce la tecnologia SLAM

La tecnologia SLAM, utilizzata nel presente caso dal gruppo di ricerca in fotogrammetria del Politecnico, presenta diversi vantaggi: ha delle ottime caratteristiche di portabilità, permette una grande flessibilità nelle diverse tipologie di utilizzo, ed ha, durante l'acquisizione dei dati, una rapidità molto elevata nella generazione di nuvole di punti.

In particolare le due caratteristiche combinate di portabilità e rapidità nel rilievo, la rende evidentemente molto efficace in condizioni di presa che presentino problemi di vario genere: nel presente caso si tratta di cercare di analizzare in tempi brevi il patrimonio architettonico per fornire dati in merito al rischio sismico, ma potrebbe essere molto efficace in luoghi in cui è impossibile fare misurazioni esterne di controllo, come i locali interrati: per restare in tema, ad esempio, le cripte presentano spesso delle tipologie architettoniche interessanti e complesse, ma è impossibile confrontarle con un perimetro esterno che dia dei punti di controllo. Inoltre non risente delle condizioni di luce, quindi anche locali bui vengono scansionati con identica accuratezza.

Lo studio di questa tecnologia è orientata ad un sempre maggiore automatismo nei progetti di presa ed anche di restituzione del rilievo, e permetterebbe, immaginando di utilizzarla su larga scala, di avere una documentazione di base sia del territorio, sia del patrimonio architettonico, molto estesa, e di poterne disporre in relazione alle situazioni problematiche o di rischio (sia il rischio di tipo ambientale o antropico).

La tecnologia SLAM¹ (acronimo per Simultaneous Localization And Mapping) originariamente è stata sviluppata in relazione alla robotica, ma ha trovato larga applicazione non solo nelle tecnologie di rilevamento ma anche, ad esempio, nella risoluzione dei problemi legati alla guida autonoma. In poche parole la sua capacità sta nel consentire ad un dispositivo di determinare la sua posizione mentre sta rilevando in modo simultaneo un ambiente sconosciuto. Si tratta di dispositivi che, pur facendo misurazioni estremamente accurate, le acquisiscono in modo concatenato e questo tenderà a portare un accumulo di errori ed incertezze.

L'algoritmo che utilizza la tecnologia SLAM è basata sullo sfruttamento delle caratteristiche geometriche dell'ambiente scansito, e lavora sia sulla stima della traiettoria sia sulla registrazione globale.

¹ Per le informazioni relative alla tecnologia SLAM: fonte Sammartano G., Spanò A. T., "Point clouds by SLAM-based mobile mapping systems: accuracy and geometric content validation in multisensor survey and stand-alone acquisition" articolo del 15/1/2018 in Applied Geomatics <https://doi.org/10.1007/s12518-018-0221-7>

La traiettoria è analizzata da un algoritmo che utilizza le funzioni di traslazione e rotazione in funzione del tempo percorso. Il profilatore laser scansiona in modo continuo dei segmenti che sono progressivamente inseriti in una ricostruzione tridimensionale dell'ambiente che si va esplorando, cercando la migliore corrispondenza rispetto alle caratteristiche della superficie analizzata. Durante l'acquisizione lo strumento che utilizza questa tecnologia fa una continua registrazione dei profili, garantendo la precisione dichiarata e minimizzando gli errori.

In poche parole la tecnologia SLAM affina il processo grazie al quale uno strumento che si muove in un ambiente sconosciuto riesce in modo simultaneo a costruire la mappa di tale ambiente ed a localizzarsi in essa: si tratta di un sistema autoorientante che, a differenza degli scanner terrestri che non possono essere assolutamente spostati nel corso della presa, garantisce ottime prestazioni proprio nel caso in cui, viceversa, sia necessario spostarsi.

Inoltre, pensando ad analoghe acquisizioni da uno scanner fisso, nel caso di rilievi in ambienti interni è necessario spostarlo innumerevoli volte, rimettendolo ogni volta in stazione, e generando acquisizioni che devono poi essere comunque riferite ad un insieme unico, per arrivare a costituire la nuvola complessiva degli interni. Con questa tecnologia, invece, con un'unica scansione, un unico rilievo, si ottiene la mappatura (la nuvola) di più ambienti, già messi in relazione tra loro.

Praticamente l'unico problema che presenta questo tipo di tecnologia è legato agli errori da deriva; un errore minimo risulterà, se si pensa ad una grande distanza, ad un errore relativamente importante, proprio per il suo aumento lineare. In pratica, nel succedersi del tempo e nell'avanzare nello spazio, il movimento processato inizierà ad avere una deviazione rispetto al movimento effettuato realmente: produrrà un errore, chiamato "errore di deriva".

A volte questo tipo di errore si manifesta sotto forma di una leggera flessione (ad esempio corridoi retti, molto lunghi, che presentano, nelle scansioni, una lieve curvatura). Possono essere tuttavia corretti in diversi modi: appoggiando ad esempio il rilievo di ambienti interni ad una scansione esterna di tipo tradizionale, oppure chiudendo il circuito, in modo da ridurre sensibilmente l'entità dell'errore. Inoltre anche la quantità di dati influisce sull'acquisizione, itinerari di 20/30 minuti, con un movimento di circa 1/1,5 metri al secondo.

Fig.1 Junior, auto in prova progettata all'università di Stanford; le auto a guida autonoma basano la loro "capacità di guida" su un insieme di tecnologie combinate, le cui funzioni in parte si sovrappongono: scandagliano l'ambiente con radar, lidar, GPS e visione artificiale, ma il cambiamento è stato dato proprio dall'utilizzo della tecnologia SLAM, che permette loro di sincronizzare la propria localizzazione e la scansione di ambienti sconosciuti (fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/>)



2.2 Strumentazione tecnologica utilizzata: lo scanner ZebRevo

Questo tipo di tecnologia è applicata a strumenti di dimensione contenuta e con un peso ridotto, cosa che ne garantisce la portatilità; ce ne sono di differenti case di produzione; si prende qua in considerazione lo strumento ZEBREVO nello specifico, perché utilizzato nel corso di questo rilievo, ma le caratteristiche di altri scanner portatili sono apparentemente simili in quanto a risultati e prestazioni dichiarate.

Per quanto riguarda il suo specifico funzionamento, semplificando, si può dire che lo strumento Zeb, prodotto dalla Geoslam, è composto da una testa mobile equipaggiata con laser che cattura un profilo bidimensionale; non è dotato di ricevitore GNSS e non registra i dati relativi al colore. Il sistema fa delle misurazioni utilizzando un giroscopio triassiale, accelerometri e un magnetometro a tre assi. Nello strumento Zeb1, predecessore dello ZebRevo, la testa mobile si muoveva durante il movimento dell'operatore, o del veicolo, in modo "libero" mentre con l'implementazione fatta sullo strumento ZebRevo il sensore è sottoposto ad una rotazione regolare ed automatica. (traduzione da G. Sammartano, A. T. Spanò, 2018)

Ha una grande versatilità di utilizzo, e non ha la necessità di appoggiarsi ad una rete GPS o GNSS. Processa i dati in tempo reale, cosa che gli permette di autoorientarsi. Lavora ad una frequenza di 100 Hz, e possono essere settate alcune variabili, ad esempio l'accuratezza di acquisizione, che sarà diversa sia a seconda del risultato che si desidera ottenere, sia del tipo di ambiente che sarà rilevato (è del tutto ovvio che un rilievo di servizio ad un restauro ha delle necessità di precisione del tutto diverse rispetto alla localizzazione di alberi in un ambiente boschivo). I tempi dichiarati sono di quest'ordine: in circa mezz'ora si può ottenere una scansione tridimensionale di un edificio di tre piani, e per circa 10.000 mq di superficie è necessaria un'ora, impostando un livello di accuratezza di 15 mm.¹ Non deve essere necessariamente portato a mano da un operatore, ma può essere montato su un qualsiasi veicolo terrestre o aereo, purchè ne supporti il peso. Lo strumento è dotato di un software che permette di trasformare in un tempo breve i dati ottenuti nella costruzione di una nuvola di punti tridimensionale e registrata, offrendo un risultato rapido e accurato; è in questa fase che eventuali errori (ad esempio in presenza di un circuito chiuso) possono essere in gran parte corretti in modo automatico.



Fig. 2 Lo strumento ZebRevo
(fonte: <https://geoslam.com>)

1 Dati forniti dalla casa di produzione (fonte: <https://geoslam.com/technology/>)

I dati vengono poi esportati in un formato che è possibile leggere in diversi programmi di gestione di nuvole di punti. Nel presente caso sono stati esportati come file LAS, che possono essere trattati con il programma CloudCompare.

Nella tabella seguente vengono riassunte le caratteristiche proprie dello strumento, oltre a quelle del sensore laser e della camera ad esso associate; si riportano poi alcuni dati essenziali che riguardano la quantità di dati che vengono immagazzinati ed il grado di precisione che lo strumento raggiunge. Per le caratteristiche si è fatto riferimento al sito www.geoslam.com

CARATTERISTICHE dello strumento		CARATTERISTICHE del sensore		CARATTERISTICHE della camera	
Peso	4,1 kg	Sicurezza	classe I	Tipo	Go Pro
Dimensioni	86x113x287 mm	Lunghezza d'onda del laser	905 nm	Modalità di ripresa	Video
Range massimo di presa in esterno	30 mt	Velocità di frequenza	100 hz	Risoluzione video	1440 p
Range massimo di presa in interno	15/20 mt			Fotogrammi	30
Velocità acquisizione dati	43.200 pt/sec			Risoluzione immagini	1920x1440

DATI		PRECISIONE	
Memoria dati	55 GB	Precisione relativa	1 a 3 cm
Dimensione dei file	~ 10 MB/1 min di scansione	Precisione di posizione	3 a 30 cm, al superare dei 10 min di scansione 1 loop
Processazione dei dati	~ 8 MB/1 min di scansione		

2.3 Dalla scansione all'elaborazione

La scansione che viene ottenuta dallo ZebRevo, elaborata in modo contemporaneo alla presa dallo strumento stesso, deve essere poi inserita nel suo programma che la ricalcola e la trasforma in formati supportati da altri software. Il programma effettua un primo tipo di autocorrezione se si è in presenza di una scansione a circuito chiuso: in questo caso, dato che i primi e gli ultimi punti scansionati devono coincidere, effettua in automatico una correzione dell'eventuale deriva.

I passaggi successivi permettono di arrivare al disegno tecnico convenzionale e sono sinteticamente tre.

1 GEORIFERIMENTO E ORIENTAMENTO

Il primo passaggio è scaricare i dati ottenuti, inserendoli nel software proprio dello strumento.

- 2 Lo scanner non è dotato di sistema di localizzazione assoluto interno (GPS) e quindi ha una gestione dei singoli punti molto più snella: la stringa numerica legata ad ogni singolo punto, parlando della composizione matematica del numero, è molto più breve, lo strumento elabora in modo simultaneo la localizzazione e la scansione. La mancanza di GPS rende necessario georiferire la nuvola di punti ottenuta utilizzando dei riferimenti esterni ad essa; nel presente caso lo si è fatto attraverso una scansione da laser terrestre (georiferita, orientata), a cui la nuvola è stata allineata; è possibile fare quest'operazione avendo una parte di punti in comune, essi vengono riconosciuti dai software tramite algoritmi e le nuvole vengono adattate in modo semiautomatico.

3 PULITURA E REVISIONE

La nuvola che viene così ottenuta, a questo punto georiferita, e di conseguenza orientata, è pronta per essere trattata con i vari filtri; la si alleggerisce di tutte le parti che non sono utili al rilievo (che possono essere vegetazione, parti di edifici contigui, ma anche persone, ad esempio). In questa fase è possibile intervenire anche su altri parametri, ad esempio la dimensione dei punti, o la densificazione dei punti stessi; non c'è una regola di settaggio fissa, essi permettono di vedere particolari differenti ed è di volta in volta che si decide quale tipo di impostazione è migliore. La nuvola conserva anche i dati relativi ai tempi di acquisizione, che potrebbe essere necessario verificare, anche per comprendere meglio, nel caso in cui ci siano state derive, in quale punto si siano verificate e, di conseguenza, da cosa siano state prodotte. Se ci fossero state delle derive, e se si hanno a disposizione più scansioni, o la possibilità di avere dei punti di controllo, a questo punto è possibile effettuare delle correzioni.

3 ESPORTAZIONE

Il file così ottenuto, georiferito e orientato, pulito e alleggerito, è pronto per essere esportato in formati che siano supportati dai programmi di disegno utilizzati correntemente per ricavare dei disegni architettonici.



Fig. 3 Si tratta di una vista orizzontale di una parte del corridoio e di alcune camere, tratta dal file relativo al rilievo effettuato con tecnologia SLAM del convento. E' immediatamente leggibile la scansione fra i vuoti ed i pieni, il che permette di individuare l'ossatura dell'edificio, la profondità delle finestre, eventualmente anche la disposizione dei mobili.

2.4 Vantaggi della tecnologia SLAM ed eventuali problemi riscontrati

I vantaggi della tecnologia SLAM si possono riassumere in tre parole: portabilità, rapidità e versatilità.

La **portabilità** è intrinseca alle caratteristiche dello strumento: il peso è di circa 4 kg, e le dimensioni sono ridotte, inoltre può essere portato a mano, inserito in uno zaino, collegato ad un veicolo, sia terrestre che aereo.

La **rapidità** è leggibile in parte nei requisiti: scansisce, e processa, circa 10 Mb di dati raccolti al minuto, ed ha una capacità di memoria di circa 55 Gb. Dal punto di vista percettivo si può dire che può fare una scansione alla velocità a cui cammina l'operatore; naturalmente il risultato dipenderà sia dalla velocità a cui ci si muove, sia dal livello di accuratezza impostato sullo strumento.

Per quanto riguarda la **versatilità** dello strumento, esso si presta all'applicazione in diversi ambiti legati al rilievo:

- edifici in cui può essere azzardato attardarsi, o in cui è difficile accedere fisicamente ad alcuni spazi;
- ambienti sotterranei, le cui relazioni non possono essere legate ad una localizzazione GPS (per motivi propri dell'ambiente stesso, come miniere, cave, costruzioni in pietra, in cui il segnale non penetra);
- ambienti esterni, per i quali è necessario un monitoraggio costante, rapido, e per cui non sono necessari livelli alti di accuratezza (ad esempio per tenere sotto controllo aree boschive).

L'unico problema che si è riscontrato è legato ad un errore di deriva; un minimo disallineamento sul piano orizzontale di una zona particolarmente complessa, per accedere alla quale è stato necessario movimentare dei volumi (porte), ed uno invece un po' più consistente sull'asse z, che corrisponde all'area fisicamente più lontana dal punto di partenza ed arrivo del percorso.

L'errore di deriva consiste nel fatto che, senza punti di controllo intermedi, si assiste ad una propagazione dell'errore; essendo i punti di scansione concatenati, un minimo scarto accumulerà una serie di incertezze.

In conclusione:

- lo strumento si confa' ai principi di sostenibilità, da ricercarsi in ogni ambito produttivo, relativi all'economia di tempo e di risorse, grazie all'alta automazione dei processi di acquisizione ed elaborazione dati;
- le condizioni in cui è stato effettuato il rilievo, nel corso delle analisi da condursi sul patrimonio architettonico a seguito di un evento sismico importante hanno presupposto due necessità a cui la tecnologia SLAM risponde molto bene: da una parte la capacità di produrre un rilievo senza una precisa pianificazione a priori, dall'altra la rapidità con cui lo strumento produce una raccolta dati esaustiva.
- considerando i risultati ottenuti, esposti nel paragrafo 1 del capitolo 7, si può definire come molto buono il risultato raggiunto: l'errore è comunque di entità ridotta, considerando la lunghezza del percorso, inoltre può essere in parte corretto, ed è compensato largamente dai vantaggi dello strumento utilizzato.

SITOGRAFIA:

<https://en.wikipedia.org>

<https://geoslam.com/technology/>

“Le auto a guida autonoma” pdf consultato il 10/5/2018 in <https://www.arval.it/> (url: https://www.arval.it/cvo/sites/it--cvo/files/media/pdf/libri/le_auto_a_guida_autonoma_pdf_protetto.pdf)

“Mappare gli interni con le nuove tecnologie SLAM” articolo della redazione 10/2/2018 consultato il 10/5/2018 in <https://www.rivistageomedia.it/> (url: <https://www.rivistageomedia.it/2018021011024/rilievo-e-localizzazione/mappare-gli-interni-con-le-nuove-tecnologie-slam>)

Sammartano G., Spanò A. T., “Point clouds by SLAM-based mobile mapping systems: accuracy and geometric content validation in multisensor survey and stand-alone acquisition” articolo del 15/1/2018 in Applied Geomatics <https://doi.org/10.1007/s12518-018-0221-7>

3.1 L'attività sismica dal punto di vista geologico

Uno dei casi in cui un rilievo non ha la possibilità di una pianificazione a priori è proprio quello in cui si siano presentati eventi inaspettati tali da renderlo necessario.

L'Italia ha un'attività sismica consistente per più dell'80% del territorio.

Una situazione complicata, perché le caratteristiche di questa attività hanno notevoli variazioni da una zona all'altra. L'attività sismica del nostro paese è concentrata soprattutto sulle Alpi orientali e lungo la catena appenninica, fino alla Sicilia. Solo della Sardegna e del Salento si può dire che siano zone completamente asismiche.

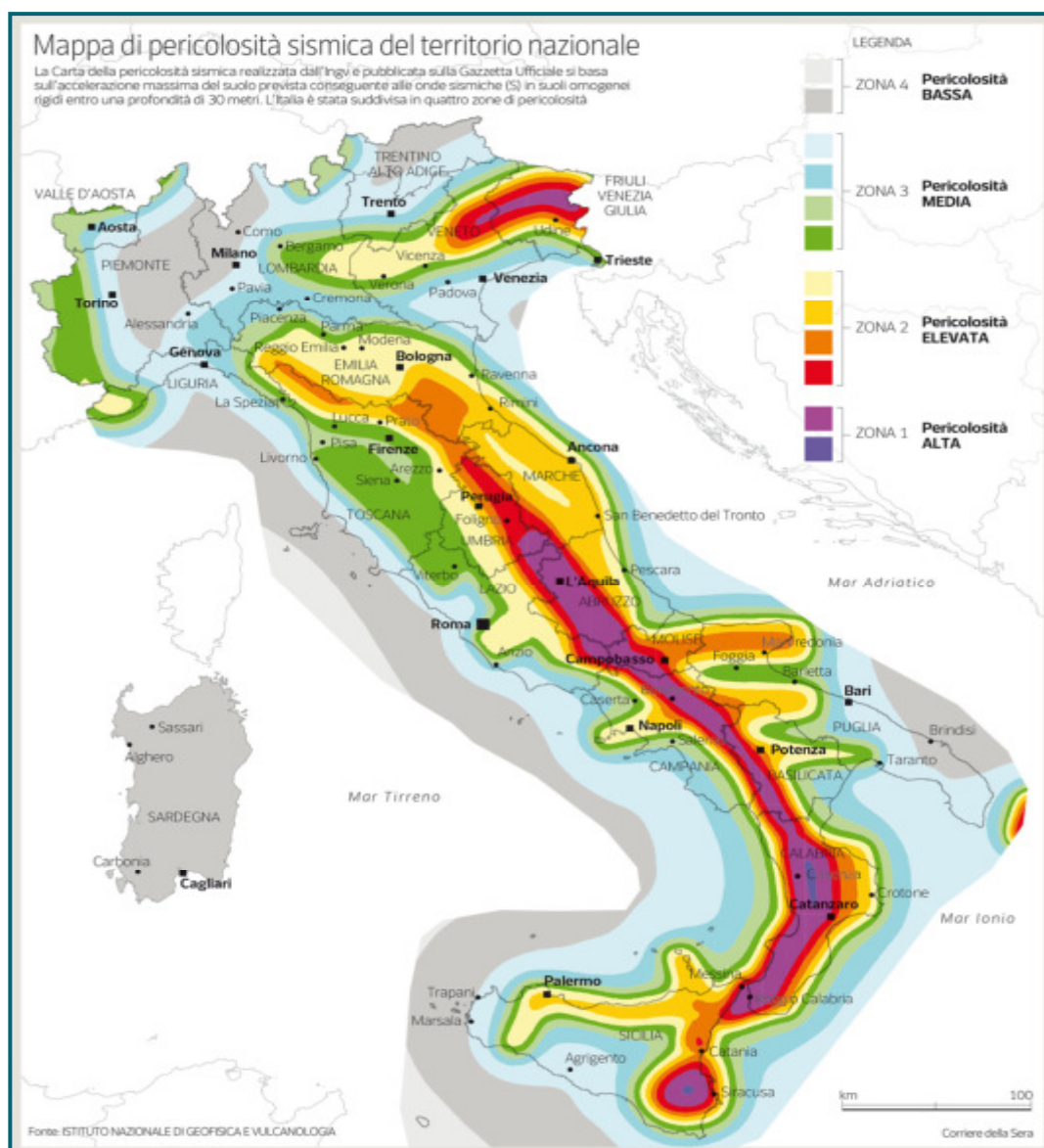


Fig. 1

"Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale" (fonte: <http://www.corriere.it>)

In Italia è attivo l'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), che si occupa di osservare i fenomeni che sono in atto sul sistema Terra, e di sviluppare le conoscenze scientifiche ad esso in relazione. I suoi obiettivi, oltre la conoscenza delle dinamiche legate alla geofisica, si legano al tentativo di mitigazione dei danni naturali associati.

Sul sito dell'INGV, e sul blog correlato, è possibile raccogliere informazioni sugli eventi passati ed in atto, oltre a informazioni di carattere generale che qui si riportano. La magnitudo massima dei terremoti che storicamente hanno avuto origine nella regione italiana è circa 7. L'attività sismica è prevalentemente superficiale: le sorgenti dei terremoti si trovano in genere nella crosta terrestre e a profondità dell'ordine dei 10 km: per questo anche eventi sismici con magnitudo non molto alta possono essere piuttosto pericolosi. Peraltro, sebbene la pericolosità sismica non raggiunga i livelli di altre regioni della Terra, la vulnerabilità e l'esposizione elevate contribuiscono a determinare un alto rischio sismico.

Terremoto¹ è una parola composta da due termini di origine latina, terrae motus, che letteralmente significa “movimento della terra” e in geofisica viene definito come “vibrazione o assestamento improvviso della crosta terrestre, provocati dallo spostamento altrettanto improvviso di una massa rocciosa nel sottosuolo”.

Tale spostamento, generato dalle forze che agiscono in modo costante all'interno della crosta terrestre ed è dato dalla liberazione di energia in una zona interna della terra (ipocentro), che si trova in genere al di sopra di fratture preesistenti (le faglie).

A partire dalla frattura vengono generate una serie di onde elastiche (onde sismiche) che si propagano in ogni direzione e che danno vita al fenomeno che si vede poi in superficie. Il luogo sulla superficie che è situato sulla verticale dell'ipocentro è l'epicentro del sisma stesso. La maggioranza dei terremoti sono detti di “interplacca”: sono infatti concentrati in zone ben definite, solitamente in prossimità dei confini tra due placche tettoniche, e in corrispondenza delle faglie.

Il modello della tettonica a placche dice “che il movimento delle placche è lento, costante ed impercettibile e che genera distorsioni, modellando le rocce, sia in superficie che al di sotto di essa”¹.

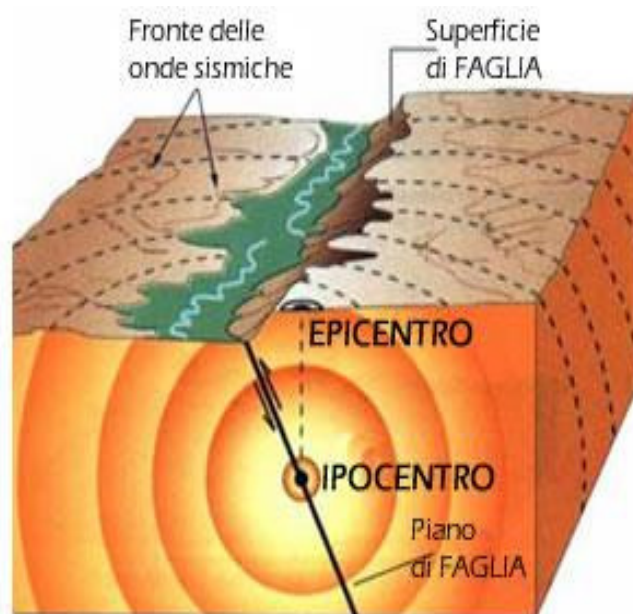


Fig. 2

Schema di propagazione e rottura
(fonte: <http://www.difesambiente.it>)

¹ Le informazioni sul fenomeno geologico sono desunte dalla voce “terremoto” in www.treccani.it/enciclopedia

In alcuni momenti, ed in certe aree, tali movimenti si arrestano e la superficie coinvolta tende ad accumulare tensione fino al raggiungimento del carico di rottura. Una volta che si è raggiunta tale soglia, l'energia accumulata supera le forze di resistenza causando un intenso, repentino e improvviso spostamento della massa coinvolta. "Questo movimento rilascia in pochi secondi energia accumulata per decine, o, a volte, centinaia di anni, generando così le onde sismiche ed il terremoto ad esse associato. A volte il terremoto è preceduto dallo "sciame sismico", che consiste in più terremoti, ripetuti nel tempo, che insistono sulla stessa area e, se la sua magnitudo è elevata, ad esso si accompagnano spesso repliche, erroneamente definite scosse di assestamento, che seguono l'evento principale" (fonte: <https://it.wikipedia.org/wiki/Terremoto>).

Gli strumenti che misurano l'intensità delle onde sismiche sono i sismografi, e l'elaborazione incrociata di dati provenienti da più stazioni permette di individuare in modo abbastanza esatto l'epicentro, l'ipocentro e la portata dell'evento. L'intensità si valuta attraverso tre scale sismiche: la scala Mercalli², la scala Richter¹ e la scala di magnitudo del momento sismico.

SCALA MERCALLI	
I - II	Percezione strumentale
III - IV	Percezione crescente, reazioni di paura, caduta di oggetti, ma nessun danno
V - VII	Danni lievi agli edifici, soprattutto se non antisismici
VIII - XI	Crolli e distruzione di una percentuale crescente di edifici

Fig. 3 Tabella di percezione dei danni della scala Mercalli
(fonte: <http://ingvterremoti.wordpress.com>)

La scala Richter misura l'energia che sprigiona il terremoto, mentre la scala Mercalli si basa sull'intensità del fenomeno percepita soggettivamente e sui danni ai manufatti (risentendo per cui anche della distanza effettiva del centro colpito dal sisma, e dalle eventuali tipologie costruttive della regione). Oggi la scala Richter è detta "scala della magnitudo locale", non ha suddivisioni in gradi discreti ma indica l'energia sprigionata in scala logaritmica, ponendo lo zero ad un'energia di 100.000 joule.

Per poter calcolare la magnitudo di un terremoto, in questo momento, si utilizzano dati basati su parametri diversi e disponibili in tempi diversi, ma tutti utili a definirne la scala. L'obiettivo è ottenere misure che siano il più possibile precise, anche se sono sicuramente soggette a un certo margine di incertezza. Per questo motivo può succedere di avere misure diverse della magnitudo di uno stesso terremoto.

Si utilizza in genere la magnitudo Richter, che "misura l'ampiezza massima del sismogramma, ossia del tracciato che arriva nella sala sismica e che registra le misure fatte dai sismografi" (fonte: <https://it.wikipedia.org/wiki/Terremoto>).

1 Charles Francis Richter, (1900-1985) fu un famoso sismologo e fisico statunitense; diede il nome alla scala di magnitudo dei terremoti.

2 Giuseppe Mercalli, (1850-1914) fu un geologo, sismologo, vulcanologo italiano, ideatore della scala che porta il suo nome, ebbe l'idea di misurare il terremoto attraverso l'osservazione dei danni e delle modifiche da esso prodotte.

Per quanto riguarda i fenomeni di centro Italia, l'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), ad esempio, utilizza un modello calibrato proprio per tale area e basato su dati che arrivano da una rete di stazioni sismiche con una densità decisamente maggiore rispetto a quella delle altre agenzie internazionali che utilizzano modelli diversi.

M ¹	TNT EQUIVALENTI	ENERGIA IN JOULE	EFFETTI AL SUOLO	FREQUENZA NEL MONDO	EQUIVALENZA CON SCALA MERCALLI
0	1,0 kg	63 Kj	può essere registrato solo tramite adeguate apparecchiature	circa 8.000 al giorno	I
1	31,6 kg				
2	1 t	89 MJ	poca gente lo può avvertire come passaggio di un camion, i bicchieri vibrano	circa 1.000 al giorno	II - III
3	31,6 t	2 GJ	solo coloro che si trovano in posizione supina possono avvertirlo, il pendolo si muove	circa 130 al giorno	III - IV
4	1000 t	46 GJ	normalmente viene avvertito, bicchieri e piatti tintinnano, reca piccoli danni	circa 15 al giorno	V - VI
5	31600 t		tutti lo avvertono come scioccante, molte fessurazioni sulle mura crollo parziale o totale di alcune case, pochi morti e feriti	2/3 al giorno	VII
6	1 mln t	63 TJ	tutti lo percepiscono, panico dilagante, crollo di case, spesso morti e feriti, onde alte	120 all'anno	VIII
7	31,6 mln t		panico, pericolo di morte negli edifici, pochissime costruzioni rimangono illese, morti e feriti, onde altissime	18 all'anno	IX
8	1 mld t	45 PJ	ovunque pericolo di morte, edifici inagibili, onde alte fino a 40 mt	1 all'anno	X
9	31,6 mld t		spostamento delle terre, numerosissimi morti, totale allagamento dei territori interessati, quasi nessun sopravvissuto	1 ogni venti anni	XII
10	1000 mld t			sconosciuto	XII

1 M per magnitudo

Fig. 4 Tabella di confronto tra la scala Richter e la scala Mercalli
(fonte: per la scala Mercalli <http://www.protezionecivile.gov.it/>,
per la scala Richter <http://www.protezionecivile.gov.it/>)

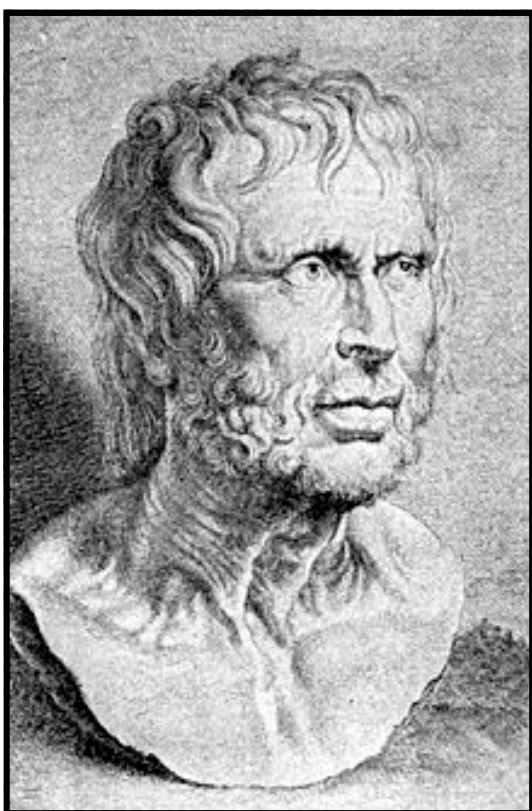
3.2 Il territorio di centro Italia e gli eventi sismici: dal 62 D.C. al 2000

L'attività sismica nelle regioni del Centro Italia è stata senza dubbio più frequente e disastrosa nel corso dei secoli rispetto ad altre realtà, come ad esempio può essere l'ovest del Nord Italia, a causa proprio della sua conformazione geofisica. La dorsale appenninica è infatti una zona di fortissime tensioni, ed il territorio ne è vittima. I terremoti di cui si ha memoria sono innumerevoli, soprattutto se si considerano attendibili anche le fonti documentali più antiche.

3.2.1 Dall'anno 62 d.C. al XIX secolo

Più si va indietro nel tempo, maggiore è la possibilità che le testimonianze degli eventi meno rilevanti siano andate perdute, mentre per quanto riguarda il novecento e il corrente secolo, è ovviamente più facile avere dati più completi.

In età antica sicuramente uno dei documenti più interessanti è il VI libro delle "Le questioni naturali" di Seneca. Un disastroso terremoto si era verificato solo pochi mesi prima della stesura del suo trattato nel quale si proponeva di trattare argomenti scientifici (astronomia, meteorologia e geologia, quindi anche l'analisi dei fenomeni sismici). Era turbato dalle notizie del terremoto: nel suo caso si trattava del sisma che il 5 febbraio del 62 d.C. aveva distrutto quasi completamente la città di Pompei. Prima della più nota eruzione del Vesuvio del 79 d.C., Pompei era già stata duramente colpita da un terremoto: la città sepolta dall'eruzione del vulcano era perciò una città in fieri, in parte ultimata, in parte ancora in corso. Nei sette libri dedicati dal filosofo spagnolo alle Ricerche naturali, il sesto è quello riservato ai terremoti: scritto a partire dall'anno 62, esso si apre proprio con la notizia della allora recentissima rovina di Pompei. La trattazione è scritta in due parti: l'attualità prima, in questo caso gli avvenimenti campani, poi la ricerca delle cause del sisma, e in ultimo la ricaduta sulle genti, quelli coinvolti nella catastrofe, ma anche coloro che non lo erano stati. Dopo le informazioni che da' su vittime e edifici in rovina, non solo a Pompei, ma anche a Ercolano, a Nocera e a Napoli, Seneca avvia una meditazione in cui cerca di immedesimarsi negli uomini smarriti per la paura, "che assistono allo scricchiolio degli edifici, che fuggono a precipizio, che osservano lo sfacelo generale, impotenti davanti alle forze della natura" (Seneca, VI libro).



Seneca, che con il suo razionalismo rimproverava quanti attribuivano alla collera divina quello che in realtà è un fenomeno naturale, aveva un criterio che era proprio dei filosofi: anche dopo e durante l'età della Roma divenuta cristiana, i terremoti erano considerati come un segno dell'ira divina. Gli scienziati, a volte osteggiati apertamente, hanno cercato per secoli di fare luce su questo evento, inserendolo nell'ordine naturale delle cose, ma solo con l'avvento della teoria della tettonica a placche la creazione dei moderni sismografi, quindi tramite la misurazione effettiva dei movimenti a cui è soggetta la crosta terrestre.

Fig. 5 Ritratto di Seneca ad opera di Rubens
(fonte: <http://www.artic.edu>)

Altri eventi sismici vengono descritti a partire dalla caduta dell'Impero Romano d'Occidente¹:

<u>V secolo</u>	“nel 442 o 443: Roma fu colpita da un terremoto che fece crollare statue ed i “portici nuovi”, forse da identificare con le due parti del portico del Teatro di Pompeo. A questo terremoto venne attribuita inoltre la responsabilità di un crollo nella navata maggiore della Basilica di San Paolo fuori le mura. Danneggiati anche il Colosseo e l'Anfiteatro romano; nel 476: altro terremoto a Roma, con parziale distruzione della città e scosse durarono per 40 giorni.”
<u>IX secolo</u>	“nell’aprile dell’801: con epicentro tra Spoleto e Perugia, questo terremoto fu rovinoso. A Roma crollarono i tetti della chiesa di San Paolo apostolo. Anche la chiesa di Santa Petronilla sembra sia caduta per effetto di questo sisma, ma non si hanno certezze se i danni a Roma furono causati dallo stesso sisma o da uno differente. 847 altro terremoto a Roma, che causò il crollo di una parte del Colosseo. 849: nuova scossa a Roma, causò probabilmente la caduta dell'Obelisco di Montecitorio.”
<u>XI secolo</u>	“nel 1005: terremoto con epicentro nella Valle di Comino (Frusinate), con presunto settimo o ottavo grado della scala Mercalli.”
<u>XIII secolo</u>	“nell’aprile del 1279: si ha un terremoto sull'Appennino umbro-marchigiano, con gravi danni tra Cagli, Fabriano, Nocera Umbra e Foligno. Qualche ora dopo un'altra scossa nell'area dell'appennino tosco-emiliano provocò danni e numerosi morti.”
<u>XIV secolo</u>	“il 3 Dicembre 1315: terremoto a L'Aquila e Sulmona, del 5.5 grado della scala Richter. Fu preceduto da un lieve sciame sismico iniziato il primo febbraio dello stesso anno. Non vi furono vittime accertate, ma molti edifici de L'Aquila risultarono danneggiati o inagibili, come la chiesa di San Francesco. Le scosse durarono per 4 settimane; la popolazione visse all'aperto in tettoie di fortuna fino al 1316. Il primo dicembre 1328: terremoto a Norcia (Umbria), numerosi i morti. 9 settembre 1349: epicentro sull'Appennino abruzzese nei pressi de L'Aquila, terremoto di 6,3 gradi della scala Richter. Danni gravissimi e crolli in tutta la zona aquilana, nel Lazio ed in Molise, ma anche nelle Marche con crollo completo della cittadina di Pescasseroli. Fu distrutto il castello di Alvito; danni notevoli anche all'Abbazia di San Clemente a Casauria. Per un breve periodo le città più colpite risultarono semi-disabitate”.

1 Fonti: per la storia antica, <https://storing.ingv.it>;
per il medioevo e fino al XIX secolo <http://meteo.ansa.it> e <https://ingvterremoti.wordpress.com>

“Lievi danni anche a Teramo e ad Atri. In totale si registrarono oltre 1000 vittime. Il 25 dicembre 1352 e la notte di Capodanno del 1353: due scosse tra Umbria e Marche, rispettivamente di 5,6 e 5,8 della scala Richter fecero crollare parte degli edifici e delle mura di Sansepolcro, causando alcune vittime: i danni più ingenti furono agli edifici.”

XV secolo

“il 2 febbraio 1438: terremoto nel Lazio, con epicentro sui Colli Albani (tra 5,5 e 5,6 della scala Richter), fu probabilmente il secondo terremoto più forte prodotto dal vulcano dei Colli Albani. Il 26 aprile 1458: epicentro tra Umbria e Marche (5,8 della scala Richter), con alcuni morti. 26 novembre 1461: terremoto a L'Aquila (che sembra essere una delle città più ripetutamente colpite) di magnitudo 6,4 scala Richter. Il sisma fu seguito da altre scosse meno forti a dicembre e gennaio dell'anno seguente. Molti i danni e crolli a L'Aquila città; letteralmente distrutte furono le vicine Onna, Poggio Pienze, San Pio delle Camere e Sant'Eusanio Forconese.”

XVI secolo

“nel 1506 ci fu un terremoto in Abruzzo, nella zona dei Monti Frentani, con gravi danni ad Ortona dove si registrarono contrade distrutte e centinaia di morti. Il 13 giugno 1542: con epicentro sul Mugello, il terremoto provocò circa 150 vittime e rovinò gran parte del castello di Scarperia, oltre che altri luoghi tra cui Gagliano, Sant'Agata, Barberino, Bosco ai Frati e Luco. Il 17 settembre 1563: terremoto ad Atri (Abruzzo), intorno alle ore 16 crollò la cuspide della facciata della cattedrale, causando alcuni morti e feriti. Il 5 novembre 1599: con epicentro ad Avendita-Cascia (Perugia) e grado 5,9 della scala Richter, ci furono danni al paese anche se le vittime accertate non furono numerose.”

XVII secolo

“Nell'ottobre 1639: terremoto ad Amatrice (Rieti) di 5,9 gradi Richter; che provocò molte vittime. Il 23 luglio 1654: forte sisma tra Lazio ed Abruzzo, nella zona compresa tra la Valle di Comino e la Marsica, di 6,1 gradi della Richter. Protraendosi fino al 12 agosto, causò migliaia di vittime (circa 3000) colpendo dapprima gli abitati di Pontecorvo, Roccasessa, Piedimonte San Germano, Atina, Alvito e poi quelli di Sora, Arpino, Isola del Liri. Le cronache dell'epoca riferirono che addirittura si “spaccò” il monte Corvo. Ancora nel giugno 1695 ci fu un terremoto tra Lazio, Abruzzo ed Umbria di 5,9 gradi Richter; colpita soprattutto la zona di Viterbo e dintorni. Quasi totalmente distrutto Celano, nell'Aquilano. Morte circa 200 persone”.

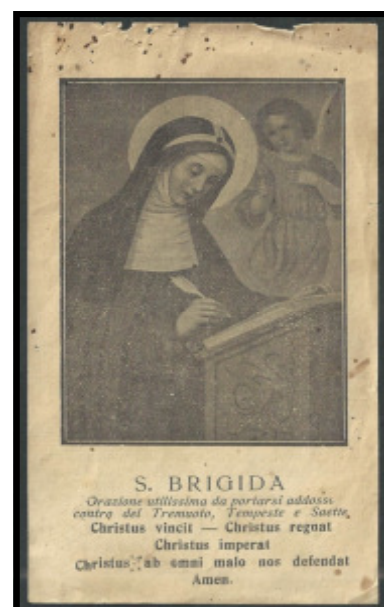
XVIII secolo

“il 14 gennaio 1703: epicentro tra Umbria e Marche (6,7 gradi Richter); provocò circa 6-9mila vittime. Distrutto quasi del tutto il paese di Avendita, nel quale sopravvissero soltanto 29 abitanti.”

“Ad Ascoli Piceno e Foligno il terremoto fu molto intenso ma non causò danni. Ancora il 2 febbraio 1703: forte terremoto a L'Aquila (6,7 Richter), dove la città venne quasi rasa al suolo, con gravissimi danni per quel che riguardò il patrimonio artistico ed architettonico dell'epoca. Gravi danni anche a Paganica; oltre 6000 furono le vittime. 3 novembre 1706: epicentro sul massiccio della Maiella (6,6 Richter) in Abruzzo; provocò danni anche nel Molise. Distrutte moltissime costruzioni a Sulmona, tra cui numerose chiese. Oltre 1000 i morti. Il 12 maggio 1730: terremoto 6,1 gradi Richter ad Avendita (Umbria), avvertito anche nelle Marche, sul Lazio ed in Abruzzo. Oltre 200 i morti e 500 i feriti. 17 aprile 1747: tra Umbria e Marche (IX Mercalli), provocò crolli e danni abbastanza gravi; un morto. 27 luglio 1751: gravemente danneggiata la città di Gualdo Tadino (PG), che perde le sue caratteristiche tardo-medievali. 6 ottobre 1762: nuova forte scossa a L'Aquila (5,9 Richter) con circa 500 morti; quasi interamente distrutta la cittadina di Poggio Pienze. 3 Giugno 1781: due fortissime scosse al confine tra Marche, Umbria e Toscana. Il massimo danneggiamento si ebbe nell'area di Piobbico e Cagli. 30 Settembre 1789: terremoto in Umbria, tra Città di Castello e San Sepolcro (5,8 Richter), provocò diversi danni, il crollo dei tetti con molte vittime (circa 500). Sequenza sismica di una decina di giorni. 26 Maggio 1798: forte scossa di terremoto a Siena. Numerosi danneggiamenti agli edifici della città, incluso il Duomo. Alcune vittime. 28 Luglio 1799: intenso sciame sismico nelle Marche (5,9 Richter); tre scosse di forza crescente causarono gravissimi danni nell'area compresa tra Camerino, Sarnano, Cessapalombo e San Ginesio. Circa 100 le vittime. Cessapalombo fu quasi distrutta; le scosse durarono fino a Settembre, di intensità via via minore.”

Fig. 6 Santino su carta non vergata; stampato con tecnica xilografica e presumibilmente della fine del XVIII secolo; raffigura Santa Brigida (misure 14,5 X 20) di incisore anonimo.

L'utilizzo di carta molto leggera e fine, considerata per quell'epoca economica e non pregiata, veniva utilizzata per quelle immagini prettamente devozionali (ad esclusivo uso dei fedeli, che cercavano protezione dagli eventi raccomandandosi ai santi).
(fonte: <http://filiconiomaniasantitrameani.blogspot.com>)



3.2.2 Terremoti nel XIX secolo

Anche nel corso del 1800 ci furono terremoti di grande entità. Anche se non è paragonabile con la documentazione di cui si può disporre oggi, gli eventi sismici iniziano ad essere documentati anche dal punto di vista fotografico, in seguito anche l'archivio delle testate giornalistiche, locali e non, comincia a diventare una specie di moderno database a cui poter attingere per verificare e confrontare dati.

La loro descrizione è tratta da "I terremoti nella storia" del sito dell'INGV.

"Il 26 luglio del 1805 si registra un terremoto con intensità 6,5; epicentro a nord di Bojano. Fu un evento distruttivo su larga area geografica. Avvertito da Spoleto a Cosenza e pure a Roma, segnalato in oltre 200 siti. Colpiti in particolare il Molise ed il Matese. Frosolone, raso al suolo, il paese più devastato. Gravissimi crolli anche a Vinchiature e Baranello. Semidistrutte Isernia (500 morti) e Campobasso dove crollano numerose chiese ed edifici. Danni anche a Melfi, Avellino, Salerno e Napoli, soprattutto nel centro storico. Circa 5000 furono le vittime. Sconvolgimenti nel territorio con frane, fratture, variazioni idrogeologiche, liquefazione".

"Il 26 agosto 1806: il più violento terremoto prodotto dal Vulcano dei Colli Albani (5,8 Richter). Ebbe i massimi effetti, provocando moltissimi morti e feriti, nei paesi di Rocca di Papa, Velletri, Genzano e danni gravi in altri 14 paesi limitrofi (Nemi, Frascati, Lanuvio, Zagarolo. Interi quartieri, palazzi, chiese, cattedrali e conventi crollarono. Danni anche a Roma. A Nemi vi fu la comparsa temporanea di un piccolo bacino sulfureo; fu notata anche un'insolita e grande agitazione delle acque del mare a sud di Roma, nonché un abbassamento del livello delle acque del Tevere".

"Il primo giugno 1829: nuovo terremoto sui Colli Albani (4,7 Richter), preceduto da uno sciame iniziato il 22 maggio. Le scosse durarono fino a Luglio. Gravi danni con case lesionate e discreti crolli ad Albano Laziale e Marino. L'abbandono delle abitazioni già con le prime scosse di maggio scongiurò feriti e vittime; alcune delle scosse produssero rombi, odore di zolfo, emanazioni di gas acido carbonico ed altri pericolosi vapori dal sottosuolo. Poi, il 13 gennaio 1832: terremoto 5,1 Richter nell'area umbro-marchigiana, con 40-50 vittime".

"In Basilicata, nell'agosto del 1851 un forte terremoto con Epicentro nei pressi di Barile. Colpita l'area circostante il massiccio del Vulture e la Val d'Agri. Distrutta Melfi dove si contano almeno 400 morti. Altri paesi semidistrutti: Rapolla, Barile, Atella, Lavello, Venosa, Rionero. Avvertito in Irpinia, Puglia e Campania. Numero di vittime totali certamente superiore a 700, forse un migliaio."

"Colpita ancora la Basilicata, nel 1857. Evento distruttivo su ampia area geografica, interessata almeno 150 siti. Colpita soprattutto la Val d'Agri. Epicentro tra Viggiano e Villa d'Agri. Tra i paesi più devastati Montemurro (3000 morti), Sarconi, Saponara, Viggiano, Marsico, Tito. Gravi danni anche a Potenza, in particolare intorno a Porta Salza."

“Crolli e decessi anche in Irpinia e Salernitano. Stimati almeno 11mila morti, secondo altre fonti 19mila. Almeno 6000 gli edifici distrutti. Forti ripercussioni sociali, con una ricostruzione lenta e scarsa. Per conto della Royal Society di Londra, lo scienziato Robert Mallet¹, padre della moderna sismologia, compì un’ampia ricognizione della zona interessata e descrisse in modo dettagliato gli effetti del sisma.”

Questo terremoto non è stato solo uno dei più distruttivi della storia d’Italia, ma è il primo al mondo documentato con fotografie, ed è il primo per cui la scienza dei terremoti viene definita come sismologia.



Fig. 7 Alphonse Bernoud. 1857, Auletta Rocco (PZ).
Porte Cochere danneggiate dal sisma
(fonte <https://prints.royalsociety.org>)



Fig. 8 Veduta da ovest della parte alta di Polla distrutta dal terremoto del 16 dicembre 1857 (da Mallet, 1862)
(fonte <https://ingvterremoti.wordpress.com>).

“22 agosto 1859: sisma in Umbria, con 101 morti. Danni più gravi a Norcia, dove crollarono il Municipio, la Porta Romana ed il campanile del Duomo. Rase al suolo circa 76 abitazioni.”

“10 settembre 1881: epicentro nell'area pedemontana orientale della Maiella (VIII Mercalli). Principali località interessate furono Orsogna, Gaurdiagrele, Ortona e Lanciano. Dieci morti.”

“26 giugno 1899: terremoto in Toscana (5,1 Richter), interessò gran parte della provincia di Prato, il più intenso della città nel corso della sua storia. Danni parziali ad edifici residenziali e monumentali. 19 luglio 1899: terzo sisma più violento sui Colli Albani (5,2 Richter), con nuovi crolli e lesioni gravi. A Roma si ebbero crolli parziali e lesioni, anche in monumenti importanti, come la chiesa del Gesù, San Giovanni in Laterano, palazzo Chigi, palazzo Sciarra, le mura aureliane”.

¹ **Robert Mallet** (Dublino, 3 giugno 1810 – Londra, 5 novembre 1881) è stato un ingegnere irlandese. “In Italia la sua fama è da collegarsi al grave sisma che colpì la Basilicata e la Campania, il cui epicentro fu localizzato a Montemurro. Fu a capo di una spedizione scientifica inviata dalla Royal Society of London allo scopo di studiare gli effetti del terremoto e migliorare lo stato delle conoscenze di sismologia. Nel suo lavoro fu affiancato, tra gli altri, dal fotografo francese Alphonse Bernoud, il quale immortalò le rovine dei paesi della Val d'Agri e del Vallo di Diano colpiti dal terremoto”; voce tratta da <https://it.wikipedia.org/wiki/>

“Non ci furono morti, ma moltissimi feriti a Roma, Frascati, Monte Compatri ed Albano Laziale. La scossa provocò emanazioni di anidride carbonica e l'agitazione del lago vulcanico di Albano”.

3.2.3 Il XX secolo: eventi sismici

Procedendo ci sono ricorrenti, e, anche se non sono prevedibili in modo puntuale, lo sono sotto il punto di vista statistico. Nel corso del Novecento le notizie sono sempre più documentate e precise, ed il corredo fotografico è sempre più ampio. A questo si andrà poi ad aggiungere, come accade per il rilievo del complesso che si sta trattando, una documentazione ancora più puntuale: la scansione 3d, che permette la misurazione di danneggiamenti, fuori piombo e fessurazioni, portando ad una valutazione tecnicamente precisa.

Anche per la documentazione relativa ai terremoti del '900 si fa riferimento al sito dell'INGV come fonte documentale.

“Il primo catastrofico terremoto fu nel gennaio 1915: in Abruzzo (7,0 Richter) con epicentro ad Avezzano. La città fu distrutta, così come quasi tutto il territorio della Marsica. Ad Avezzano su 13mila abitanti ne sopravvissero appena 3000”.

Fig. 9 Prima pagina dell'edizione de La Stampa, 14 gennaio 1915 (fonte: <http://www.lastampa.it>)



“Il catastrofico terremoto della Marsica è uno dei disastri sismici più importanti e famosi della storia italiana, secondo solo, nel '900, al terremoto del 28 dicembre 1908: si ebbero distruzioni in tutti i paesi della zona del Fucino, alcuni furono rasi al suolo, ci fu con un'altissima mortalità”.

“Avezzano, principale centro amministrativo dell'area, perse più dell'80% dei suoi abitanti (10.700 morti su un totale di poco più di 13.000 residenti), Gioia dei Marsi il 78%, Albe il 72%, Ortucchio e Pescina il 47%. Gli effetti più distruttivi interessarono non solo l'area del Fucino ma anche la Val Roveto, il Cicolano e la zona di Sora, nel Frusinate. Danni di varia entità furono complessivamente riscontrati in circa 700 località sparse in un'area molto vasta, estesa a 6 regioni: Abruzzo, Lazio, Molise, Marche, Umbria e alcune località del Casertano, in Campania”.

“Fra le città danneggiate anche Roma, dove decine di edifici e di chiese rimasero lesionate e ci furono alcuni crolli. Anche la cittadina di Sora, nel Lazio, fu gravemente danneggiata, facendo registrare circa 3000 vittime. In totale i morti furono circa 33mila”.

Fig. 10 Fotografia di Avezzano, 1915 (fonte: <http://www.6aprile.it>)



“Solo due anni dopo, il 26 aprile 1917 si ha un fortissimo sisma tra Umbria e Toscana (5,8 Richter), in cui furono distrutte Monterche e Citerna. Anche Sansepolcro riportò danni, così come su tutti i centri urbani dell'alta valle del Tevere. Circa 20 i morti. “



Fig. 11 Immagine della piazza principale di Monterchi, dopo il sisma del 1917
(fonte <https://ingvterremoti.wordpress.com>).

“29 giugno 1919: terremoto nel Mugello (6,2 Richter) con profondità ipocentrale tra 5 e 10km. Il bilancio fu drammatico, si contarono oltre cento morti, 400 feriti e migliaia di senzatetto”.

Fig. 12 Immagine di Garfagnana,
terremoto del 1920
(fonte: <http://www.verdeazzurronotizie.it>,
dall'archivio Silvio Fioravanti)



“7 settembre 1920: sisma tra Garfagnana e Lunigiana (Toscana) di magnitudo 6,4 Richter, con epicentro a Fivizzano. Circa 300 le vittime.

Il sisma avrebbe potuto causare molte più vittime se fosse avvenuto di notte: molte persone infatti erano già uscite di casa all'ora della scossa, per lavorare nei campi. Inoltre vi era stata una scossa meno forte qualche ora prima, che aveva allertato la popolazione.”

“26 dicembre 1927: il quarto più violento terremoto prodotto dal Vulcano dei Colli Albani (Lazio) nel corso della Storia. Grado 5 della scala Richter, il terremoto provocò frane, allagamenti, e spaccature del terreno. Il lago vulcanico di Nemi ebbe violente variazioni del livello delle acque, che 'bollirono' per un tempo notevole. A Roma si ebbero lesioni in vari edifici ed una vittima.”

“30 ottobre 1930: epicentro tra le province di Pesaro ed Ancona (6 Richter), gli effetti maggiori si ebbero a Senigallia, ma furono colpite gravemente anche Fano, Montemarciano, Mondolfo, San Costanzo ed Ancona. Diversi feriti ed alcune vittime”.

“26 settembre 1933: sisma in Abruzzo, epicentro sulla Maiella (5,7 Richter), con 12 vittime. 3 ottobre 1943: terremoto tra Marche ed Abruzzo, con epicentro tra Offida e Castignano; ampiamente coinvolta tutta la provincia di Ascoli Piceno. Molti danni ed alcuni morti. 13 giugno 1948: sisma 4,9 scala Richter tra Arezzo e Perugia, provocando danni nella maggior parte degli edifici di Sansepolcro e causando una vittima”.

“Il primo settembre 1951: terremoto nelle Marche (5,3 Richter), dove l'area di massimo danneggiamento fu in una zona montuosa al confine tra le province di Ascoli Piceno e Macerata. A Cessapalombo la maggior parte degli edifici fu dichiarata inagibile e la gente fu costretta a trasferirsi in alloggi di fortuna o all'aperto. 6 febbraio 1971: il sisma (4,5 Richter) semidistrusse Tuscania (Lazio), nel Viterbese, danneggiando gravemente i monumenti romanici. Le vittime furono 31”.

“25 gennaio 1972: scossa di 5,4 Richter che colpì la città di Ancona, preceduta da un forte boato, mentre una nuova scossa fu registrata il 14 giugno dello stesso anno sempre nelle Marche, di 5,9 gradi Richter. Danni ad alcuni edifici, caduta di cornicioni.”

Anche se fuori dalla zona di indagine non si può non ricordare il terremoto che colpì il Friuli nel 1976. "Fu un sisma di magnitudo 6.5 della scala Richter che colpì regione e territori circostanti, il 6 maggio 1976. I danni furono amplificati dalle particolari condizioni del suolo, dalla posizione dei paesi colpiti, quasi tutti posti in cima ad alture, e dall'età avanzata delle costruzioni. La scossa, avvertita in tutto il Nord Italia, investì principalmente 77 comuni italiani con danni, anche se molto più limitati, per una popolazione totale di circa 80.000 abitanti, provocando, solo in Italia, 990 morti e oltre 45.000 senza tetto. I danni del terremoto di maggio furono amplificati da altre due scosse, a fine dell'estate".

"19 settembre 1979: epicentro in Valnerina (Umbria) di grado 5,9 Richter, provocò gravi danni a Norcia, Cascia e le aree limitrofe, danneggiando i monumenti e provocando alcuni morti (5) e decine di feriti".

1980, 23 novembre. Come per il terremoto che colpì il Friuli, si ricorda anche l'evento catastrofico che distrusse l'Irpinia. "Si trattò di un forte sisma, magnitudo 6.5 sulla scala Richter, con epicentro tra Teora, Castelnuovo di Conza e Conza della Campania. Interi paesi vennero completamente rasi al suolo. Il sisma colpì un'area di 17.000 km quadrati che si estendeva dall'Irpinia al Vulture, posta a cavallo delle province di Avellino, Salerno e Potenza. I comuni maggiormente colpiti (decimo grado della scala Mercalli) furono quelli di Castelnuovo di Conza, Conza della Campania, Laviano, Lioni, Sant'Angelo dei Lombardi, Senerchia, Calabritto e Santomenna. Numerosi crolli minori e lesioni si verificarono anche a Napoli. Il bilancio delle vittime fu tremendo: 2914 morti accertate, migliaia di sfollati".

Sempre più gravi le proporzioni della catastrofe di domenica notte

Il Sud sprofonda

I morti sono migliaia, interi paesi cancellati dal sisma
La mazzata ha colpito quattro province da Napoli a Potenza

Questa volta non permetteremo un altro Belice

LA MORTE, come sempre, è piombata sulla povera gente. Da Napoli fino a Potenza, dall'altro ieri c'è un sole di dolore in più. Ma sono secoli che in quelle vallate dove i terreni si portano via il fiore della terra, su quei crinali brulli e argillosi, in quei paesi costruiti con quattro sassi e quattro tegole, la gente nasce e muore dimenticata.



Gli aiuti resi più difficili dalle interruzioni delle vie di comunicazione: intransitabili alcune linee ferroviarie, strade intasate dalle auto in fuga. La prima scossa è stata anche la più forte: 10° grado della scala Mercalli, il massimo possibile

Il dramma ora per ora nelle sale del Viminale

di DANIELA PASTI

ROMA — E' una tragedia di dimensioni sconvolgenti quella che si è abbattuta domenica sera sull'Italia centro meridionale. Nella ricerca di un termine di paragone, il ricordo corre in

Fig. 13 Prima pagina de La Repubblica, del 24 Novembre 1980
(fonte: <http://www.meteoweb.eu>)

“24 aprile 1984: due scosse di terremoto con epicentro in mare tra Livorno e Pisa (5,7 Richter)”.

“10 ottobre 1995: terremoto con epicentro a Massa-Carrara di grado 5,0 scala Richter. Avvertita fino in Lombardia. Diverse abitazioni lesionate e caduta di calcinacci, edifici pubblici evacuati. Alcuni feriti; gravi danni nell'antico Palazzo Politeama”.

“26 settembre 1997: due scosse di 5,8 e 6,1 Richter tra Umbria e Marche provocarono 11 morti e la distruzione di numerose frazioni del comune di Foligno ed altri centri. Ad Assisi crolla una vela della volta della Basilica superiore di San Francesco”.

Fu un terremoto che durò a lungo, con forti e successive repliche, e che fece tremare la terra per più di un anno.



Fig. 14 Crollo della volta della Basilica di Assisi
(fonte: <http://www.iltempo.it/>)

La sequenza sismica che nel 1997 interessò la zona di confine tra Umbria e Marche rappresenta per la sismologia italiana un momento particolare; si è trattato del primo sisma avvenuto nel territorio italiano per il quale si resero disponibili dei dati di altissima qualità rilevati dalle reti di monitoraggio a terra e dai satelliti.

Gli eventi sismici degli anni successivi, sia quelli del 2009 all'Aquila sia la recente sequenza del 2016-2017, hanno confermato moltissime delle interpretazioni tratte dagli studi sui terremoti del 1997, evidenziando ulteriori elementi caratteristici. Gli studi effettuati a partire dalla sequenza del 1997 fanno emergere la tendenza riscontrata nei moti che seguono la faglia corrispondente agli Appennini ad effettuare una sorta di migrazione tra segmenti di faglia vicini.

“Seguì un secondo evento più forte nove ore dopo, che provocò ulteriori crolli e vittime. Nel 1997 la Rete Sismica Nazionale non era ancora stata aggiornata agli standard internazionali più elevati (come accadde a partire dal 2001), ma le reti sismiche digitali euro-mediterranee (come la Rete MedNet dell'INGV) e quelle globali cominciavano a fornire dati di elevata qualità per calcolare i meccanismi focali dei terremoti più forti della sequenza”.

Nonostante sia impossibile prevedere un terremoto, rimane tuttavia chiaro, a detta degli enti che si occupano di sismologia, come l'INGV, che il fatto di potersi aspettare un terremoto forte non è solo possibile ma era stato addirittura previsto all'interno degli strumenti normativi riguardanti l'edilizia. A partire dal 1984 la quasi totalità dei comuni marchigiani sono classificati in seconda categoria; questo significa che, se gli edifici devono essere progettati per resistere ad un rischio atteso medio, ci si deve aspettare di poter essere colpiti da un evento distruttivo. A seguito di questa classificazione, la regione Marche emanò una legge "Norme per le costruzioni in zona sismica" a cui fece seguito, nel 1990, dopo un periodo di sperimentazione ed indagini sperimentali su alcuni comuni (Esanatoglia, Cerreto d'Esi, Serra San Quirico, Santa Vittoria in Matenano e infine Castel Sant'Angelo sul Nera), la circolare n. 15 del 28 Agosto 1990 che classificava i comuni della regione in tre livelli di rischio.

I comuni più colpiti dal terremoto del 1997 erano collocati nella fascia a rischio più elevata, nella quale cioè era da mettere in conto la possibilità che si verificassero crolli o danneggiamenti gravi di edifici non costruiti secondo le norme sismiche, che si verificasse un danneggiamento strutturale diffuso con un'elevata percentuale di edifici inagibili, a cui sarebbe corrisposta una altrettanto forte percentuale di evacuazione, che ci fosse un arresto totale di medio termine della funzionalità urbana.

A tutti i comuni della Marche, soprattutto in sede di revisione ed adeguamento degli strumenti urbanistici, si era suggerito di svolgere indagini multidisciplinari volte ad acquisire documentazione riguardante sia le caratteristiche sismiche e geologiche delle proprie aree di pertinenza, sia la vulnerabilità del patrimonio edilizio ed infrastrutturale esistente.

Anticipando gli avvenimenti più recenti, si vede che anche i comuni colpiti dalla sequenza sismica Amatrice-Norcia-Visso, sono compresi o a ridosso della fascia considerata a rischio elevato.

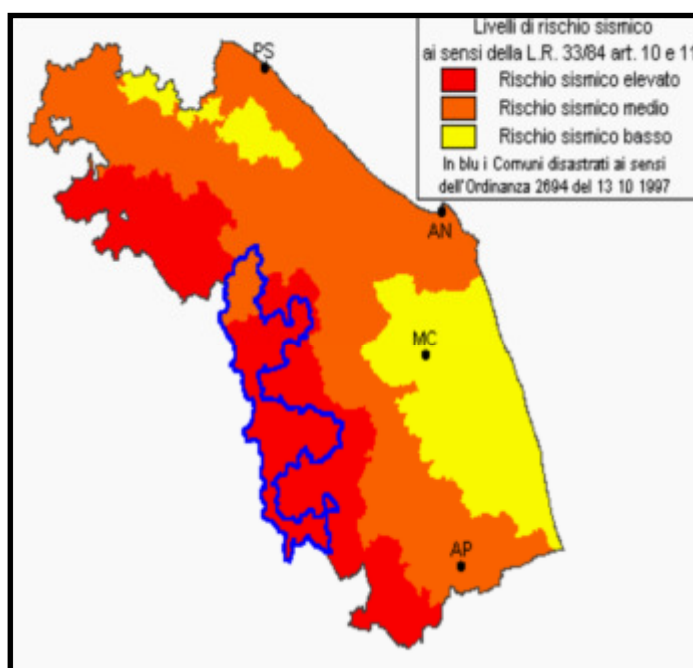


Fig. 15 Livelli di rischio sismico nelle Marche
(fonte: <https://emidius.mi.ingv.it>)

3.3 Terremoti del terzo millennio

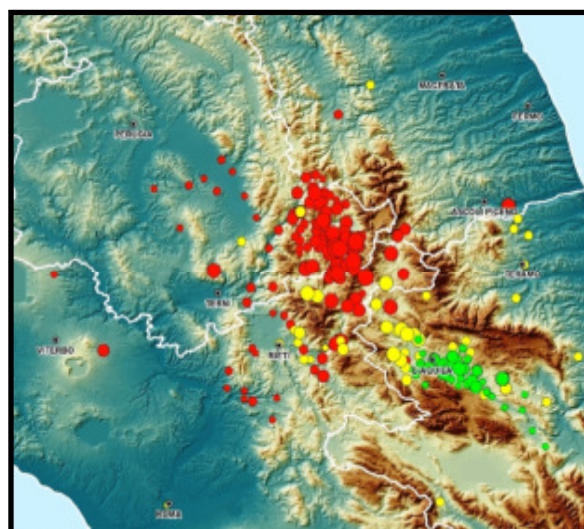
“22 agosto 2005: scossa tra Anzio e Nettuno (Lazio) di 4,5 gradi scala Richter, con epicentro a 5 miglia dalla costa laziale, ben avvertita anche a Roma e Frosinone. Lievi danni e crepe in alcune abitazioni di Anzio, Nettuno e dintorni. Un morto. Molta paura per le migliaia di bagnanti che affollavano le coste, da Roma a Latina, che fuggirono per paura di un eventuale tsunami, essendo ancora vivo il ricordo del terribile maremoto asiatico di 9 mesi prima”. Si apre con questo terremoto descritto dall'INGV la sequenza dei sismi registrati nel terzo millennio.

Il terremoto dell'Aquila del 2009 consiste in una serie di eventi sismici, iniziati nel dicembre 2008 e terminati nel 2012 “con epicentri nell'intera area della città, della conca aquilana e di parte della provincia dell'Aquila. La scossa distruttiva si è verificata il 6 aprile 2009 alle 3:32. L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, ha registrato un sisma di magnitudo momento 6.3 MMS. In termini di scala Mercalli di misurazione dei danni, la stima iniziale dell'INGV è stata tra l'ottavo e il nono grado. Nelle 48 ore dopo la scossa principale, si sono registrate

Fig. 16 Mappa di confronto tra le zone colpite dal sisma del 1703 e da quello del 2009

LEGENDA:
2 Febbraio 1703 ●
14 Gennaio 1703 ●
6 Aprile 2009 ●

(fonte: <https://emidius.mi.ingv.it>)



256 altre scosse o repliche, delle quali più di 150 nel giorno di martedì 7 aprile, di cui 56 oltre la magnitudo 3.0 ML.

Tre eventi di magnitudo superiore a 5,0 sono avvenuti il 6, il 7 e il 9 aprile”.

Dopo il terremoto in Abruzzo del 6 aprile 2009 viene emanato un nuovo provvedimento per dare maggiore impulso alla prevenzione sismica.

L'articolo 11 del decreto legge n. 39 del 28 aprile 2009 prevedeva che fossero finanziati interventi per la prevenzione del rischio sismico su tutto il territorio nazionale e stanziava 965 milioni di euro in 7 anni. L'attuazione dell'art. 11 è affidata al Dipartimento della Protezione Civile ed è regolata attraverso ordinanze del Capo del Dipartimento della Protezione Civile, grazie ad un fondo istituito nello stato di previsione del Ministero dell'economia e delle finanze.

La spesa autorizzata è di 44 milioni di euro per l'anno 2010, di 145 milioni di euro per il 2011, di 195 milioni di euro per ciascuno degli anni 2012, 2013 e 2014, di 145 milioni di euro per l'anno 2015 e di 44 milioni di euro per il 2016.

L'attuazione dell'art.11 è affidata al Dipartimento della Protezione Civile e regolata attraverso ordinanze del Presidente del Consiglio dei Ministri.

La cifra complessiva, che ammonta a 965 milioni di euro, pur se cospicua rispetto al passato, rappresenta solo una minima percentuale, forse inferiore all'1%, del fabbisogno necessario per il completo adeguamento sismico di tutte le costruzioni, pubbliche e private, e delle opere infrastrutturali strategiche. Tuttavia, questa operazione consentiva la messa in sicurezza di altre strutture pubbliche proseguendo nei programmi già avviati dopo il terremoto di S. Giuliano di Puglia¹ e poteva favorire un deciso passo avanti nella crescita di una cultura della prevenzione sismica da parte della popolazione e degli amministratori pubblici.

Nel gennaio del 2010, poi, veniva istituita una Commissione di esperti del rischio sismico che aveva definito obiettivi e criteri generali di un'efficace azione di prevenzione da attuare con i fondi messi a disposizione dall'art. 11.

Gli obiettivi individuati dalla Commissione riguardavano, in particolare, la mitigazione del rischio sismico "attraverso azioni e interventi solo marginalmente sviluppati negli anni passati, quali: studi di microzonazione sismica per la scelta dei luoghi idonei dove costruire e interventi sull'edilizia privata, attraverso contributi economici diretti per il rafforzamento o miglioramento sismico delle strutture".

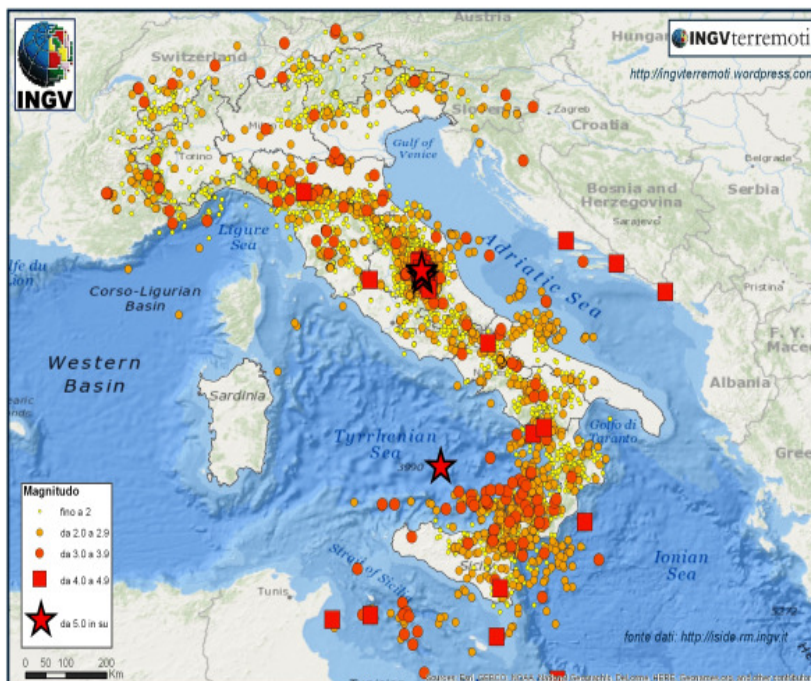


Fig. 17 Carta dell'INGV (Istituto Nazionale di Geologia e Vulcanologia) con indicazione di tutti i terremoti registrati solo nell'arco dell'anno 2016 (fonte: <https://ingvterremoti.wordpress.com>)

LEGENDA

- Magnitudo fino a 2 ●
- Magnitudo da 2 a 2,9 ●
- Magnitudo da 3 a 3,9 ●
- Magnitudo da 4 a 4,9 ■
- Magnitudo oltre 5 ★

Già nel 2009 Fabio Tortorici (Presidente di Fondazione Centro Studi del Consiglio Nazionale dei Geologi) sosteneva che, "data la frequenza (uno ogni 15 anni, in media) di eventi con magnitudo superiore a 6.3, ci dovrebbe essere una maggiore cultura della prevenzione sismica e della protezione civile: sarebbe necessario un continuo aggiornamento delle mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale, con una distribuzione accurata della presenza dei geologi

¹ Dopo il terremoto del 2002 in Puglia e Molise, che a San Giuliano di Puglia provocò il crollo dell'edificio scolastico "Francesco Jovine", furono avviate verifiche sismiche sugli edifici scolastici e interventi di adeguamento strutturale e antisismico; azioni che vedono impegnato il Dipartimento della Protezione Civile, attraverso le Regioni, per la sicurezza delle scuole.

in ogni comune ed una realistica classificazione sismica del territorio nazionale, associata ad una pianificazione urbanistica ed una progettazione che segua i criteri antisismici. Inoltre condizione fondamentale per la sicurezza del territorio è anche una “cultura diffusa” della prevenzione sismica, dal mondo politico ed istituzionale ai bambini delle scuole primarie”.

Sul fatto che nel nostro paese non esista una cultura di prevenzione era d'accordo anche Francesco Peduto, presidente del Consiglio nazionale dei geologi: “In Italia almeno 24 milioni di persone vivono in zone ad elevato rischio sismico; la zona dell'Italia centrale, colpita adesso, è riconosciuta come ad alto rischio sismico, del resto come la quasi totalità della catena appenninica. L'Italia intera, come è noto, è ad alto rischio, proprio perché è un paese geologicamente giovane e di frontiera”. I geologi proponevano quindi un fascicolo del fabbricato con una classificazione sismica degli edifici e ritenevano fondamentale anche un piano del governo per mettere in sicurezza tutti gli edifici pubblici, oltre a concordare sulla necessità di un'educazione scolastica su queste tematiche.

3.3.1 La sequenza sismica Amatrice-Norcia-Visso, 2016 e 2017

Un altro anno decisamente tragico per il nostro paese è stato il 2016, ed è quello che ha colpito gli edifici di cui si sta trattando. Dopo il terremoto in Irpinia, si tratta di uno dei sismi più forti registrati in Italia.

Gli eventi sismici del Centro Italia del 2016 e del 2017, definiti dall'INGV sequenza sismica Amatrice-Norcia-Visso, hanno avuto inizio ad agosto con “epicentri situati tra l'alta valle del Tronto, i Monti Sibillini, i Monti della Laga e i Monti dell'Alto Aterno. La prima forte scossa si è avuta il 24 agosto 2016 e ha avuto una magnitudo di 6, con epicentro situato lungo la Valle del Tronto, tra i comuni di Accumoli (RI) e Arquata del Tronto (AP)”



Fig. 18 Fotografia di Amatrice
(fonte: <https://www.agenpress.it>)

“Due potenti repliche sono avvenute il 26 ottobre 2016 con epicentri al confine umbro-marchigiano, tra i comuni in provincia di Macerata di Visso, Ussita e Castelsantangelo sul Nera”.

“Il 30 ottobre 2016 è stata registrata la scossa più forte, di magnitudo momento 6,5 con epicentro tra i comuni di Norcia e Preci, in Provincia di Perugia. Il 18 gennaio 2017 è avvenuta una nuova sequenza di quattro forti scosse di magnitudo superiore a 5, con massima pari a 5,5, ed epicentri localizzati tra i comuni aquilani di Montereale, Capitignano e Cagnano Amiterno. Nei comuni di Amatrice e Arquata del Tronto si sono raggiunti danni pari al X grado Scala macrosismica europea (EMS)¹. Il sisma e le scosse di replica sono state avvertite in gran parte dell'Italia centrale ed in parte anche nell'Italia settentrionale, in particolare a Roma, teramo, Pescara, Napoli, Chieti, Foggia, Ancona, Campobasso, Benevento, Urbino, Terni, Firenze, Perugia e Bologna. Quest'area non è nuova ad eventi sismici: tra quelli di cui si ha notizia, l'8 ottobre 1639 Amatrice fu quasi interamente distrutta da un violento terremoto di simile intensità, con centinaia di morti. Altri sismi, di minore intensità, avvennero ad Amatrice nel 1672, 1703, 1859 e 1883. La città di Accumoli fu colpita dal terremoto nel 1627, 1703, 1730 e 1883.”

Bisogna poi tener conto che la storiografia ufficiale dei terremoti tiene maggior conto degli eventi che hanno interessato nuclei cittadini di una certa importanza, mentre eventi accaduti in località vicine alla montagna, con insediamenti scarsi e sparsi probabilmente non hanno avuto uguale risonanza. L'arco cronologico ristretto su cui sono distribuiti gli eventi segnalati, la prima segnalazione è del 1639, fa pensare che siano stati riportati unicamente gli eventi più disastrosi; se si confrontano queste con le altre storie di città geograficamente vicine si potrebbe sostenere che più che di una scarsità di eventi si tratti di una incompletezza a livello di documentazione, le cui testimonianze sono in effetti generiche .

Le osservazioni e le analisi preliminari elaborate dall'INGV “attraverso rilevazioni sismologiche, geodetiche e geologiche e sulla scorta delle informazioni scientifiche dei processi sismogenetici e della storicità sismica dell'area hanno permesso una prima interpretazione dell'evento. In particolare emerge chiaramente l'orientamento NNO-SSE della struttura sismogenetica, che si estenderebbe in maniera congrua con l'orientamento della catena appenninica, per circa 25–30 km di lunghezza e per circa 10–12 km di larghezza tra i comuni di Norcia e Amatrice, interessando una fascia crostale che si estende dalla superficie alla profondità di 10 km”.

L'area sismogenetica, sempre secondo le osservazioni dell'INGV, “sarebbe caratterizzata dalla presenza di diversi segmenti di faglia con elevata complessità strutturale”. Si riporta integralmente la descrizione degli eventi.

¹ EMS: scala macrosismica europea è utilizzata per la valutazione dell'intensità sismica nelle nazioni d'Europa e inoltre usata in altri continenti. Diffusa nel 1998 come aggiornamento della versione di prova del 1992, la scala viene indicata come EMS-98. La sua storia inizia nel 1988 quando la Commissione sismologica europea decise di rivedere ed aggiornare la scala di Medvedev-Sponheuer-Karnik , che fu usata nella sua forma base in Europa per quasi un quarto di secolo. Nel 1996 la XXV Assemblea generale della ESC a Reykjavik raccomandò fermamente l'adozione della nuova scala. Diversamente alle scale di magnitudo per i terremoti, che esprimono l'energia sismica rilasciata dal terremoto, l'intensità della EMS-98 rileva la forza degli effetti di un terremoto in uno luogo specifico (fonte: <https://it.wikipedia.org>).

“La scossa principale avrebbe causato una rottura di un segmento di faglia orientato in direzione NNO-SSE e immergente verso SO. La rottura generata in corrispondenza della città di Accumoli sembrerebbe essersi propagata in direzioni opposte verso Amatrice (direzione S-SE) e verso Norcia (direzione N-NE). Non risulta ancora chiaro se esista continuità tra le due parti di faglia, ovvero se la rottura abbia interessato due segmenti distinti e tra loro separati. L'analisi della sismicità nel settore a NO (in corrispondenza dei comuni di Accumoli e Norcia) parrebbe confermare l'ipotesi dell'attivazione di diversi segmenti di faglia come conseguenza dell'evento sismico principale. Già dalla mattina del 24 agosto, a seguito dei primi rilievi sul territorio condotti da INGV, sono state scoperte e cartografate alcune fratture superficiali”.

Il massimo della deformazione parrebbe essere riscontrato nei pressi di Accumoli. L'andamento delle repliche, secondo quanto riportato nel primo documento di analisi sismologica dell'INGV, dimostra l'attivazione del segmento di faglia del Monte Vettore e di diverse strutture antitetiche immergenti verso NE, con interessamento del sistema di faglie dei Monti della Laga, già attivato durante la sequenza del terremoto dell'Aquila del 2009.

“Il 26 ottobre 2016, una nuova forte scossa di magnitudo momento 5,4 è stata registrata nel comune di Castelsantangelo sul Nera (provincia di Macerata), seguita da una ancora più intensa di magnitudo momento 5,9 con epicentro nel comune di Ussita. Le due scosse hanno provocato innumerevoli crolli e diversi feriti lievi”.

“Il 30 ottobre si è verificata una scossa di magnitudo momento 6.5, percepita in gran parte della penisola italiana, in Austria e sulle coste Balcaniche, risultando la più forte scossa in Italia dal sisma dell'Irpinia del 1980. Il sisma si è originato a 9.4 chilometri di profondità, con epicentro in provincia di Perugia tra i paesi di Norcia, Preci e Castelsantangelo sul Nera. Si sono registrati diversi crolli ma nessuna vittima. In seguito si sono verificate repliche di magnitudo compresa tra 3,5 e 4,8”.

“A Norcia sono crollate la basilica di San Benedetto e la concattedrale di Santa Maria Argentea; la frazione Castelluccio di Norcia (60% delle case crollate) è stata ampiamente distrutta. In seguito a questa nuova forte scossa e in aggiunta al sisma del 26 ottobre, i danni riportati dai comuni di Amatrice e Arquata del Tronto hanno raggiunto, cumulativamente, l'XI grado della EMS”.

“Il 18 gennaio del 2017 si sono verificate quattro scosse molto intense in un arco di tempo poco superiore alle quattro ore. Queste nuove scosse hanno coinvolto tutti i paesi già colpiti dagli scorsi eventi sismici dell'Abruzzo, delle Marche, del Lazio e in parte dell'Umbria. Ad Amatrice, simbolo del terremoto del 24 agosto, è crollato il campanile della chiesa di Sant'Agostino”.

“I danni hanno soprattutto colpito le province di Teramo, L'Aquila e Rieti. La situazione è stata notevolmente complicata dalla violenta ondata di freddo che perdurava già da inizio mese, con abbondantissime nevicate e accumuli superiori al metro e mezzo.”



Fig. 19 Locandina di un congresso che è stato tenuto ad Ascoli Piceno in merito al sisma che ha colpito le Marche. La discussione verteva sia sui temi della valutazione del rischio che su quelli inerenti alla ricostruzione (fonte: <http://www.geologimarche.it>)

Il 30 ottobre 2017, ad un anno dal terremoto più forte registrato nella zona, e che non ha avuto eguali a memoria storica, l'ordine dei geologi delle Marche ha indetto una conferenza "30 ottobre 2016, magnitudo 6.5: il punto dei geologi ad un anno dal sisma" per non dimenticare questo evento ed i danni che ha causato al patrimonio ambientale, storico, culturale, edilizio, e per fare sì che "aumenti la consapevolezza della necessità di addivenire ad un'adeguata pianificazione territoriale ed urbanistica che si basi sui concetti della prevenzione dei rischi geologici e della convivenza con essi".

Per quanto riguarda la tragicità degli eventi già avvenuti non si può fare molto, a parte ovviamente dedicarsi ad una ricostruzione efficiente e rapida.

Per quanto invece concerne la prevenzione, pur essendo vero che i terremoti non si possono prevedere né evitare, lasciano spazio per lavorare sulla minimizzazione delle conseguenze. Non è un caso che in territori altamente sismici come

Giappone e California, i danni siano, a parità di magnitudo, più limitati. L'utilizzo di fondi pubblici dovrebbe essere studiato per permettere di mettere in sicurezza territori ed edifici, a partire da quelli pubblici (è grave che le case siano mal costruite ma è ancora più difficile da accettare che siano asili, scuole, ospedali a crollare). Come sosteneva già nel 1996 il sottosegretario alla Protezione Civile, Franco Barbieri, "un flusso minore ma continuo di denaro pubblico dovrebbe essere destinata a mettere in sicurezza le città italiane".

Inoltre la creazione di un piano per la sicurezza urbana e per la conservazione del patrimonio culturale potrebbe rilanciare l'edilizia, favorendo la crescita del Pil. Un altro fattore che potrebbe essere utile per ridurre i morti è una buona scuola di prevenzione: insegnare quali sono i comportamenti corretti da tenere durante eventi sismici è una strada che ha aperto il Giappone e che andrebbe valutata.

E' del tutto ovvio aggiungere che un altro passo da farsi è reprimere l'imprenditoria che specula sulle costruzioni e sulle ricostruzioni, e punire i reati contro l'ambiente, viste anche le conseguenze che provocano.

Tra le discipline che permetterebbero un miglioramento dello stato di fatto e degli interventi in itinere, è in particolare l'ingegneria sismica che si occupa di studiare la risposta ai terremoti dell'ambiente costruito, al fine sia di progettare nuove costruzioni che siano sicure, sia di aumentare la sicurezza nelle costruzioni esistenti.

3.4 Resoconto sintetico della normativa antisismica

Come racconta l'associazione ISI (Ingegneria Sismica Italiana) esiste un percorso normativo riguardante le norme tecniche per le nuove edificazioni e la messa in sicurezza di quelle esistenti. E' il lontano 1627 che vede nascere il primo decreto: dopo il catastrofico evento che colpì la Campania, fu imposto di adottare un certo *modus operandi* nelle costruzioni, che avrebbe dovuto salvaguardare edifici e persone. Sempre inerenti la modalità costruttiva sono i decreti del 1784, del 1859 e del 1884, definiscono spessore delle murature, altezze massime previste, misura degli aggetti. Si arriva al 1909, dopo il disastroso terremoto che distrusse Messina e Reggio Calabria, per trovare nella normativa non solo prescrizioni di massima sui nuovi edifici, ma delle considerazioni inerenti le forze statiche in rapporto ai pesi. Il Regio Decreto del 1909 è stato anche il primo a cominciare ad individuare le aree sismiche.

Il 1916, non a caso solo un anno dopo il sisma della Marsica, vede la promulgazione di un decreto che è fondamentale e segna la svolta: per la prima volta si quantificano le forze sismiche e la loro distribuzione. Allo stesso modo nel 1927 viene esteso il concetto di zonazione e si cominciano ad indicare le aree a seconda della categoria sismica assegnata, differenziando le prescrizioni edilizie in rapporto alla classificazione.

E' necessario ricordare anche che fino al 1942 siamo in assenza¹ del PRG, strumento che nasce per regolare la crescita urbana, e che solo nel corso degli anni '70 diventa di fatto lo strumento che conosciamo oggi, ovvero una pianificazione che permette di gestire l'assetto del territorio, anche attraverso i piani di tipo attuativo, e definisce delle regole costruttive.

Si passa quindi attraverso una serie di decreti che regolamentano l'edilizia, ma bisogna arrivare al decreto ministeriale del Marzo 1975 per la considerazione delle forze; vengono quindi stabiliti nuovi coefficienti di proporzionalità, di distribuzione e di riduzione per i sovraccarichi. Nel 1981, invece, per la prima volta, i decreti non trattano solo di edifici nuovi, ma anche di norme per le riparazioni; viene poi introdotta la terza categoria di aree sismiche, definite per la prima volta in base ad uno studio probabilistico.

¹ Alcune città si erano dotate già nel corso del 1800 di strumenti di pianificazioni urbane, ed esisteva già a livello statale la prescrizione di avere dei regolamenti comunali, ma solo con l'entrata in vigore del PRG si prende in considerazione tutto il territorio comunale e di tutti i comuni. Di fatto, siccome era stata delegata ai comuni la predisposizione del piano, molti di essi ne sono rimasti privi per anni, e comunque la loro attuazione, anche a causa della crisi edilizia dei primi anni '60, ha subito delle deroghe.

Vedono in seguito la luce una serie di decreti che contengono delle norme attuative, e che riguardano, di volta in volta, tipi diversi di costruzioni. Si avvicendano, man mano che la tecnologia permette di studiare in modo diverso le sollecitazioni, anche tipi di verifiche via via più moderne: nel 1996 viene ammessa, anche per le costruzioni in zona sismica, l'adozione del metodo di verifica agli stati limite¹.

Nel 1998 la competenza per l'individuazione delle zone sismiche passa dallo Stato alle Regioni tramite il dipartimento della Protezione Civile (nato nel 1992, facente parte della croce Rossa).

Il 2003 è l'anno in cui si passa agli Eurocodici, viene reso obbligatorio il calcolo semiprobabilistico agli stati limite, e si passa dalle allora tre zonazioni a quattro, definendo di fatto tutto il territorio nazionale come sismico, introducendo la facoltà, anche per le Regioni fino ad allora considerate non sismiche, di imporre l'obbligo di progettazione antisismica.

Come si legge nel saggio di Monica Naretto² il 2007 è l'anno in cui si riconosce alle Soprintendenze (tramite il Ministero per i Beni e le Attività culturali) in modo esplicito il coordinamento ed il controllo sugli interventi che dovrebbero tutelare il patrimonio architettonico dal rischio sismico. Poiché parte delle competenze per gli interventi sul patrimonio erano assegnate al Genio Civile, si era generato un conflitto, poi chiarito dalla direttiva delle Linee Guida del 2011.

Sempre nel 2011 si prevedeva che si sarebbe dovuta svolgere un'attività per il monitoraggio dello stato di fatto dei beni tutelati, attraverso un programma di schedatura ed analisi, indicato come "Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale.

Negli anni successivi si susseguono nuove prescrizioni per le norme tecniche, fino all'anno 2012, in cui viene per la prima volta introdotta la scheda Aedes, che si occupa di stabilire il grado di agibilità di un edificio colpito da evento sismico.

La normativa diventa via via più stringente e definita: se da una parte prescrive delle disposizioni in materia di nuove costruzioni specificando i requisiti essenziali in termini di resistenza meccanica, durabilità e stabilità, dall'altra però non affronta in maniera aggressiva il problema legato a tutto il patrimonio esistente, legando le norme tecniche unicamente a casi di interventi strutturali importanti, nel cui caso si chiede che venga redatta una valutazione sismica dello stato preesistente.

1 "Stati Limite di Esercizio (SLE): sono stati oltre i quali non risultano più soddisfatti i requisiti di esercizio prescritti. Il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile o irreversibile: nel primo caso i danni o le deformazioni sono reversibili e cessano non appena sia eliminata la causa che ha portato al superamento dello SLE; nel secondo caso si manifestano danneggiamenti o deformazioni permanenti inaccettabili e ineliminabili per mezzo della soppressione della causa che le ha generate. Nei confronti delle azioni sismiche (SLE dinamici), gli stati limite di esercizio si suddividono in (D.M. 14.01.2008):

Stato Limite di operatività (SLO): a seguito del terremoto, la costruzione nel suo complesso (incluso elementi strutturali, elementi non strutturali, ecc.) non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

Stato limite di danno (SLD): a seguito del terremoto, la costruzione nel suo complesso (incluso elementi strutturali, elementi non strutturali, apparecchiature rilevanti, ecc.) subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature." (fonte: <https://it.wikipedia.org>).

2 Naretto M., "Conoscenza e valutazione dell'architettura: materiali, sistemi costruttivi, patologie" in Ientile R., Naretto M., (a cura di), *Patrimonio architettonico e rischio sismico*, Torino, Celid, (2013).

In Italia, considerando lo storico dei terremoti verificatosi e la geologia propria di gran parte del territorio, sarebbe necessario l'adeguamento e a messa in sicurezza del tessuto urbano storico, a prescindere da eventuali e sporadici interventi di restauro o ristrutturazione, e senza limitarsi alla parte di edificato storico soggetto a tutela. Adeguamento e messa in sicurezza a loro volta devono prescindere da un'analisi dello stato di fatto, ed è in questo ambito che potrebbero intervenire in modo proficuo le nuove tecnologie legate alla geomatica; in relazione alla loro sostenibilità è diventato possibile pensare di pianificare un rilevamento inclusivo del patrimonio vulnerabile.

3.5 Il rilievo del patrimonio per la riduzione del rischio sismico

La fase del rilievo, soprattutto se approfondita e puntuale, è la base su cui può essere costruita la valutazione di vulnerabilità del patrimonio architettonico storico, che deve essere la base su cui pianificare eventuali necessari interventi di messa in sicurezza o di riduzione del rischio sismico. Come sostiene M. Naretto, l'analisi del tessuto urbano, in questo contesto, non deve tenere conto solo del singolo edificio, e meno che mai delle partizioni di tipo catastale, ma deve piuttosto essere estesa all'isolato, in quanto il comportamento di una struttura potenzialmente influenzerà quello delle fabbriche vicine. Individuando poi le parti che presentano maggiore criticità, alle stesse dovrebbe essere applicata un'analisi strutturale più approfondita, che tenga sempre e comunque conto dell'aggregato edilizio di cui fa parte.

Questa metodologia di analisi è da combinarsi con un sistema di rilievo speditivo e mirato, che permetta una lettura del patrimonio esistente alla luce del rischio sismico, prendendo in considerazione l'intero tessuto vulnerabile, e non soltanto quella parte sottoposta a vincoli.

Riuscire a conseguire un livello di sicurezza che sia adeguato a preservare il patrimonio dal rischio sismico deve quindi coinvolgere gli aggregati urbani, e deve prevedere un tipo di analisi multidisciplinare che permetta di prendere conoscenza della molteplicità degli strati e della complessità che solitamente compongono il tessuto urbano.

Un altro problema che si pone, afferma A. Spanò, è quello relativo alla condivisione dei dati raccolti ed alla facilità con cui dovrebbe essere possibile accedere agli stessi; nel campo della documentazione alcuni aspetti, come l'innovazione tecnologica degli strumenti, che permette di abbassare i costi di acquisizione dati ed elaborazione degli stessi, e l'automatizzazione di intere fasi del processo di rilievo, fanno sì che siano possibili sia una più alta fruizione delle tecniche ed una maggiore possibile diffusione dei dati raccolti sia un conseguimento della sostenibilità; un esempio di condivisione dati arriva dal Mibac (Ministero dei beni e delle Attività Culturali) che ha da poco messo a disposizione, condividendo dati in proprio possesso, la Carta dei rischi.

Si tratta di un sistema informativo di tipo territoriale che nasce da un percorso di raccolta dati, atta a rispondere alla necessità di tutela e valorizzazione del patrimonio architettonico.

Sul sito www.cartadelrischio.it si legge che: “Per la costruzione del modello di rischio è stato adottato un approccio statistico, sulla cui base i singoli beni sono valutati come "unità" di una "popolazione statistica" di cui si mira a valutare il livello di vulnerabilità e quindi di rischio.

I Fattori di Rischio sono stati suddivisi in:

- Vulnerabilità Individuale (V), ossia una funzione che indica il livello di esposizione di un dato bene all'aggressione dei fattori territoriali ambientali
- Pericolosità Territoriale (P), ossia una funzione che indica il livello di potenziale aggressività di una data area territoriale, indipendentemente dalla presenza o meno dei beni”

Inoltre viene specificato che i dati inseriti sono stati acquisiti da progetti in modo non omogeneo, che i dati inseriti non sono certificati e che la banca dati non comprende tutti i beni presenti sul territorio.

3.6 L'intervento di rilievo del Politecnico di Torino

Nella circostanza del terremoto che ha interessato il Comune di Tolentino, una squadra di ricerca del Politecnico si è recata in loco, per mettere a disposizione le proprie risorse, in termini di competenze di rilievo, su una parte degli edifici danneggiati.

La ricerca, come emerge dalle dichiarazioni del team, si prefigge di fornire principalmente tre tipi di dati:

- informazioni necessarie per un rapido ritorno alla normalità, attraverso una comprensione precoce di quali edifici e quali infrastrutture possono essere recuperate rapidamente senza pericolo di cedimenti e crolli;
- informazioni di tipo analitico sulle alterazioni eventualmente subite dai manufatti architettonici, dal punto di vista morfologico e strutturale;
- modelli geometrici analitici di supporto alle simulazioni sul comportamento delle strutture.

Ottenuti questi dati, il secondo passo è analizzarli; attraverso la costruzione di modelli in scala densi e dettagliati è possibile valutare e controllare eventuali anomalie anche senza essere fisicamente in loco.

I dati sono stati ottenuti tramite l'ausilio di sistemi aerei e terrestri, che hanno prodotto delle nuvole di punti che sono state integrate in modo da generare una panoramica quanto più possibile completa, integrata a sua volta alle reti classiche topografiche GPS e GNSS.

Gli strumenti utilizzati sono, nello specifico: un drone ad ala fissa per ottenere una mappa a grande scala del costruito; droni, camere, riprese video, lidar terrestri, sistemi slam, per esterni ed interni delle strutture; sistemi slam per le strutture interrate.

Le nuvole che si ottengono dall'integrazione di questi sistemi offrono la possibilità di effettuare delle misurazioni speditive e precise sui modelli ottenuti, che possono essere di supporto a chi di fatto interviene fisicamente sugli edifici.

Le nuvole dense che sono state ottenute da lidar terrestre sono molto dettagliate, ma difficili da maneggiare, perché contengono informazioni di svariati milioni di punti; è necessario trasformarle nel disegno architettonico classico, per riconoscerne caratteri ed anomalie, e soprattutto per poter gestire i dati in modo rapido ed efficiente.

In conclusione :

Considerando lo storico dei terremoti di centro Italia, è necessario mettersi nell'ordine di idee che la possibilità che si verifichi un evento sismico importante è molto alta, ma la legislatura, pur implementando le norme tecniche che regolano le nuove edificazioni, e pur prescrivendo la redazione di una valutazione per le ristrutturazioni, è ancora poco concreta sulla necessità ed eventualmente sul modus operandi di una valutazione del patrimonio storico preesistente.

L'analisi del patrimonio architettonico vulnerabile può essere demandata, per quanto riguarda la parte di rilievo, ai sistemi di rilevamento di moderna concezione, in quanto:

- permettono di gestire le emergenze unendo ai vantaggi in termini di rapidità e sicurezza degli operatori, quelli legati ad una raccolta di dati esaustiva, di cui è possibile controllare accuratezza e precisione;
- i dati che vengono raccolti possono essere messi a disposizione in modo immediato e condivisi con gli enti di tutela e monitoraggio emergenze, e con chi direttamente opera su edifici ed infrastrutture coinvolti nell'evento;
- la sostenibilità propria di questi mezzi permetterebbe una scansione territoriale molto più inclusiva, proprio perché più rapida, economica ed efficiente, anche grazie al possibile abbandono del supporto cartaceo.

BIBLIOGRAFIA:

Naretto M., “ *Conoscenza e valutazione dell’architettura: materiali, sistemi costruttivi, patologie*” in lentile R., Naretto M., (a cura di), *Patrimonio architettonico e rischio sismico: un percorso tra conoscenza ed obiettivi di conservazione*, Torino, Celid, (2013).

Naretto M., “ *Conoscenza e valutazione dell’architettura*” in lentile R., Naretto M., (a cura di), *Patrimonio architettonico e rischio sismico: un percorso tra conoscenza ed obiettivi di conservazione*, Torino, Celid, (2013).

Spanò A. T., “ *Versatilità di metodi e tecniche della geomatica per la documentazione del patrimonio costruito. approcci sostenibili per la valutazione sismica* ” in lentile R., Naretto M., (a cura di), *Patrimonio architettonico e rischio sismico: un percorso tra conoscenza ed obiettivi di conservazione*, Torino, Celid, (2013).

SITOGRAFIA:

<http://www.cartadelrischio.it/>

<https://www.ilfattoquotidiano.it>

<https://www.ingegneriasismicaitaliana.com>

<https://ingvterremoti.wordpress.com>

<https://istituto.ingv.it/>

<https://it.wikipedia.org>

<https://www.protezionecivile.gov.it>

<https://www.treccani.it>

"I terremoti nella storia" articolo della redazione del 29/3/2018 consultato il 25/5/2018 in <https://ingvterremoti.wordpress.com> (url: <https://ingvterremoti.wordpress.com/category/i-terremoti-nella-storia/>)

"La sequenza sismica in Italia centrale: un primo quadro interpretativo dell'INGV" articolo della redazione del 30/8/2016 consultato il 15/5/2018 in <https://ingvterremoti.wordpress.com> (url: <https://ingvterremoti.wordpress.com/2016/08/30/la-sequenza-sismica-in-italia-centrale-un-primo-quadro-interpretativo-dellingv/>)

"Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale" articolo della redazione del 2/9/2016 consultato il 20/5/2018 in <http://www.corriere.it/> (url: https://www.corriere.it/cronache/16_settembre_02/mappa-pericolosita-sismica-territorio-nazionale-9606f302-7146-11e6-82b3-437d6c137c18.shtml)

"Normative" articolo della redazione, consultato il 24/6/2018 in www.ingegneriasismicaitaliana.com (url: <http://www.ingegneriasismicaitaliana.com/it/24/normative/>)

Prandi C., *"Prima documentazione fotografica di alcuni danni del recente evento sismico di Amatrice-Norcia-Valle del Tronto del 24 Agosto 2016 e successivi scuotimenti"* del 31/8/2016 consultato il 15/5/2018 in www.ingegneriasismicaitaliana.com (url: <http://www.ingegneriasismicaitaliana.com/it/3/news/1019/prima-documentazione-fotografica-di-alcuni-danni-del-recente-evento-sismico-di-amatrice-norcia-valle-del-tronto-del-24-agosto-2016-e-dei-successivi-scuotimenti/>)

"Terremoti di centro Italia: tutti i più forti dal medioevo" articolo della redazione consultato il 13/10/2017 in www.meteo.ansa.it (url: http://www.meteo.ansa.it/meteo/news/terremoti-centro-italia-tutti-i-piu-forti-dal-medioevo_57863.html)

"Terremoto: come si misura la magnitudo" articolo della redazione del 27/10/2016 consultato il 20/05/2018 in <http://www.ansa.it> (url: http://www.ansa.it/scienza/notizie/rubriche/terrapoli/2016/10/27/terremoto-come-si-misura-la-magnitudo-_c1dd9030-255a-4480-b5c3-1723d7ae32bc.html)

"Terremoto del Centro Italia del 2016" articolo della redazione modificato l'ultima volta il 20/5/2018, consultato il 15/6/2018 in <https://it.wikipedia.org> (url: https://it.wikipedia.org/wiki/Terremoto_del_Centro_Italia_del_2016_e_del_2017)

"Tutti i terremoti più forti di M5,5 della storia d'Italia" articolo della redazione del 27/6/2012 in www.6aprile.it consultato il 14/5/2018 (url: <http://www.6aprile.it/conoscere-i-terremoti/2012/06/27/i-terremoti-piu-forti-della-storia-ditalia.html>)

4.1 Danni imputabili ai terremoti e loro classificazione

E' impossibile sapere in anticipo quale sia il tipo di danno che si può verificare durante un terremoto, e l'entità dello stesso. Il tipo di danneggiamento dipende da diversi fattori, come ad esempio il tipo di struttura dell'edificio (se è di muratura, in cemento armato, se in parte in acciaio), l'età in cui è stato costruito, la configurazione della struttura, i materiali utilizzati per edificarla, le condizioni proprie del sito su cui è stata costruita, la vicinanza con altre costruzioni, ed altre mille variabili. Durante un evento sismico, infatti, un edificio può riportare diversi tipi di danni; danni strutturali (cioè agli elementi portanti, come pilastri, travi, setti murari) oppure danni non strutturali (come camini, cornicioni, tramezzi, tamponamenti). Se la struttura è capace di subire grandi deformazioni, allora aumenta la possibilità che, anche se sollecitata in modo importante, non subisca il crollo. La forma in cui si esplicita la prevenzione dei disastri è l'attuazione di misure antisismiche. Le norme prevedono che le costruzioni rispettino delle norme prestabilite, il cui scopo è quello di "assicurare che in caso di evento sismico sia protetta la vita umana, siano limitati i danni e rimangano funzionanti le strutture essenziali per gli interventi di protezione civile" (fonte: zonesismiche.mi.ingv.it/pcm3274.html).

La classificazione dei danni, convenzionalmente, viene suddivisa in 5 categorie; rientrano come danno nullo anche eventuali fessurazioni da ritiro nell'intonaco e i segni di piccoli dissesti avvenuti in passato, riparati e non riattivati. (Queste informazioni si ritrovano anche nella scheda Aedes, che, in caso di situazione di rischio, deve essere compilata da un tecnico prima che alle famiglie sia concesso di rientrare negli edifici). La classificazione dei danni, come riportata dal sito della protezione civile (<http://www.protezionecivile.gov.it>):

D1 (*danno leggero*) "danno che non cambia in modo significativo la resistenza della struttura e non pregiudica la sicurezza degli occupanti a causa di possibili cadute di elementi non strutturali; per le murature si accettano lesioni di ampiezza 1 mm, comunque distribuite nelle murature e negli orizzontamenti senza espulsione di materiale, distacchi limitati o lievi dislocazioni fra porzioni di strutture, ad esempio fra muri e solai o fra muri e scale o fra muri ortogonali. Fuori piombo limitati e non associati a fenomeni di distacco in elevazione o a cedimenti fondali dovuti al sisma. Dissesti limitati alle coperture più deformabili (legno o acciaio), con conseguente caduta di qualche tegola ai bordi. Cadute di piccoli pezzi di intonaco o di stucco non legati alla muratura e degradati. Per il Cemento armato: lesioni lievi nelle travi (fino a 1 mm), lesioni capillari (< 0.5 mm) non verticali nelle colonne o nei setti."

“Lesioni fino a 2 mm di distacco delle tamponature dalle strutture, lievi lesioni diagonali delle tamponature (inferiori ad 1 mm)”.

D2-D3 “(*danno medio - grave*): danno che potrebbe anche cambiare in modo significativo la resistenza della struttura, senza che però venga avvicinato palesemente il limite del crollo parziale di elementi strutturali principali.”

“Possibili cadute di oggetti non strutturali. Per le murature: lesioni di maggiore gravità rispetto al D1, anche con espulsioni di materiale e con ampiezza di qualche mm (fino a circa 1 cm) o più ampie in prossimità delle aperture, sintomi di lesioni da schiacciamento, distacchi significativi fra solai e/o scale e pareti e fra pareti ortogonali, qualche crollo parziale nell'orditura secondaria di solai. Lesioni nelle volte di qualche mm e/o con sintomi di schiacciamento. Nelle coperture in legno o in acciaio con manto di tegole, sconnessioni nell'orditura secondaria e spostamenti apprezzabili (fino a circa 1 cm) degli appoggi delle travi principali, sconnessioni nell'orditura secondaria e caduta di una porzione rilevante del manto di tegole. Fuori piombo visibili riconducibili al sisma ma comunque inferiori all'1% circa. Per il cemento armato: lesioni da flessione nelle travi fino a 4 mm, lesioni nei pilastri e nei setti in c.a. fino a 2 mm, inizio di sbandamento delle barre compresse nelle colonne con espulsione del copriferro, fuori piombo residui appena percettibili. Nelle tamponature lesioni evidenti (maggiori di 2mm) dovute a distacco dalla struttura, lesioni diagonali fino a qualche mm, evidenti schiacciamenti agli angoli a contatto con le strutture portanti, a volte con espulsioni localizzate di materiale”.

D4-D5 (*danno gravissimo*): “danno che modifica in modo evidente la resistenza della struttura portandola vicino al limite del crollo parziale o totale di elementi strutturali principali. Stato descritto da danni superiori ai precedenti, incluso il collasso”.

				
D 1 Danno trascurabile	D 2 Danno moderato	D 3 Danno grave	D 4 Danno molto grave	D 5 Crollo totale o parziale

Fig.1 Tabella di riepilogo dei danneggiamenti

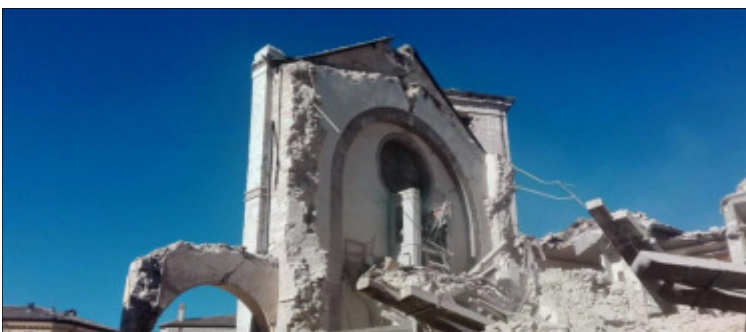


Fig. 2

La basilica di San Benedetto,
Norcia, 30 ottobre 2016

(fonte: <https://www.quotidiano.net>)

4.2 Esempi di danneggiamenti strutturali

“La modalità di danneggiamento più comune è rappresentata dalla diffusa fessurazione o dal collasso delle tamponature (ai piani più bassi) solitamente costituite da una doppia foderia in laterizio (con camera d'aria) delle quali, in diversi casi, una completamente esterna alla maglia strutturale”. L'associazione di Ingegneria Sismica Italiana (ISI) ha diffuso un documento di valutazione a uso degli ingegneri strutturisti e i progettisti con una abbondante raccolta di materiale fotografico preso dai luoghi del Terremoto in Centro Italia. Se ne riporta un breve sunto. Le cause per i danni che vengono riconosciuti come più diffusi sono i seguenti:

- “elementi in sasso di dimensioni minime, o con forma non squadrata, e di misura inferiore allo spessore del muro, privi di porzioni di legante in aderenza, oppure con bassa qualità del legante presente, polverizzato e privo di aderenza al sasso, murature ancora in essere che offrono visivamente la presenza di corsi di malta molto spessi in rapporto agli elementi in pietra: è ragionevole ritenere che danneggiato o sparito il legante, gli allineamenti non più orizzontali generino componenti di azione trasversali che, sommandosi all'azione d'inerzia orizzontale del sisma favoriscono instabilizzazioni laterali delle murature, con crollo completo o distacco del paramento più esposto verso l'esterno”.

“Inoltre sommandosi all'azione d'inerzia orizzontale del sisma possono favorire instabilizzazione laterali delle murature, con crollo completo o distacco del paramento più esposto verso l'esterno”;



Fig. 3

Esempio di danno della muratura
(fonte: <https://www.ingegneriasismicaitaliana.com>)



Fig. 4

Esempio di edificio privo di interventi compreso tra due fabbricati ristrutturati (fonte: <https://www.ingegneriasismicaitaliana.com>)

- “fabbricati privi di interventi, compresi tra fabbricati invece ristrutturati, hanno condiviso con questi ultimi azioni di inerzia commisurate alle nuove rigidzze ristrutturate, ma eccessive per le capacità dei fabbricati privi di interventi migliorativi, con conseguente danno esteso”;

Fig. 5 Esempio di edificio con paramenti murari non omogenei
(fonte: <https://www.ingegneriasismicaitaliana.com>)



Fig. 6 Esempio di edificio senza connessioni tra impalcati e murature (fonte: <https://www.ingegneriasismicaitaliana.com>)



- “edifici molto danneggiati spesso permettono di riconoscere paramenti murari molto disomogenei nei componenti e rimaneggiati nella geometria, con verosimile incremento degli indebolimenti locali; spesso sono riconoscibili interventi locali di apparente consolidamento degli impalcati, causando un appesantimento certo ed un irrigidimento nel piano solo presunto”;
- “sempre riconosciuta pregiudizievole l'assenza di diffuse connessioni tra impalcati e murature d'ambito” (fig. 6).

I danni riscontrati non sono ascrivibili unicamente a questi pochi casi citati, ma è probabile che mentre in alcuni casi si parla di mancato rispetto delle norme vigenti per le costruzioni antisismiche, in altri non ci sono stati gli adeguamenti necessari, o le ristrutturazioni non hanno tenuto conto dell'intorno, in altri casi ancora si tratta di costruzioni più vecchie, magari disabitate, in cui è mancata persino la manutenzione ordinaria. In Italia, in base alla normativa sismica sugli edifici aggiornata al 25 marzo 2003, un primo controllo è quello sui terreni di fondazione, ovvero quelli su cui vengono edificate le costruzioni: i terreni devono essere esenti da rischi di instabilità dei pendii e di cedimenti permanenti. “Le strutture degli edifici, ivi compresi gli eventuali dispositivi

antisismici di isolamento e/o dissipazione, pur subendo danni di grave entità agli elementi strutturali e non strutturali, devono poi mantenere una residua resistenza e rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali e soprattutto l'intera capacità portante nei confronti dei carichi verticali. Sulla base di tali controlli, si distinguono diversi livelli di protezione antisismica, che sono differenziati in funzione dell'importanza delle costruzioni (scuole, ospedali, forze armate o protezione civile) e del loro uso”¹. A ogni livello corrispondono norme tecniche più o meno stringenti, che i Comuni classificati come sismici devono¹:

- fare rispettare in fase di progettazione di costruzioni nuove, utilizzando gli strumenti appositi (PRG, normativa regionale e decreti ministeriali)
- portare in fase di adeguamento per le costruzioni preesistenti.

¹ Cfr: Ordinanza PCM 3274 del 20/03/2003 e documenti correlati (riportata su <https://www.ingv.istituto.it>)

4.3 Verifiche di agibilità

I danni devono essere valutati, si deve comprendere a quali conseguenze possono portare, anche in un secondo tempo, e quali sono gli interventi necessari per la messa in sicurezza degli edifici.

Dopo il terremoto del maggio 2012 (nell'Emilia), con un decreto ministeriale¹ nascono delle procedure per la valutazione della sicurezza e dell'agibilità degli edifici in conseguenza agli eventi sismici. Subito dopo la scossa del 20 maggio vengono avviate le prime verifiche speditive (svolte allora dai Vigili del Fuoco) per stabilire l'agibilità degli edifici. E' in questo contesto che nasce la scheda Aedes, poi formalizzata come documento nel giugno seguente.

La scheda Aedes, acronimo che sta per Agibilità e Danno nell'Emergenza Sismica, è un documento necessario per poter accedere agli edifici coinvolti nelle aree terremotate. E' un documento che deve essere compilato da un tecnico accreditato della protezione civile e, per permettere il rientro, deve dare risultato positivo: "A" (agibile). I sopralluoghi devono essere richiesti dai cittadini che sottopongono la loro abitazione ad un'indagine; l'ispezione è di tipo visivo e valuta se i danni sono tali da comprometterne la sicurezza. I risultati, che vanno dalla A alla F, si possono classificare così: A permette un rientro immediato; B presuppone la necessità di qualche piccolo lavoro di risanamento; C significa che l'edificio è parzialmente inagibile, ovvero che almeno su una parte si deve intervenire in modo consistente ed urgente; D significa che l'indagine deve essere più approfondita e che l'esame visivo da solo non permette di decidere sulla stabilità; E descrive un palazzo danneggiato o semicrollato del tutto inagibile ed infine la F è riservato a costruzioni che potrebbero rappresentare un pericolo anche per l'intorno.

La scheda non è fine a se stessa, ovvero non serve solo al singolo, ma l'insieme dei rilievi effettuati permette una mappatura degli edifici esistenti (mappatura necessaria anche per l'eventuale definizione dei bonus fiscali, da inserire nella legge di stabilità). La classificazione degli edifici è una specie di prontuario tecnico che consente di operare una valutazione sugli investimenti da fare, e può diventare uno strumento di pianificazione, anche per capire quali edifici è più conveniente ristrutturare e mettere in sicurezza, e quali invece demolire e ricostruire. Tenzialmente più la struttura si è dimostrata efficiente, maggiormente trascurabile è il costo delle riparazioni, viceversa negli edifici più vecchi anche il costo della messa in sicurezza tende a salire.

L'Italia ha un patrimonio architettonico importante, e la maggior parte dei Comuni ha, nel proprio centro storico, un insieme di fabbricati che, strato su strato, ne raccontano la storia. L'impianto urbanistico, il tessuto edilizio, forma e conformazione degli isolati, particolari costruttivi e decorativi, concorrono alla

¹ Il DM n. 74 del 6/6/2012 si occupava in particolare degli interventi necessari al superamento dell'emergenza sismica dei due eventi del 20-29 Maggio. Se la maggior parte degli articoli si occupa della parte finanziaria (sia legata allo stanziamento di fondi, sia legata alla deroga di tasse e contributi) nell'art. 3 si rende noto che "al fine di favorire un rapido rientro nelle unità immobiliari ed il ritorno alle normali condizioni di vita" si deve far compilare la Aedes da un professionista abilitato, per effettuare il ripristino dell'agibilità.

composizione di un insieme che rappresenta un unicum da tutelare e valorizzare.

Il tessuto edilizio urbano, però, non è composto soltanto da centri storici o da manufatti che hanno un valore storico ed artistico, è composto anche da fabbricati che non hanno “storia” e che non hanno nessuna valenza “culturale”. E se dal punto di vista culturale concentrarsi su ciò che deve essere preservato in quanto testimonianza storica ha un certo significato, bisogna però ricordare che ridurre il rischio sismico non coinvolge solo le cose, ma anche le persone, e che le periferie mal costruite, gli edifici non storici, non interessanti, magari oggettivamente brutti, sono comunque popolati. La prevenzione del rischio dovrebbe essere studiata in modo da essere il più inclusiva possibile.

La verifica di agibilità, fatta attraverso la scheda Aedes, per quanto importante ai fini di una prima valutazione dei danni, non costituisce un’analisi approfondita e non la sostituisce. E, soprattutto, è una scheda che presuppone che un evento si sia già compiuto: si occupa della valutazione del danno avvenuto, mentre sarebbe interessante che fosse predisposto un censimento per quegli edifici che sono stati costruiti senza collaudo, e che sono “senza valore”, per stabilire qual è il danno probabile.

4.4 La scheda Aedes

La scheda Aedes, come specificato sul sito della protezione civile (<http://www.protezionecivile.gov.it>) da cui si può accedere al documento da compilare, si compone nello specifico di nove sezioni, le prime tre sono relative all’identificazione dell’edificio (dati catastali, descrizione e tipologia), dalla quattro alla sette sono riservate al giudizio dei danni (strutturali, non strutturali, eventuali pericoli esterni e di fondazione); la sezione 8 è il giudizio di agibilità e la nove permette di inserire informazioni varie. La schedatura viene fatta da tecnici incaricati dal comune, che sottopongono l’edificio ad un esame visivo, e l’analisi viene approfondita nei casi in cui la struttura non venga considerata agibile.

L’attribuzione dell’agibilità tratta l’edificio nella sua interezza, in quanto è considerato unità strutturale minima, e non c’è, ovviamente, nessun interesse per le eventuali partizioni catastali. Si parla, poi, di aggregati strutturali che comprendono edifici di differente tipologia, intendo con essi un insieme di edifici non omogenei ma con una contiguità elevata, che possono interagire sotto un’azione dinamica. E’ necessario inserire anche l’anno di costruzione (che va confrontato con l’epoca di classificazione sismica del Comune) e di eventuali ristrutturazioni che condizionano, sia per importanza che per estensione, il comportamento strutturale dell’oggetto.

L’analisi del danno, nel caso in cui si tratti di danni sismici sul patrimonio storico, non è compiuto solo attraverso la scheda Aedes, ma a prescindere dall’eventuale presenza del vincolo Mibac, il riscontro del danno e del rischio sismico correlato è affidato ad una schedatura di secondo livello mirata ad un approfondimento della conoscenza storica e costruttiva (Bartolomucci, 2013)

A	edificio agibile	la funzionalità dell'edificio non risulta alterata
B	edificio temporaneamente inagibile, ma agibile con provvedimenti di pronto intervento	se ripristinata l'agibilità è possibile utilizzare l'edificio in tutte le sue parti senza pericolo per i residenti
C	edificio parzialmente inagibile	l'edificio ha porzioni inagibili ed altre agibili, è il Comune che specifica con un'ordinanza la loro suddivisione
D	edificio temporaneamente inagibile da rivedere con approfondimento	ci sono difficoltà nella redazione del documento e si deve prevedere la ripetizione del sopralluogo da parte o di una squadra con formazione specifica o dotata di una strumentazione idonea; l'edificio è dichiarato temporaneamente inagibile
E	edificio inagibile	l'edificio non può essere utilizzato in nessuna delle sue parti: i danni possono essere di tipo strutturale, non legati alla struttura portante, legati alle fondazioni
F	edificio inagibile per rischio esterno	l'edificio può essere inagibile per grave rischio esterno, situato a ridosso di una costruzione a rischio di crollo); l'esito F viene assegnato in aggiunta ad una valutazione che può spaziare da A ad E .

Tabella esplicativa dei risultati di agibilità della scheda AEDES

SITOGRAFIA:

Bartolomucci C. Trizio C., “*Documentazione speditiva per la conservazione del costruito storico in situazioni di emergenza*”, conferenza “ReUSO” Actas del Congreso Internacional sobre Documentación, Restauración y Reutilización del Patrimonio Arquitectónico (Madrid, 20-22 junio 2013)

<https://www.ingegneriasismicaitaliana.com>

<https://www.ingegneri.cc>

<https://ingvterremoti.wordpress.com>

<https://www.protezionecivile.gov.it>

UN EDIFICIO DI ARQUATA DEL TRONTO

5.1 Inquadramento territoriale

Nel corso della preparazione dell'esame di rilievo mi era stata assegnata una nuvola di punti relativa ad un edificio del comune di Arquata del Tronto. L'edificio è in una frazione, Pescara del Tronto, che dista circa 4 km da Arquata del Tronto. In provincia di Ascoli Piceno, si trova in una zona che, oltre ad essere fortemente sismica, è a rischio di altri eventi potenzialmente dannosi, quali frane e esondazioni. I dati raccolti in questo frangente trattano una situazione di emergenza, causata da un evento naturale importante, che ha portato alla necessità di inventariare il patrimonio architettonico per definirne lo stato di fatto.

La regione, come si legge sul sito della protezione civile, si è dotata di un documento denominato Aedes (agibilità e danno emergenza sismica) che, dopo sopralluogo dei tecnici della protezione civile, viene compilato; l'ispezione è di tipo esclusivamente visivo ed è volta a stabilire se i danni sono strutturali, se c'è pericolo immediato, qual è l'entità delle riparazioni indispensabili).

Il rilievo dell'immobile in oggetto deve essere inquadrato all'interno di questa situazione e di questo momento storico; i documenti di cui si dispone sono la scansione denominata:

"terrestre_med_row.las" per ciò che riguarda il suo stato dopo le scosse dell'estate, e poche informazioni fotografiche desunte da Google per quanto riguarda invece lo stato antecedente. Esse sono state utili anche solo per fare un confronto e stabilire con certezza che le crepe visibili al momento del rilievo erano imputabili al sisma. Il terremoto che ha colpito l'edificio in questione è quello del 24 Agosto 2016 di cui si riporta sintetica descrizione, tratta dal sito dell'INGV:

"Le aree più colpite dagli eventi sismici sono l'alta valle del Tronto e la zona dei



Fig.1 Immagine antecedente le scosse del 24 Agosto.
(fonte: <https://www.google.it/streetview/>)

monti Sibillini, tra Umbria e Marche, dove sono avvenute anche le scosse del 26 e del 30 ottobre. Ingenti sono i danni agli edifici residenziali, agli edifici pubblici, alle imprese, alle vie di comunicazione e ai beni culturali della zona. Si riporta il numero attuale di 299 vittime. Nella scossa del 24 agosto è stato danneggiato in modo grave (e poi evacuato) il principale ospedale di area laziale-marchigiana, il "Grifoni" di Amatrice.

Tra le vie di comunicazione hanno subito danni: la strada statale 4

(Via Salaria), che comunque è rimasta percorribile ed ha costituito la principale direttrice per l'afflusso dei soccorsi, sulla quale alcuni viadotti hanno subito spostamenti; la carreggiata è ristretta dalle frane in vari tratti. La strada regionale 260 è stata chiusa per il danneggiamento del ponte Tre Occhi; inoltre sono stati chiusi ampi tratti della strada statale 685 delle Tre Valli Umbre. Buona parte della viabilità secondaria, tra cui molte delle strade di accesso ai paesi colpiti, è rimasta invece del tutto interrotta, costituendo un importante ostacolo all'arrivo dei soccorsi. Il terremoto ha causato anche vasti danneggiamenti al patrimonio culturale della zona. Ad Amatrice la via principale del corso umbertino è diventata il simbolo della devastazione della scossa del 24 agosto: soltanto la torre civica è rimasta in piedi, assieme alla chiesa di Sant'Agostino, alle porte del centro, benché con la facciata parzialmente crollata. Ad Accumoli ci sono stati vari crolli nel centro storico, tra i quali quello più gravoso del campanile della chiesa parrocchiale. Molte frazioni del comune amatriciano sono risultate gravemente danneggiate, con il crollo della chiesa parrocchiale e delle case del centro storico."



Fig. 2 Fotografia aerea ante sisma, in rosso è evidenziato l'edificio oggetto di rilievo (fonte: [http://www. Google Earth Pro](http://www.GoogleEarthPro))



Fig. 3 Fotografia aerea post sisma; in rosso è evidenziata l'area su cui insisteva l'edificio. (fonte: Google Earth Pro).

5.2 Rilievo ed analisi dei danni

L'edificio si trovava sulla Strada Provinciale 129, al numero civico 14. Aveva pianta quadrangolare con andamento longitudinale, il piano terra era interrato sul versante nord. Aveva aperture sul lato sud dell'edificio ed una sul lato ovest (in corrispondenza di una parte che potrebbe essere stata aggiunta in un secondo tempo). A lato dell'edificio era addossata una costruzione che sembrava avere funzione di rimessa, con tetto in lamiera (dalla scansione si poteva supporre essere stato rifatto in legno e tegole). Il tetto dell'edificio principale era ad una falda. Gli spigoli del fronte principale erano in pietra, i marcapiano sono individuati da una fascia colorata grigia, le finestre di primo e secondo piano f. t. hanno una cornice chiara, così come il portone al piano terra.

Questo era lo stato di fatto, probabilmente fino al sisma che ha colpito la frazione lo scorso Agosto. Le riprese di Google Street sono del 2012, per cui attendibili per lasso temporale. Osservando la nuvola di cui si dispone, i danni sul fronte principale (parete sud) sono più evidenti sulla fascia alta dell'edificio, anche se hanno interessato anche lo spigolo destro. La parete ovest sembrava essere quella meno danneggiata.



Fig. 4

Immagini del file "terrestre_med_row.las"

La parete est è percorsa da crepe ad andamento diagonale che interessano l'intera parete dell'edificio principale, mentre non sembravano esserci danni rilevanti sulla parte "aggiunta". Oltre alle informazioni derivanti dal rilievo effettuata in data 26 Ottobre, su Google Maps è stata pubblicata questa fotografia, sempre datata ottobre 2016, che pur non avendo valore metrico, fa vedere i danni intorno alle finestre del secondo piano, e come si è fessurata la sezione di muratura interposta tra pietra e intonaco. Genericamente i danni vengono divisi per entità.

Fig. 5 Particolare delle crepe e dei danni , post sisma
(fonte: <https://www.google.it/streetview/>).



Nella classificazione del danno D1 si possono verificare possibili cadute di oggetti non strutturali. Per le murature si parla di lesioni di maggiore gravità rispetto al D1, anche con espulsioni di materiale e con ampiezza di qualche mm (fino a circa 1 cm) o più ampie in prossimità delle aperture, con sintomi di lesioni da schiacciamento, distacchi significativi fra solai e/o scale e pareti e fra pareti ortogonali, qualche crollo parziale nell'orditura secondaria di solai. Nelle coperture in legno o in acciaio con manto di tegole, sconnessioni nell'orditura secondaria e spostamenti apprezzabili (fino a circa 1 cm) degli appoggi delle travi principali, sconnessioni nell'orditura secondaria e caduta di una porzione rilevante del manto di tegole; per quanto riguarda la classificazione dei danni si rimanda al sito della protezione civile.

5.3 Restituzione grafica della nuvola di punti

Per quanto riguarda la raffigurazione architettonica si decide di restituire le facciate ovest, est, sud, e si presenta una parziale ricostruzione del profilo di pianta. Non ci sono dati sufficienti per allegare piante di tutti i piani o informazioni sulla partizione interna dell'edificio.

La restituzione grafica è stata ottenuta lavorando sui dati della nuvola di punti denominata: "terrestre_med_row.las" rilevata in data 26 ottobre 2016 dalla squadra del Politecnico, quindi dopo gli eventi sismici del 24 Agosto, ma nel periodo antecedente alle successive scosse di ottobre 2016 e di gennaio 2017.

Mentre nel rilievo classico si scelgono a priori i punti da rilevare, con questa tecnica si ottiene una grande quantità di dati, e si può scegliere a posteriori di utilizzare quelli che si ritengono significativi. In un caso di studio come questo è fondamentale poter lavorare sullo stato di fatto: la focalizzazione è non tanto sulla restituzione grafica del disegno architettonico quanto sull'analisi dei dati necessari a comprendere quali

Sono i danni e stabilirne l'entità, dando quindi un supporto di tipo analitico in una situazione di emergenza. (che in questo tipo di casi passa attraverso la valutazione delle crepe e sullo spessore delle fessurazioni, eventuali fuori piombo, etc.).

Il proposito è rendere quanto più efficiente ed automatico possibile il sistema di rilevamenti in modo da poter scansire un elevato numero di edifici nel minor tempo possibile mantenendo però inalterata ed elevata la qualità delle acquisizioni. Dal punto di vista pratico, sui dati viene fatta una prima "lavorazione" con il programma CloudCompare, legando eventualmente la nuvola a dei punti di controllo topografici, nel caso si disponga di una scansione

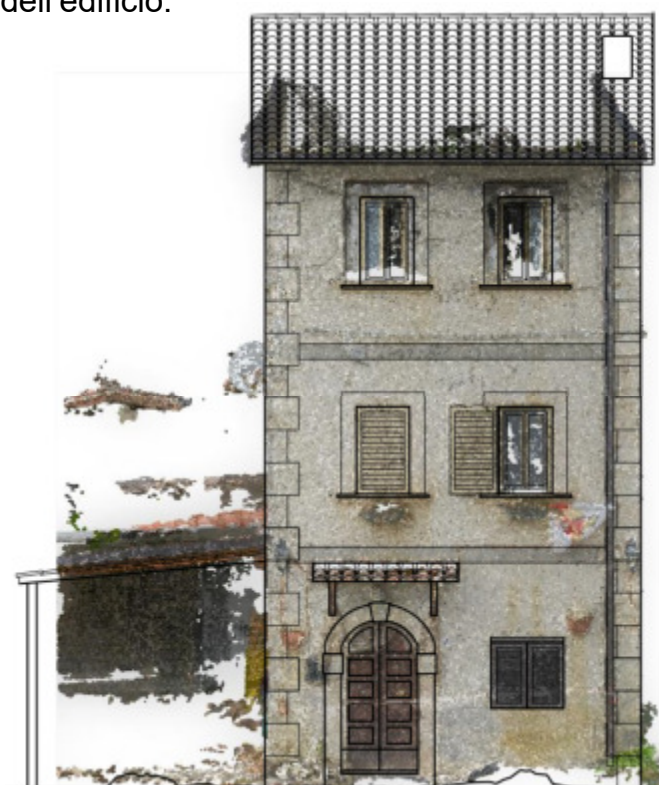


Fig. 6 Prospetto lato sud, sovrapposizione tra nuvola di punti e rilievo.

Fig. 7 Prospetto lato ovest ,
sovrapposizione tra nuvola di punti e rilievo

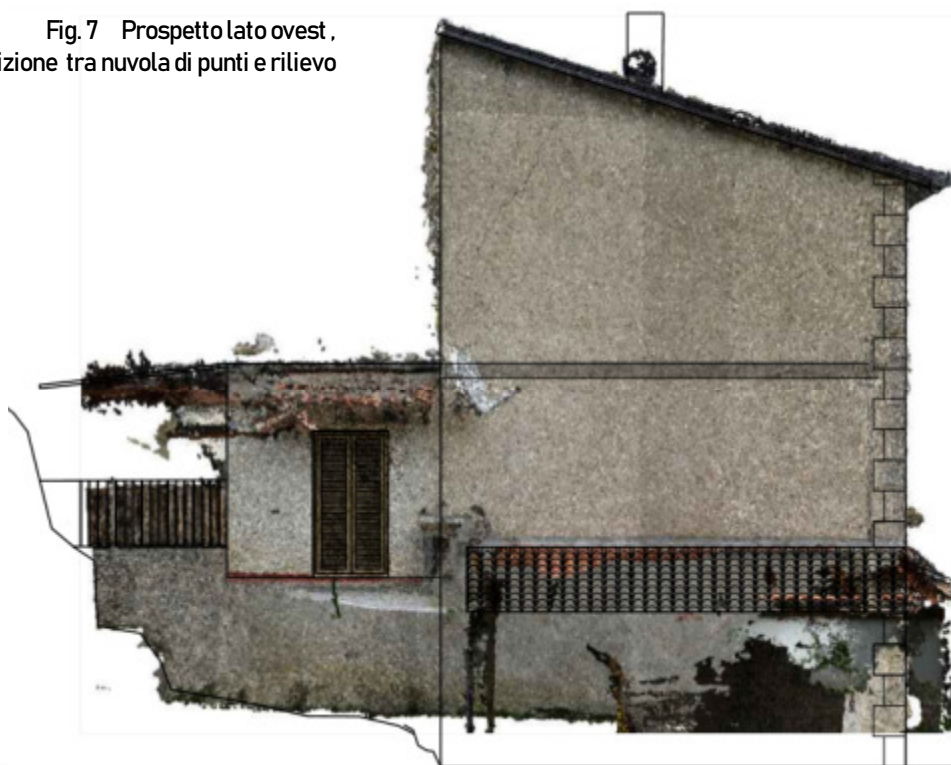
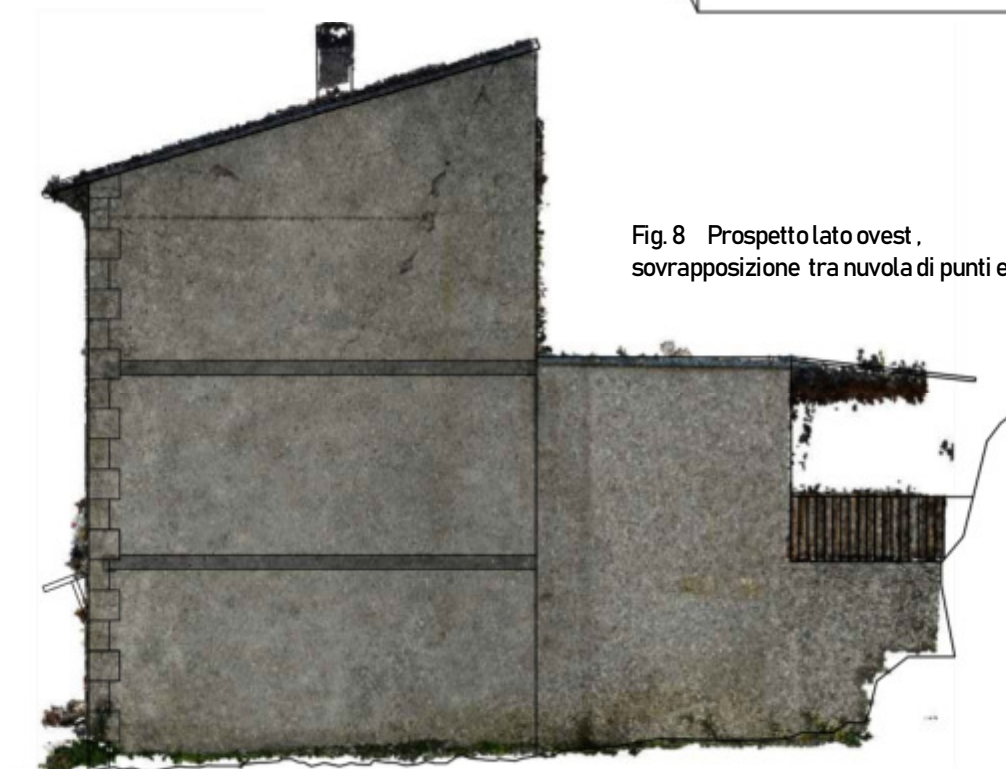
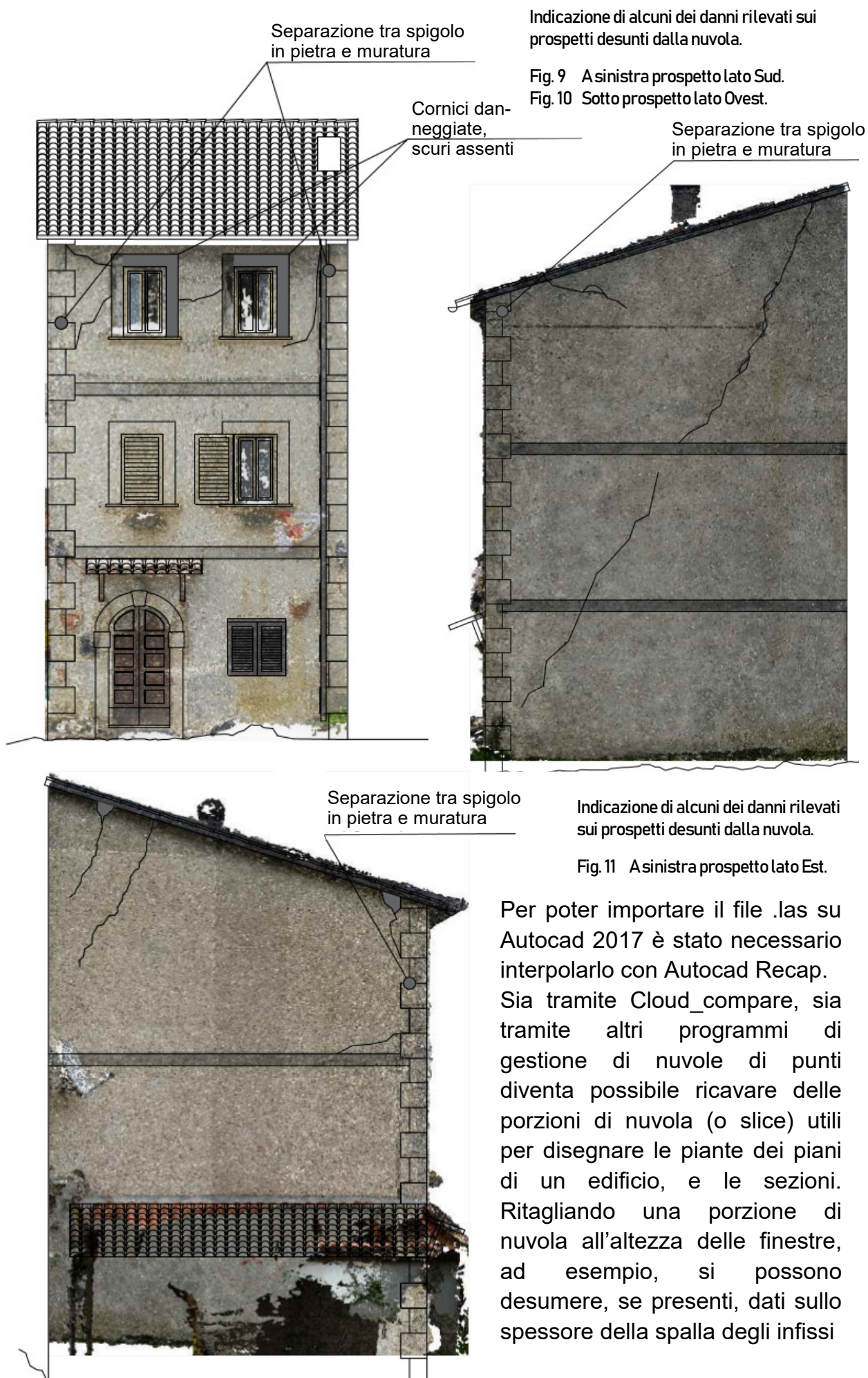


Fig. 8 Prospetto lato ovest ,
sovrapposizione tra nuvola di punti e rilievo



non georiferita. A questo punto si applicano alcuni filtri che permettono di pulire la nuvola (il filtro Sor, che lavora sullo scarto quadratico medio ed il filtro del rumore) e poi si possono eliminare manualmente i punti che non fanno parte della superficie che interessa (possono essere parti di edifici confinanti, di strada, persone); si ottiene quindi un file da importare in Autocad al fine di trasformarlo in un disegno “classico”, derivandone pianta, prospetti, sezioni, ed eventualmente anche particolari costruttivi. Il tutto dipende dalla densità della nuvola (più è densa, maggiore sarà la capacità di desumere dati su particolari di piccola entità, e più la restituzione potrà essere descrittiva).



Per poter importare il file .las su Autocad 2017 è stato necessario interpolarlo con Autocad Recap. Sia tramite Cloud_compare, sia tramite altri programmi di gestione di nuvole di punti diventa possibile ricavare delle porzioni di nuvola (o slice) utili per disegnare le piante dei piani di un edificio, e le sezioni. Ritagliando una porzione di nuvola all'altezza delle finestre, ad esempio, si possono desumere, se presenti, dati sullo spessore della spalla degli infissi

ed il profilo della pianta stessa. Esaminando i danni che aveva riportato l'edificio risultano molto evidenti sia le crepe ad andamento obliquo che interessano le facciate est ed ovest, sia lo scollamento tra rivestimento in pietra e muratura per entrambi gli spigoli del prospetto principale. Gli scuri del piano superiore risultano assenti, così come le cornici in pietra delle finestre del piano superiore sono in parte crollate.

L'edificio era gravemente danneggiato e la sua struttura compromessa e, in seguito al successivo evento sismico del 18 gennaio del 2017, non ha retto le successive sollecitazioni subendo un collasso strutturale definitivo.

SITOGRAFIA:

<https://www.google.it/maps>: per la vista dall'alto (situazione ante e post sisma) 38 SP129 (Pescara del Tronto, Marche)

<https://www.google.it/streetview>: per le immagini stradali (situazione ante e post sisma) 38 SP129 (Pescara del Tronto, Marche)

<https://www.ingegneri.cc>

<http://www.protezionecivile.gov.it>

“La sequenza sismica in Italia centrale: un primo quadro interpretativo dell'INGV” articolo della redazione del 30/8/2016 consultato il 15/5/2018 in

<https://ingvterremoti.wordpress.com> (url:<https://ingvterremoti.wordpress.com/2016/08/30/la-sequenza-sismica-in-italia-centrale-un-primo-quadro-interpretativo-dellingv/>)

Prandi C., *“Prima documentazione fotografica di alcuni danni del recente evento sismico di Amatrice-Norcia-Valle del Tronto del 24 Agosto 2016 e successivi scuotimenti”* del 31/8/2016 consultato il 15/5/2018 in

www.ingegneriasismicaitaliana.com (url: <http://www.ingegneriasismicaitaliana.com/it/3/news/1019/prima-documentazione-fotografica-di-alcuni-danni-del-recente-evento-sismico-di-amatrice-norcia-valle-del-tronto-del-24-agosto-2016-e-dei-successivi-scuotimenti/>)

IL COMPLESSO CONVENTUALE DELLA BASILICA DI SAN NICOLA ANALISI GEOGRAFICA E STORICA

6.1 Inquadramento territoriale e geografico del Comune di Tolentino

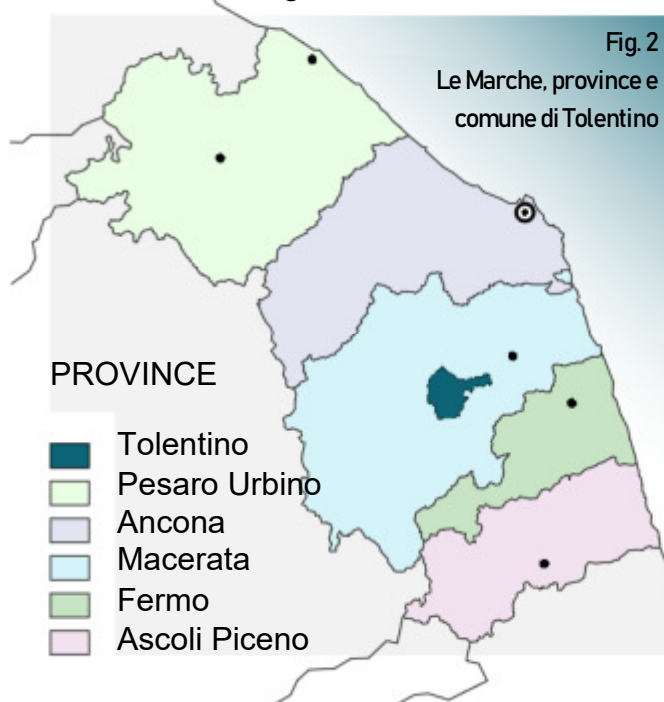
Tolentino è un comune della provincia di Macerata, nella regione delle Marche. Ha circa 20.000 abitanti e si trova in una posizione geografica relativamente favorevole, situato fra mare e montagna, sulle rive del fiume Chienti. Città d'arte, così viene descritto dal sito comunale, ha il suo centro storico ancora in parte delimitato dalle mura duecentesche; ospita monumenti architettonici di interesse artistico, come il complesso della basilica di San Nicola. La zona su cui è si è concentrata la parte più densamente abitata del comune è in pendenza; la cittadina si trova infatti arroccata sulla cima di un'altura a circa 230 mt sul livello del mare.

Si ritiene che sia stato un insediamento creato dai Sabini che, passato l'Appennino per trovare nuove terre su cui insediarsi, scelsero la valle del Chienti. In seguito nominato fra i municipi romani della provincia di Piceno, non

ha quasi ruderi romani, in parte a causa delle successive invasioni barbariche, in parte per il costante sovrapporsi di nuovi edifici. Con le invasioni la maggior parte degli abitanti si rifugiarono sulle alture, anche se una parte esigua degli abitanti rimase in questa zona, grazie anche al nascente complesso monastico.

Nel 1166, sotto il controllo del Marchese di Ancona, fiorisce come Comune e si dota di mura, che ancora in parte resistono, anche se in parte inglobate in edifici di epoca successiva.

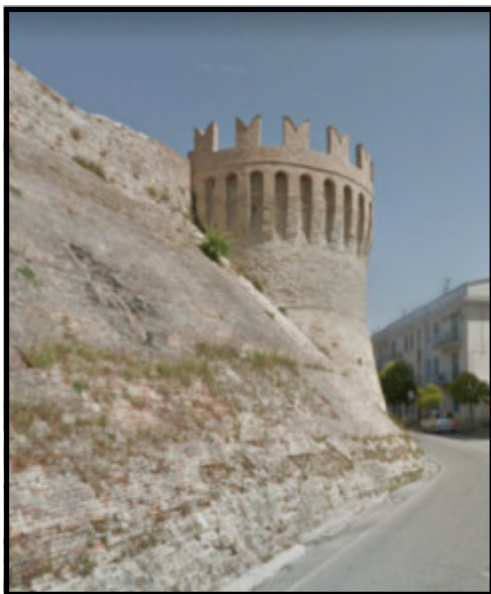
Fig. 1
L'Italia divisa in regioni,
con indicazione delle Marche.



Legata in seguito alle sorti dell'impero pontificio, restò sotto il dominio papale fino al 1861.

Dopo l'unificazione d'Italia rimane un comune in crescita lenta seppure costante.

La parte edificata del centro storico è costituita da lotti quasi del tutto intasati, da vie strette, alcune solo pedonali, a gradoni, ed è in parte ancora inscritto nelle vecchia cinta muraria, che in parte è compresa nello stesso edificato. Tra queste persistenze spicca anche una torretta che è compresa nel tratto di mura al confine sud del lotto basilicale.



definito come una necessità inderogabile il rilevamento delle strutture, si citano alcune dichiarazioni tratte dal sito dell'INGV: "il terremoto dello scorso ottobre colpisce diversi monumenti storici del Comune, danneggiando in modo grave, la Chiesa del SS Crocifisso,

Fig. 5 A destra: interno della Chiesa del SS Crocifisso, ottobre 2016 (fonte: <http://www.lostatodellecose.com>).

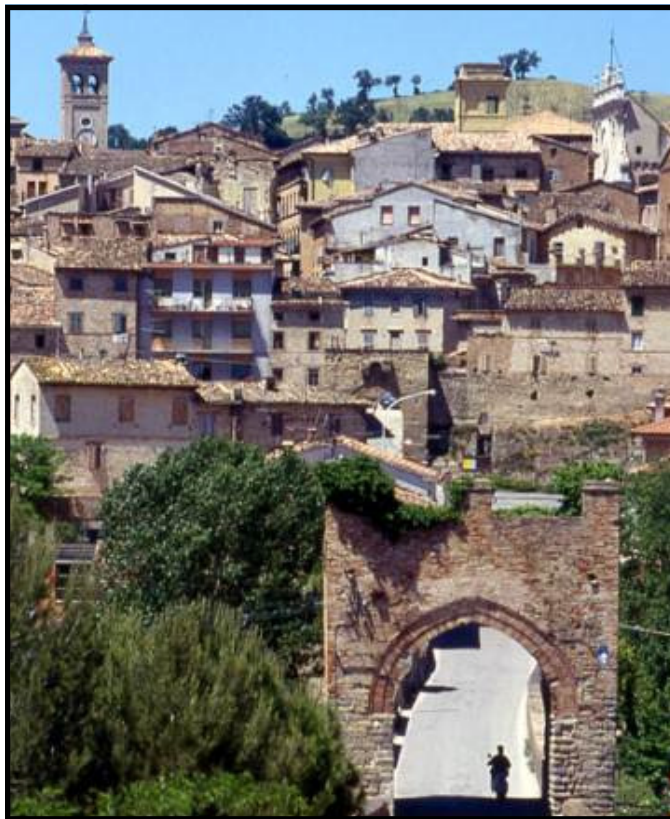


Fig. 3 Sopra, uno scorcio di Tolentino, da cui si vede come il centro del Comune sia stato effettivamente edificato in una zona collinare con pendenze importanti (fonte: <http://wikimapia.org>)

Fig. 4 A sinistra, Parte della cinta muraria duecentesca del comune, che delimita la parte sud del lotto della basilica (fonte: <https://www.google.it/streetview/>)

Le informazioni sul Comune sono tratte dal sito comunale e, in parte, dall'enciclopedia online del sito www.treccani.it. Per quanto riguarda invece la parte di storia più recente, quella relativa al terremoto, che ha

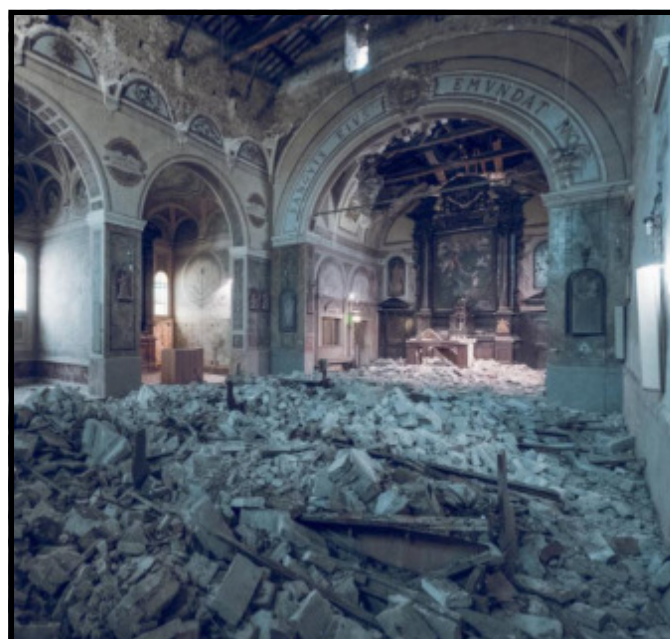




Fig. 6 Sopra: Via Pasubio, Tolentino
(fonte: <https://www.cronachemaceratesi.it>)

Fig. 7 Sotto: centro storico, Tolentino
(fonte: <https://www.cronachemaceratesi.it>)



oltre al complesso in oggetto. Il numero di vittime e feriti è contenuto, ma ci sono migliaia di sfollati e diversi quartieri della città, soprattutto la zona prossima a Viale Vittorio Veneto, hanno a tutt'oggi necessità di interventi.

Ad oltre un anno e mezzo dal sisma la situazione non sembra essersi evoluta molto, sotto il punto di vista degli interventi effettuati.

Si leggono diversi appelli del comitato "Centro Storico" alla Soprintendenza, a cui si chiedono provvedimenti per mettere in sicurezza opere d'arte (affreschi, tele, bassorilievi, principalmente) che si trovano esposti alle intemperie e che non sono ancora stati recuperati né, evidentemente, restaurati.

Inoltre a monte di alcuni quartieri, ed a seguito del sisma, sono stati riconosciuti alcuni movimenti franosi, la cui valutazione tende a provocare un ulteriore ritardo, seppure giustificato, nel normale iter delle ricostruzioni. Continuano ad essere rilevate repliche: alcune di esse, che in normali circostanze non comporterebbero danni, incidono in maniera forte su edifici non ancora ristrutturati né messi in sicurezza. Un edificio del centro storico, gravemente danneggiato già dal precedente sisma, dichiarato inagibile e che era stato fortunatamente sgomberato, è crollato il 7 Marzo del 2018.

Fig. 8 Asinistra: facciata della basilica di San Nicola.
(fonte: <https://www.google.it/streetview/>).

6.1.2 Inquadramento territoriale dell'area su cui insiste la basilica

Il comune ha il centro storico compreso fra il fiume Chienti e le colline che ne delimitano il territorio a nord; le aree di nuova edificazione, invece, si snodano lungo la strada provinciale che conduce a Camerino (in direzione ovest, con una lieve flessione verso sud) ed a Macerata (in direzione est). La zona su cui insiste il complesso della basilica è la parte sud del centro storico, e vede una differenza di altitudine, tra la strada immediatamente a nord, e quella a sud, di circa 20 mt. L'area è in discesa verso il letto del Chienti: per portare l'area di edificazione in piano, come storicamente documentato, sono stati fatti scavi e riporti, integrati in seguito da bonifiche (l'area prossima al fiume veniva descritta come paludosa). La parte sud della zona conventuale è delimitata dalla vecchia cinta muraria, della quale ingloba anche una torretta circolare.



Fig. 9 Ortofoto del complesso.
ripresa UAV effettuata con drone dalla squadra del
Politecnico in occasione dei rilievi del Febbraio 2017



Fig. 10 Estratto Cartografico della
Regione in scala 1:5000
(fonte: <http://ctr.regione.marche.it>).



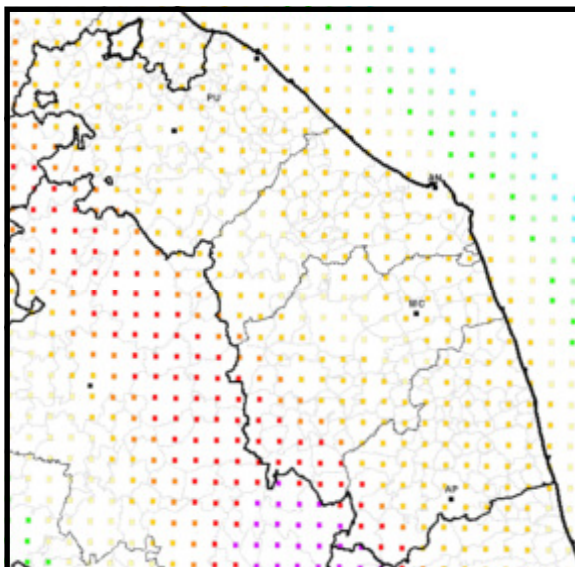
Fig. 11
Veduta aerea con indicazione della Basilica
(fonte: <http://www.GoogleEarthPro>)

La parte di abitato del centro storico è molto più densa rispetto alle nuove edificazioni; l'impianto è tipico del comune medioevale, con strade strette ed edifici addossati gli uni sugli altri, che intasano i lotti quasi del tutto, lasciando poche aree di respiro. L'allargamento del comune verso la periferia è rappresentato da lotti quadrangolari invece più ampi, intervallato da aree verdi. L'area industriale di Tolentino si snoda verso est, lungo la strada provinciale che conduce a Macerata.

Il territorio nazionale è diviso in zone sismiche per livello di rischio, come riportato nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006; sono 4 e sono state classificate in base al valore dell'accelerazione orizzontale massima, che ha una probabilità del 10% di essere superata in circa 50 anni.

- 1 Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.
- 2 Zona dove possono verificarsi forti terremoti.
- 3 Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.
- 4 E' la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica

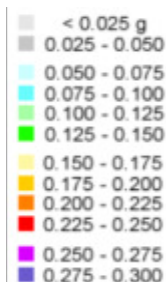
Tolentino è classificato in zona sismica di rischio 2, come riportato nel sito edilportale.com; la classificazione è stata fatta al fine di inserire delle normative di tipo tecnico, diversificate a seconda della sismicità dell'area ma valide su tutto il territorio nazionale, che devono essere rispettate per legge. Con l'entrata in vigore, nel 2009, subito dopo il terremoto de L'Aquila, di tali norme tecniche, non soltanto si specificano i requisiti essenziali in termini di resistenza meccanica, durabilità e stabilità, ma si affronta anche il problema legato al patrimonio esistente e si definiscono i tipi di intervento da attuare, e la necessità di redigere una valutazione sismica in caso di ampliamenti, sopraelevazioni e interventi strutturali. Oltre a queste poche ma essenziali informazioni, desunte sempre dal sito, è possibile visionare le Norme Tecniche 2008 e le delibere regionali per la classificazione.



VALORI DI PERICOLOSITA' SISMICA NELLA REGIONE MARCHE

(Riferimento ordinanza PCM 2006, n. 3519, all. 1b)

Espressi in termini di accelerazione massima del suolo
con probabilità di eccedenza del 10%
in 50anni riferita a suoli rigidi.

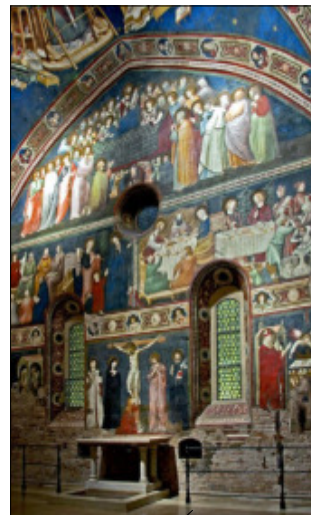


(fonte: <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>)

6.1.3 Pianta con l'indicazione delle diverse aree del complesso basilicale

Per le immagini in esterno: fonte <https://www.google.it/streetview/>:

Per gli interni: *La basilica di San Nicola a Tolentino*, Biblioteca Egidiana, 1995



- Chiostro Trecentesco
- Loggiato del chiostro trecentesco
- Basilica
- Cappella del Santo Sacramento
- Campanile
- Edifici di pertinenza del complesso
- Chiostro Rinascimentale
- Cappellone di San Nicola
- Cappella memoriale delle Sante Braccia

6.2 Inquadramento storico del complesso della basilica

Il testo “La basilica di San Nicola a Tolentino” è un esaustivo documento che consta di diverse parti a cura di religiosi che hanno raccontato sia la cronologia dell’edificazione del complesso basilicale, sia la vicenda storica che ha portato alla sua nascita. Se ne riporta un breve estratto.

“Gli eremiti di Sant’Agostino si insediarono a Tolentino nella seconda metà del tredicesimo secolo; diedero inizio ai lavori del complesso del convento nel 1284, livellando il forte pendio del terreno su cui si erano insediati, terreno situato in un’area esterna alle mura di cinta della città. La Chiesa, nonostante i tempi piuttosto lunghi in cui è stata portata a termine, risulta essere abbastanza unitaria dal punto di vista sia progettuale che strutturale. Il nucleo del convento si organizzava lungo l’ala orientale, con il capitolo e la sala del refettorio al piano terra e al livello superiore il dormitorio. Inizialmente il braccio conventuale era provvisto di un portico a copertura lignea, e fronteggiava una corte; fu poi sostituito dal chiostro, circondato da ambulacri, realizzato nella seconda metà del Trecento”.

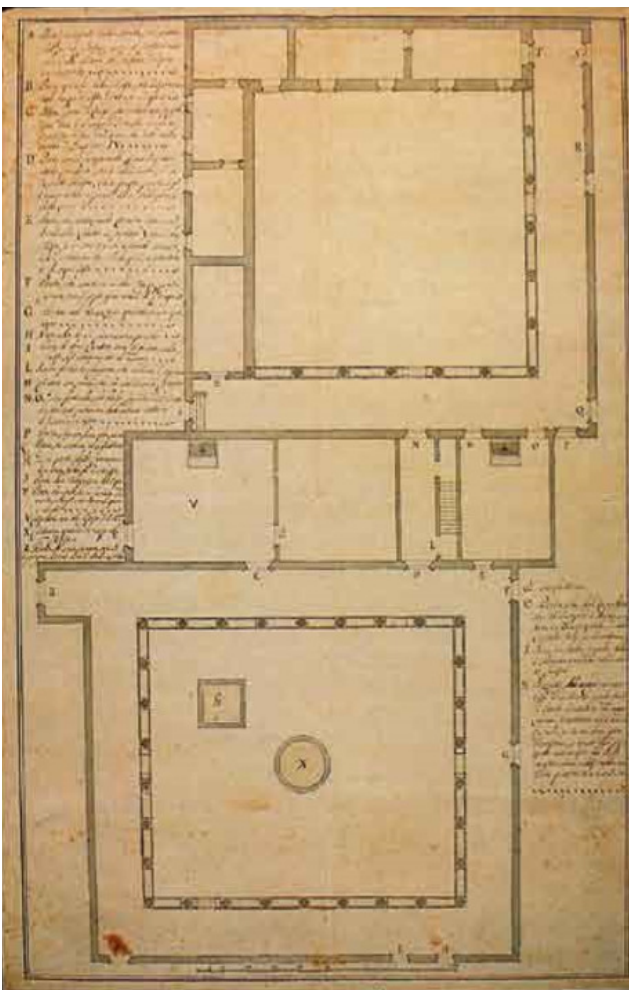
Il tipo di strutturazione conventuale propria dell’ordine mendicante non prevedeva un’organizzazione attorno al chiostro centrale, come al contrario disponeva tassativamente la regola benedettina. Il chiostro aveva il compito funzionale di creare, con le sue gallerie, percorsi per i frati che permettessero il raggiungimento della Chiesa pur osservando la più stretta clausura. “Le più tarde vicissitudini dell’impianto (con il ripristino protocinquecentesco dei capitelli dell’ambulacro meridionale, il restringimento di una campata del quadrato claustrale, l’innalzamento delle cappelle sul fianco della navata che comportava lo spostamento in avanti della galleria settentrionale) **hanno in parte compromesso la solidità del monumento in laterizio**, strutturato su forti pilastri mistilinei ed eleganti archi ribassati”.

“La costruzione e le modifiche dell’ala conventuale ruotavano, nella prima metà del Trecento, intorno al progetto ed alla fabbrica del Cappellone di San Nicola, che determinò, a lavori compiuti, lo spostamento della sagrestia nel vano quadrato che lo divideva dalla chiesa (funzione perduta nel 1424, al tempo dell’innalzamento della nuova sagrestia poi inglobata nella cappella delle Sante Braccia). L’originaria destinazione del Cappellone a sagrestia (con funzioni di oratorio) si è determinata sia dalla posizione che occupava nel braccio orientale, sia dalla sua natura architettonica, modificata poi dall’inserimento di una volta ogivale quadripartita, praticata entro il terzo decennio del Trecento, quando è stata “elevata” a memoriale. La primitiva aula capitolare è da individuarsi nella sagrestia secentesca – ambiente che oggi segue quello del Cappellone – per ragioni di natura metrica e strutturale: la centralità della sala rispetto allo sviluppo del braccio orientale; l’impianto rigorosamente quadrato (9,60 metri per lato) e relativamente basso, coperto inizialmente da una soffittatura piana, cosa poi

comprovata dalla cornice rettilinea di affreschi quattrocenteschi nascosti sotto la volta barocca, sistematicamente adottata nei capitoli agostiniani e in genere anche negli ordini mendicanti prima del 1350; infine la disposizione delle aperture che prevedeva l'accesso dal reclusum forse accompagnato da un'unica monofora, mentre tracce di una doppia finestratura restano sulla parete opposta”.

“A sud l'ala orientale era chiusa da un vasto ambiente (oggi frazionato in più locali) che aveva funzione di refettorio, almeno fino al 1370, quando il braccio meridionale è stato innalzato per ospitare un nuovo refettorio (sala San Giorgio). La sua originaria organizzazione architettonica è stata compromessa da alcuni interventi patrocinati dalla congregazione lombarda - che sostituì i religiosi marchigiani nell'occupazione del convento a partire dal 1485 e fino al 1810 - che decise di ricavarne il nuovo capitolo (oggi oratorio di San Nicola); esso prospettava più sul secondo chiostro, allora in via di costruzione, occupando parte dell'antico refettorio”.

“Il piano superiore del fabbricato conventuale era occupato dal dormitorio dei frati il cui sviluppo si arrestava a nord in corrispondenza della parete interna del Cappellone di San Nicola. Il dormitorio si configurava come un ambiente unico coperto da un tetto a capriate e illuminato da finestre centinate verso l'esterno e ad arco ribassato all'interno; solo lo scrostamento dei muri perimetrali ha reso visibile il ritmo delle monofore che si aprivano lungo i muri”.



Lo sviluppo del convento è da considerarsi circoscritto, almeno fino a metà Trecento, unicamente all'ala orientale, poiché era sufficiente a soddisfare le esigenze della comunità. Nella seconda parte del secolo un nuovo impegno costruttivo corrisponde al definitivo abbandono di un rigido modello insediativo che l'Ordine si era tacitamente imposto. Il nuovo edificato interessò dapprima l'erezione dell'ala meridionale, almeno su due piani, quindi la contestuale realizzazione del chiostro; per costruirlo si rese necessario rettificare con un'apposita parete il lato verso occidente occupato da edifici di proprietà comunale.

Fig. 12

Planimetria ante 1810 dei due chiostri

(fonte: *La basilica di San Nicola a Tolentino*, Biblioteca Egidiana, 1995)

L'innalzamento delle quattro gallerie claustrali definiva l'immagine del complesso tardomedievale: il complesso di Tolentino possiede un'effettiva particolarità architettonica nel quadro dell'Ordine. Circa un secolo dopo, ingenti lavori promossi dalla Congregazione osservante di Lombardia ridisegnarono l'impianto conventuale spostando il centro della vita comunitaria nel nuovo chiostro rinascimentale eretto dal 1490 alle spalle del primitivo braccio orientale. All'inizio del Rinascimento il complesso presenta in modo leggibile, anche se stratificato, le caratteristiche distributive degli spazi che derivano dall'archetipo dei monasteri benedettini delle origini; esse vennero recepite ed adottate, per praticità e per tradizione, dagli altri ordini mendicanti. Il fulcro centrale è sempre stato il chiostro della Chiesa, la quale ne chiude il lato occidentale, che è lo snodo di distribuzione fra le varie attività e funzioni della vita monastica.

6.3 Il Chiostro Trecentesco



Fig. 13 Chiostro trecentesco, immagine
ante sisma
(fonte: *La basilica di San Nicola
a Tolentino*, Biblioteca Egidiana, 1995)

La sua definitiva forma rettangolare, chiusa da ambulacri su tutti i quattro lati venne raggiunta seconda metà del XIV secolo e realizzata, pur nello stesso secolo, ma in fasi successive. Infatti “il 13 ottobre 1370, tenendosi il Capitolo agostiniano nel portico del convento, si conferma a quella data certa il completamento del quadriportico. Le fasi successive sono anche testimoniate da una certa eterogeneità nel trattamento scultoreo dei trenta capitelli fitomorfi dei pilastri del chiostro (i sei del lato sud sembrano spiccatamente tardogotici rispetto a quelli degli altri tre lati, di cronologia precedente) e da sottili differenze nelle archeggiature (quelle del lato occidentale sono più rialzate). Il lato settentrionale del portico, invece, sembra essere barocco, nella tipologia ellittica degli archi, pure se sostenuto da pilastri e capitelli simili al resto della costruzione”.

La conferma effettiva di questo fatto è da ricercarsi nell'accorciamento dei due bracci, orientale ed occidentale del chiostro, di una campata; questa modifica strutturale fu adottata per inserire nella navata della chiesa delle nuove cappelle, caratterizzate da una decisa profondità.

“Due pilastri vennero abbattuti e i rimanenti otto del filare settentrionale vennero traslati in avanti , o forse in parte vennero rifatti, e su di essi vennero gettate le nuove centine barocche a sostegno del nuovo muro superiore. La diversità di questo lato è testimoniata anche dall’assenza del fregio medievale corrente, in cotto ad archetti pensili e scodelle invetriate, che venne sostituito da un semplice toro laterizio. Nel 1634 e nel 1640 si hanno specifiche di spese per lo spostamento dell’ala nord del vecchio chiostro verso il pozzo di San Nicola; nel 1667-1669 si annotano ulteriori spese per la fabbrica dell’ala del chiostro. La modifica si concluse con l’erezione su questo lato di un secondo ordine, costituito dal loggiato di collegamento interno del convento, ad ampia volta ribassata che incornicia il fianco destro della chiesa. L’esame delle colonne e dei loro capitelli compositi fa però escludere una loro datazione secentesca, portandoci ad assegnare loro l’epoca rinascimentale, ipotizzando un probabile parziale riuso delle strutture in questa loggia. L’ipotesi sarebbe confermata anche da un evidente ed incongruo degrado nelle facce rivolte all’interno della loggia, il che farebbe supporre un loro riuso ed eventuale rotazione in epoca successiva. Il quarto lato del chiostro venne a pareggiare la sua altezza rispetto agli altri tre già precedentemente innalzati. Di questi, probabilmente quello meridionale (il più antico di preesistenze) fu il primo ad avere un secondo piano fuori terra. La sopraelevazione rese anche possibile la creazione, al piano terreno, di un refettorio”.



Fig. 14 Scansione lidar del chiostro trecentesco

“Tali interventi si erano resi necessari per poter ampliare i dormitori e i servizi residenziali per i religiosi oltre che eventuali ospiti illustri di passaggio per Tolentino, (dopo l’esplosione del culto del Santo, avvenuta dopo l’apertura del processo di canonizzazione nel 1325, e con la conferma definitiva della sua santificazione nel 1446). Almeno dal 1459 doveva esser stato già sopraelevato anche il lato occidentale, con la rettifica delle antiche proprietà comunali, mentre una ristrutturazione del braccio meridionale verso il Chienti è documentata nel 1502 quando si riferisce di un incarico per la sistemazione di celle per il

dormitorio dei frati, sopra le volte del refettorio trecentesco e della foresteria, suddivise da un corridoio centrale di distribuzione. In seguito i tralicci in legno che sostenevano la tettoia vennero sostituite da volte a botte, per poter acquisire ulteriore spazio al piano superiore, avanzando il calpestio a filo delle gronde inferiori. Ciò avvenne prima del 1689 (anno in cui tali ambienti furono affrescati)”.

“Le facciate avanzate del primo piano prospicienti il chiostro (Sud, Est e Ovest) vennero allora tamponate ed unificate con prospetti finestrati di estrema semplicità. L’antico pozzo di San Nicola, fatto scavare nel 1302, venne sostituito fra il 1646 ed il 1650 da uno nuovo, situato in posizione baricentrica”.

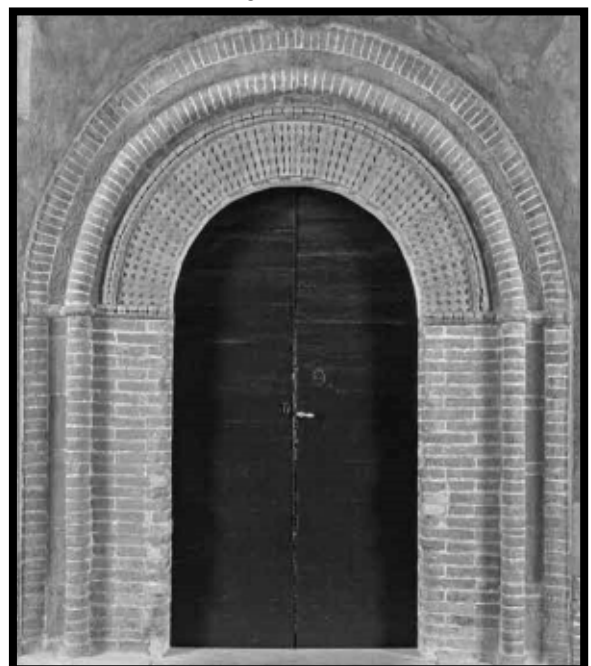
“Dal maggio 1490 sono registrati pagamenti a maestri comacini per le spese di costruzione di un nuovo chiostro da realizzarsi nelle aree libere orientali, addossate al fronte est del medievale braccio monastico del convento”.

“La costruzione del secondo chiostro fu iniziata proprio da questo lato contiguo e proseguì lungo il lato meridionale, per poi interrompersi nel 1500, con la realizzazione di due sole gallerie del quadriportico. Sugli altri due lati non vennero mai realizzate le gallerie degli ambulacri, ma furono completati con corpi di fabbrica chiusi. Dal novembre 1497 fu appaltata la costruzione di un nuovo refettorio (che è l’attuale auditorium), sul lato sud addossato al nuovo portico, che fu terminato nell’agosto 1498. I fondi necessari per questa vasta campagna di costruzioni venissero forniti in gran parte dalla locale famiglia comitale dei Mauruzi.”



Fig. 15 Chiostro trecentesco, immagine ante sisma
(fonte: *La basilica di San Nicola a Tolentino*, Biblioteca Egidiana, 1995)

Fig. 16 Portone della Sala San Giorgio, immagine ante sisma (fonte: *La basilica di San Nicola a Tolentino*, Biblioteca Egidiana, 1995)



“Avevano probabilmente sollecitato per ragioni politiche l’insediamento della nuova Congregazione, e nel maggio del 1483 avevano elargito vistose donazioni per il convento e per il santuario, con una somma specificatamente destinata all’erezione del nuovo chiostro. Tale considerazione trova conferma nella presenza ancora visibile dello stemma comitale proprio della famiglia tolentine. Tutti gli interventi attuati dai frati della Congregazione di Lombardia sono ancora identificabili nei vari locali, nonostante i reiterati stravolgimenti di questa zona attuati con le successive ripartizioni distributive. La datazione del chiostro agostiniano di Tolentino è controversa, anche se probabilmente sia la datazione ante (1310) sia quella post (1370) potrebbero essere corrette, se immaginiamo che una fabbrica di questa importanza vede probabilmente un corso molto lungo di lavori, che dipendono anche da un afflusso di fondi probabilmente non così costante. E’ poi naturale che, nel momento in cui l’edificazione si debba protrarre per decenni, ci siano mutamenti da fare in corso d’opera, che seguono, in questo caso, i cambiamenti di destinazione d’uso e o il maggiore afflusso di pellegrini e religiosi, che crescono all’aumentare dell’autorevolezza che viene attribuita al Santo. Questo manufatto rimane, in ogni caso, il più antico esempio di chiostro mendicante italiano. L’assenza di altri riferimenti architettonici trecenteschi ha determinato le incertezze cronologiche, rinviando una plausibile restituzione delle sue vicende costruttive alle fonti documentarie che riguardano sia l’insediamento sia il seguente sviluppo aggregativo dei bracci conventuali.”

“Il chiostro è riuscito a mantenere buona parte dell’aspetto trecentesco, sia grazie alla sequenza ininterrotta di forti pilastri a sezione mistilinea collegati da archi ribassati. La robustezza di questo impianto era rinsaldata, all’altezza della grondaia del tetto, dalla pesante cornice ad archetti punteggiata da bacini maiolicati policromi, i più antichi dei quali non scendono sotto l’ultimo ventennio del XIV secolo”.

6.4 La Basilica di San Nicola

Anche per la descrizione degli altri elementi del complesso della basilica si fa riferimento al testo “La basilica di San Nicola a Tolentino”, si riportano i tratti che descrivono i vari elementi:

“La chiesa, di tipologia tardo duecentesca, inizialmente dedicata a Sant’Agostino, fu in costruzione almeno dal 1284: a navata unica, con capriate lignee a vista, presbiterio rettangolo voltato a crociera, abside piatta: ovvero un tipico esempio di chiesa mendicante. Dal 1317, nonostante il cantiere mantenuto aperto, iniziò ad essere utilizzata. L’edificazione arrivò ben oltre la metà del XIV secolo, stanti i numerosi documenti di lasciti e donazioni esistenti nell’Archivio del convento. Di questo edificio medievale rimangono visibili soltanto parte del muro del cleristorio del fronte meridionale e scarsi resti murari nel basamento della torre campanaria; la chiesa antica, finalmente completata, venne consacrata nel 1465 col titolo definitivo di San Nicola.”

“Con l’insediamento della Congregazione di Lombardia, però, già nel 1485 si parla del disegno e del preventivo di spese per la nuova chiesa, di cui nel 1503 è terminata la ricostruzione della navata centrale, si trattava di un rinnovamento complessivo dell’assetto parietale della navata. In un atto del 1510 si parla della ricostruzione dell’abside: la descrizione del lavoro non lascia dubbi che si tratti del prolungamento del complesso absidale che giungeva originariamente alla radice della sagrestia quattrocentesca, voltata a crociera, dove allora terminava la fabbrica”.

“Al fianco settentrionale dell’antico presbiterio si incastonava il campanile tardogotico che nel 1433 risultava in costruzione, mentre un documento nel 1492 lo dà come esistente”.

“Nel 1519 ne fu ricostruito il pinnacolo, danneggiato dal fulmine, mentre il suo attuale coronamento è opera del XVIII secolo. Seguono lungo tutto il XVII secolo vari lavori di abbellimento e decorazione del tempio. A partire dall’aprile 1608, su istanza ed a spese del Comune di Tolentino, si iniziò la costruzione di una nuova ricca ed ampia cappella sul lato nord del transetto rinascimentale che fu poi dedicata al Santissimo Sacramento. I lavori procedettero in modo discontinuo, ma venne infine ristrutturata e decorata nelle odierne forme nel 1858. Nel 1631 si iniziò la nuova sagrestia ristrutturando la stanza a pianta quadrata nel braccio monastico, già destinata a sala capitolare medievale, ed allargandone la porta di comunicazione verso la chiesa. La sagrestia quattrocentesca, posta sul lato destro del presbiterio, era stata sin dalla canonizzazione di san Nicola (1446), destinata a contenere le reliquie delle Sante Braccia e convertita in cappella. Nel 1670, ingrandito ulteriormente verso est il santuario si crea un terzo ed ultimo vano a pianta ottagonale con volta ribassata, dotandolo di un nuovo altare contenente il forziere delle reliquie e completato con un’abside a decori marmorei terminata nel 1697. Abbandonato il progetto del 1631 che pretendeva di ricavare le nuove cappelle sui lati interni della chiesa, gli agostiniani decidono invece di estradossarle allargando il fianco destro della chiesa a scapito del portico settentrionale del chiostro antico, ridotto di una campata. Il soffitto ligneo a lacunari cassettonati, fu realizzato tra il 1605 e il 1628. L’immagine architettonica dell’interno della chiesa è frutto anche dei significativi interventi di restauro condotti dal 1856 al 1859 dall’architetto fermano Giambattista Carducci.”



Fig. 17 Interno della Basilica, immagine ante sisma

(fonte: *La basilica di San Nicola a Tolentino*, Biblioteca Egidiana, 1995)

Fig. 18 Progetto secentesco della basilica, Archivio conventuale
(fonte: *La basilica di San Nicola a Tolentino*, Biblioteca Egidiana, 1995)



“Sostanzialmente il suo intervento consistette nella demolizione della antica volta a crociera del presbiterio e la sua sostituzione con una nuova cupola a vela, nel ridisegno della spartizione architettonica dei forni della navata in sette nuovi archi per lato. Infine, nel 1858 venne affidato al Carducci anche l’incarico della ristrutturazione architettonica e decorativa della cappella del Sacramento.

L’opera di restauro rimodellò, senza stravolgerlo in modo eccessivo, lo spazio antico del tempio, adattandolo ad una architettura che era allora contemporanea.

Il ritrovamento nel 1926 del corpo di san Nicola permise il completamento dello schema tipologico di un tempio dedicato al santo, con la creazione della cripta sotterranea. L’accesso alla cripta avviene attraverso un’ampia scala a doppia rampa in modo diretto dalla

sagrestia di epoca quattrocentesca; la stessa fu edificata nel 1932, esattamente sotto il pavimento del Cappellone delle Sante Braccia”.

Il progettista, che scelse di fare riferimento all’epoca della morte di San Nicola (1305), volle impostare per la cripta uno schema gotico, inserendo volte a crociera costolonate su pilastri a fascio polistili: le cui basi ed anche i capitelli richiamano fortemente quelli del chiostro medievale.

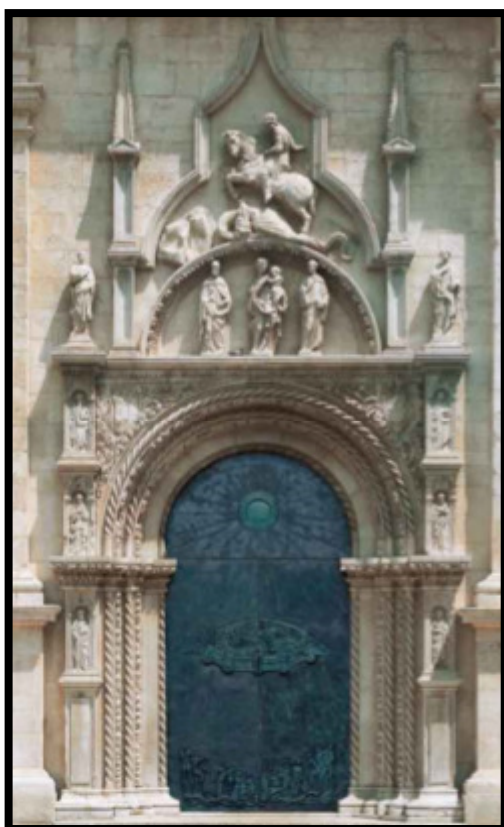
6.4.1 La facciata della basilica

“La composizione architettonica del primo prospetto della basilica non è nota; esiste una testimonianza del XVII secolo che la mostra prima del rifacimento e completamento secentesco, ma già con l’aggiunta del portale quattrocentesco: è composta da una semplicissima facciata a capanna, con un piccolo oculo sotto la cuspide”.

“Il portale in stile gotico fu eretto tra il 1432 ed 1435 e probabilmente rimase inscritto in una semplice facciata in laterizio sino al 1630, anno in cui si iniziò la decorazione in travertino della parte inferiore della facciata. Nel 1721 è documentata la costruzione di una gradinata antistante la chiesa. Il completamento dell'ordine superiore della facciata risale al 1757, e proseguì, se pure con qualche intervallo, fino al 1767, anno in cui terminò una parte dei lavori. Agli inizi del Novecento la facciata si presentava in pessime condizioni di degrado e pericolante in alcune parti, al punto da doverne decidere il restauro globale: nel 1905, si intervenne sotto la direzione dell'architetto Viviani, direttore dell'Ufficio regionale di Perugia per la conservazione dei monumenti. Recentemente (anni 1986 - 1989) si è proceduto alla pulitura ed al consolidamento dei marmi della facciata sotto la direzione della Soprintendenza ai monumenti delle Marche”.



Fig. 19 Facciata della Basilica, immagine ante sisma
(fonte: *La basilica di San Nicola a Tolentino*, Biblioteca Egidiana, 1995)



“La facciata, originariamente a capanna, vede l’inserimento di un portale quattrocentesco in un plastico prospetto tardomanierista in travertino, conducendolo sino al cornicione del primo ordine. La parte inferiore risulta spartita in cinque campate da paraste tuscaniche, su alto piedistallo, che sorreggono il fregio recante l’intitolazione della chiesa ed un cornicione dal pronunciato aggetto; mentre la campata centrale ospita il preesistente portale, quelle laterali sono occupate dalle due porte secondarie, sormontate da un timpano spezzato; sopra di esse insistono due alti finestroni, con timpano centinato su mensole, e denunciano il secolo del barocco soltanto due coppie di orecchioni laterali appena pronunciati”.

Fig. 20 Portale della Basilica, immagine ante sisma
(fonte: *La basilica di San Nicola a Tolentino*, Biblioteca Egidiana, 1995)

“Le due campatelle terminali sono occupate da nicchie emisferiche e da targhe con gli stemmi. L’ordine superiore fu portato a termine con una spartizione a tre campate, affiancate e strette da volute esterne, con cornicione e paraste in opera ionica “bastarda” che dividono i due nicchioni laterali dal gran rosone centrale, formato da un originale sole raggiato, simbolo di san Nicola. Il coronamento retto dell’attico con una balaustra – schema piuttosto inusuale nelle Marche – si conclude con quattro candelabri marmorei ed un trimonte sormontato dalla croce”.

6.4.2 Il campanile

“Al fianco settentrionale dell’antico presbiterio si trova il campanile; esso ha chiare forme tardogotiche, leggibili nelle finestrature ogivali trilobate della cella. Iniziato nel corso del Trecento, esso risultava ancora in costruzione nel 1433, e si suppone che fosse terminato nel 1492, secondo i ritrovati documenti dell’epoca”. Dai documenti emerge che un fulmine ne danneggiò una parte nel 1519, che fu ricostruita; la parte relativa all’ultimo ordine presenta elementi che sono tipici invece del ‘700, secolo in cui fu eseguito l’attuale coronamento.



Fig. 21 Campanile, immagine ante sisma
(fonte: *La basilica di San Nicola a Tolentino*,

6.4.3 Le cappelle e la sagrestia della basilica

La basilica presenta attualmente quattro cappelle per lato, di cui le più interessanti sono quella del Sacramento, delle Sante Braccia, ed il Cappellone di San Nicola. I primi affreschi risalgono al 1640, anche se molti di questi sono stati restaurati e rimaneggiati diverse volte nel corso dei secoli. In alcune cappelle sono invece di data più recente, ascrivibili al primo decennio del Novecento.



Fig. 22 Cappella del Sacramento, immagine ante sisma
(fonte: *La basilica di San Nicola a Tolentino*,
Biblioteca Egidiana, 1995)

Nel 1519
parte che
da un fulm
tre il corn
cuspid
fanno sup
coroname
cento.

La cappella del Sacramento fu costruita nel 1609, mentre la Cappella delle Sante Braccia fu edificata per esporre la reliquia, nel corso del quattrocento, anche se pesantemente modificata a partire dal 1670, a causa del maggiore afflusso. La sagrestia presenta un assetto barocco, e gli affreschi risalgono probabilmente a fine 1700.

Uno dei luoghi che rivestono maggior interesse nella Basilica di Tolentino è il Cappellone di San Nicola; noto fin dal XVIII secolo, è qui che trovano sede i resti del santo, è costituita da una grande aula che si apre sul lato nord est del chiostro, ed è famosa per la sua decorazione pittorica che risale ai primi anni del Trecento. Per quanto riguarda la struttura si evincono due fondamentali momenti costruttivi, inserito fra il coro e la sagrestia secentesca vede una ristrutturazione importante nel momento in cui la sua destinazione d'uso diviene quella attuale ed il soffitto ligneo viene sostituito da una copertura a crociera. La supposizione che fosse inizialmente destinata a sagrestia è supportata dal fatto che rispetta i dettami dell'architettura mendicante: la larga aula rettangolare ha uno sviluppo in alzato doppio rispetto alla parte residenziale.

6.4.4 La cripta

La cripta, nonostante il suo aspetto solo apparentemente gotico, è stata progettata e costruita a partire dal 1926, anno in cui viene ritrovato il corpo di San Nicola. Il progetto, tenendo conto del momento di prima edificazione del complesso si rifà allo stile allora vigente.

L'edificazione risale al 1932, ed è situata proprio sotto il Cappellone, anche per una sorta di rispondenza e contiguità fra la posizione del reliquiario e della salma.

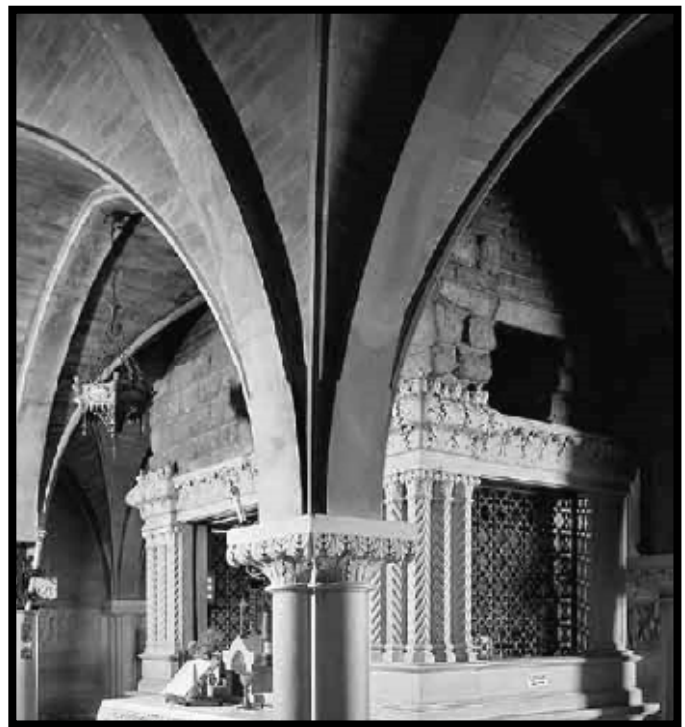


Fig. 22 Cripta, immagine ante sisma
(fonte: *La basilica di San Nicola a Tolentino*,
Biblioteca Egidiana, 1995)

ne fu ricostruita una
era stata danneggiata
nine. L'ultimo ordine ol-
ficione e la copertura a
nistilinea con la sfera
porre che il suo attuale
nto sia opera del Sette-

6.5 Cronologia della fabbrica ¹

XIII SECOLO	1265	Insediamiento in Tolentino dei monaci dell'ordine mendicante
	1275	Arrivo di Nicola da Compagnone a Tolentino (poi San Nicola)
	1284	Inizio dei lavori per il complesso e la Chiesa, da intitolarsi a Sant'Agostino
XIV SECOLO	1310	Inizio dell'edificazione del chiostro, imprecisata tra il 1310 ed 1340
	1317	Si inizia ad usare la Chiesa per le funzioni, anche se il cantiere non è chiuso
	1325	Inizio del processo di canonizzazione di Nicola da Compagnone
	1370	Completamento della costruzione del chiostro; innalzamento del braccio meridionale per ospitare il nuovo refettorio
	1389	In un anno compreso tra il 1389 ed il 1423 ma imprecisato, tentativo di profanazione della salma con il taglio delle braccia
XV SECOLO	1424	La sagrestia diviene cappella memoriale delle Sante Braccia, con inserimento di una volta ogivale quadripartita
	1432	Edificazione del portale della Basilica, in stile gotico (1432-1435)
	1433	Costruzione del campanile tardo gotico (1433-1492)
	1446	Santificazione di Nicola da Compagnone, da ora San Nicola
	1459	Già innalzato il lato occidentale del portico
	1465	Consacrazione della Chiesa antica, intitolata a San Nicola
	1483	Arrivo di nuovi religiosi della congregazione lombarda; stanziamento fondi per la costruzione di un nuovo chiostro (famiglia dei Mauruzi 1483-1485)
	1490	Inizio dell'erezione del chiostro rinascimentale (1490-1500)
	1490	Costruzione di un nuovo refettorio (1490-1500)
	1497	Termine della ricostruzione della navata centrale della nuova basilica (1497-1498)
XVI SECOLO	1502	ristrutturazione ala ovest per sistemare quante più possibili celle, con corridoio di distribuzione centrale, al di sopra del refettorio
	1503	Erezione del chiostro rinascimentale
	1510	Prolungamento dell'abside della Chiesa

¹ FONTE: Centro Studi Agostino Trapè, a cura di, *La basilica di San Nicola a Tolentino*, Biblioteca Egidiana, 1995

- Eventi legati al chiostro
- Costruzioni
- Ristrutturazioni
- Decorazioni
- Eventi legati alla vita del Santo

30 Ottobre 2016, evento sismico.
Sequenza denominata
Amatrice-Norcia-Visso

Fino al terremoto, ottobre 2016, è stato adibito a convento per i religiosi, del quale un'ala riservata ai seminaristi; gli ambienti della parte del primo piano consistono in appartamenti con camere doppie e bagni sia comuni che integrati nelle camere, oltre a sale e locali destinati

XI SECOLO

Pulitura e consolidamento dei marmi in facciata

1986

Creazione di una cripta sotterranea per l'arca del corpo

1932

Ritrovamento del corpo del santo

1926

Restauro della facciata della Basilica

1905

XX SECOLO

Ristrutturazione e decorazione della cappella dedicata al Sacramento

1855

Ristrutturazione degli spazi interni della basilica (1855-1858)

1855

Ultimo anno della presenza della congregazione Lombarda

1810

XIX SECOLO

Restauro della parte inferiore della facciata, completamento dell'ordine superiore

1757

Costruzione di una gradinata antistante la Chiesa

1721

XVIII

Tamponamento delle facciate sud, est, ovest prospicienti il portico

1689

Edificazione definitiva della cappella delle Sante Braccia (1670-1697)

1670

erezione sul braccio settentrionale del portico di un loggiato

1667

Spostamento dell'ala nord verso il pozzo con ripristino dei capitelli, restringimento di una campata, spostamento in avanti della galleria settentrionale con compromissione della solidità strutturale

1634

Conversione della sagrestia quattrocentesca a cappella delle reliquie

1631

Inizio della decorazione dell'ordine inferiore della facciata della basilica

1630

Costruzione della cappella poi dedicata al sacramento

1608

Completamento del soffitto della basilica, con cassettoni lignei

1605

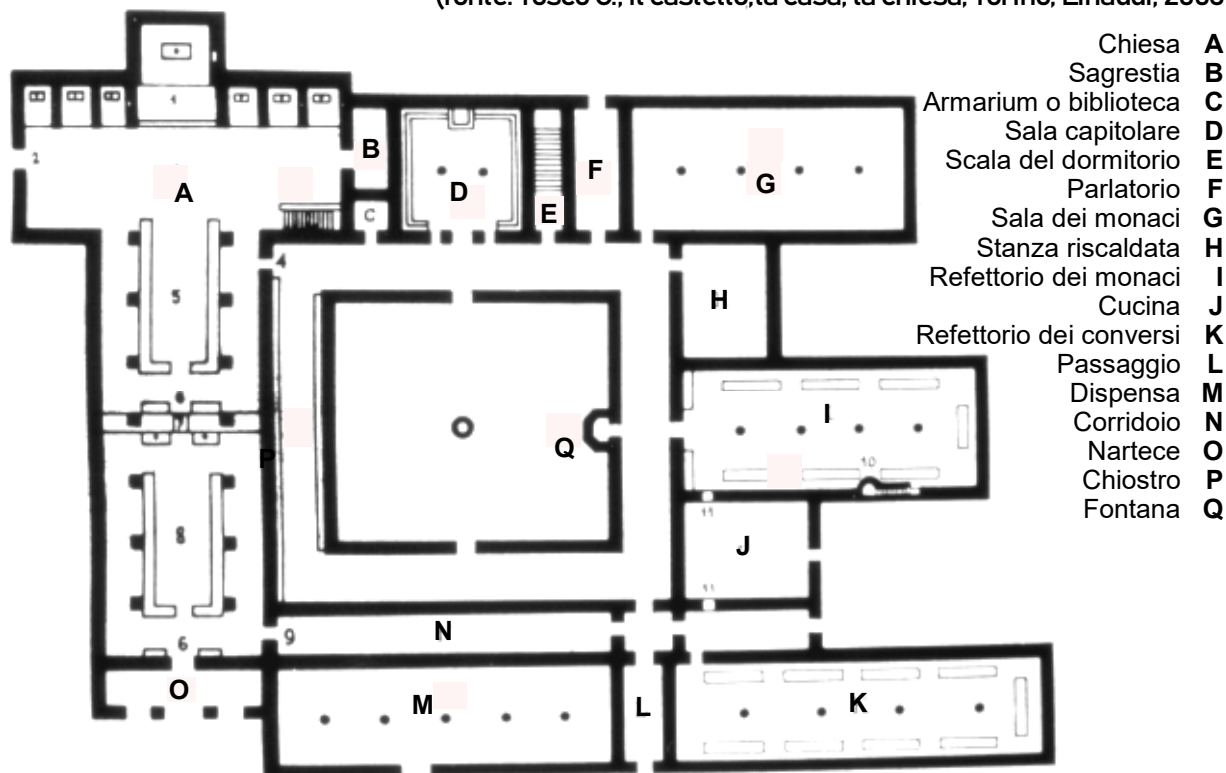
XVII SECOLO

6.6 Gli ordini mendicanti e la loro architettura

Gli ordini mendicanti sono ordini nati in seno alla chiesa cattolica tra il XII ed il XIII secolo: in essi la regola imponeva il voto di povertà, che implicava la rinuncia ad ogni proprietà e ricchezza non solo per i singoli individui, ma anche per le comunità conventuali. Traevano sostentamento dalle questue e dal lavoro (insegnamento e cura delle anime) cercando di realizzare un ideale evangelico di vita semplice, povertà, penitenza a predicazione, in netta contrapposizione alla ricchezza del clero secolare (che non era legato ad alcun voto di povertà) e dei monaci di altri ordini, i quali erano tenuti al voto individuale di povertà, ma non a quello collettivo. Gli ordini mendicanti (data l'impossibilità decretata dal IV Concilio Lateranense di far sorgere nuove regole, eccezion fatta per i Francescani) adottarono la regola benedettina o la regola domenicana. Spesso gli ordini religiosi promuovevano al loro interno la formazione di figure professionali inquadrati nelle regole della comunità.

Come racconta Carlo Tosco, nel testo "il castello, la casa, la chiesa" la costruzione di un singolo convento segue di norma la regola benedettina, sia nella pianta che nell'alzato, se pure con le varianti dovute alla conformazione del territorio, al contesto in cui viene inserito (presenza o meno di altri manufatti con cui rapportarsi), alla dimensione che assume la fabbrica, che ne possono modificare il progetto iniziale. A questo si vanno poi ad aggiungere eventuali variazioni apportate nel tempo, che possono rendere difficoltosa la lettura del progetto iniziale.

Fig. 23 Pianta tipo di un monastero cistercense, elaborata da A. Dimier¹
(fonte: Tosco C., Il castello, la casa, la chiesa, Torino, Einaudi, 2003)



¹ Alphonse Dimier, (1898-1975), monaco trappista francese, ordinato nel 1936, è stato uno specialista di storia cistercense.

E' possibile ricostruire l'assetto generale di un'architettura cistercense, e riconoscere gli aspetti in comune con il complesso conventuale di San Nicola.

L'edificio sacro occupa la posizione principale, è disposto solitamente con l'abside verso levante (favorendo così effetti della luce all'interno della basilica) e determina l'orientamento dell'intera struttura; il chiostro viene posto sul fianco destro della Chiesa, quadrangolare di nascita, è centro della vita monastica e assume una funzione distributiva per il resto dei fabbricati; nella manica est trovano posto la sagrestia e poi la sala capitolare; al piano superiore si trova il dormitorio dei monaci. L'organizzazione degli spazi si allinea alla regola, ed è frutto di un progetto architettonico unitario che è dettato dalle esigenze tanto liturgiche quanto funzionali dell'ordine.

Quando si pensa ad una chiesa trecentesca bisogna ricordare che il suo aspetto originario era sensibilmente diverso da quello odierno. Le riforme operate in seno alla chiesa cattolica, che hanno progressivamente separato la vita laica dell'individuo da quella spirituale, ne hanno anche modificato l'architettura. Lo spazio interno era organizzato secondo ripartizioni funzionali; i banchi in legno non esistevano e le navate si presentavano libere da arredi; le donne assistevano alle funzioni separate dagli uomini. Se la chiesa apparteneva ad un ordine religioso, come il caso di studio, esisteva quasi sempre una parete di separazione trasversale (detta jubè) che separava la parte che era accessibile ai laici; questi pontili, di cui possiamo pensare fosse dotata anche la basilica di San Nicola, sono stati quasi tutti rimossi in età barocca.

Inoltre anche la lunga durata di un cantiere, difficile da comprendere per i nostri tempi, in cui la fruizione deve essere "immediata", era vista in modo differente; la portata di un progetto andava oltre le aspettative di vita di un uomo. Diventa quindi conseguente che anche i cambiamenti in corso d'opera sono più difficili da leggere, perché non sempre lasciano tracce tangibili.

In conclusione:

- dall'indagine geografica emerge che il complesso è situato in una zona con un rischio decisamente alto per quanto riguarda la sismicità del territorio, e considerando le curve di livello dell'intorno è probabile che anche la compattezza del terreno sia stata in parte compromessa dagli scavi effettuati per pianeggiare l'area su cui il complesso stesso insiste;
- dall'indagine storica invece si considera significativo che il danno strutturale più sostanziale sia stato riscontrato proprio in corrispondenza dello spostamento della manica nord del chiostro, che nel corso del 1600 è stata traslata di circa una campata per fare posto ad una fascia di cappelle laterali all'interno della basilica (cosa che spiega anche la strutturazione di andamento rettangolare del portico - cosa del tutto inconsueta - in quanto la regola disponeva in modo intransigente che lo stesso fosse quadrato).

BIBLIOGRAFIA:

Centro Studi Agostino Trapè (a cura di), *La basilica di San Nicola a Tolentino*, Biblioteca Egidiana, (1995)

Tosco C., *Il castello, la casa, la chiesa*, Torino, Einaudi, (2003)

SITOGRAFIA:

<http://ctr.regione.marche.it>

<http://www.edilportale.com>

<http://www.ingegneriasismicaitaliana.com>

<https://www.google.it/maps>: per le viste aeree

<https://www.google.it/streetview>: per le immagini stradali

<https://www.regione.marche.it>

<https://treccani.it> per le voci “Tolentino” e “Ordine mendicante”

<https://www.tuttitalia.it>

<http://zonesismiche.mi.ingv.it>

“La sequenza sismica in Italia centrale: un primo quadro interpretativo dell’INGV” articolo della redazione del 30/8/2016 consultato il 15/5/2018 in <https://ingvterremoti.wordpress.com> (url: <https://ingvterremoti.wordpress.com/2016/08/30/la-sequenza-sismica-in-italia-centrale-un-primo-quadro-interpretativo-dellingv/>)

Prandi C., *“Prima documentazione fotografica di alcuni danni del recente evento sismico di Amatrice-Norcia-Valle del Tronto del 24 Agosto 2016 e successivi scuotimenti”* del 31/8/2016 consultato il 15/5/2018 in www.ingegneriasismicaitaliana.com (url: <http://www.ingegneriasismicaitaliana.com/it/3/news/1019/prima-documentazione-fotografica-di-alcuni-danni-del-recente-evento-sismico-di-amatrice-norcia-valle-del-tronto-del-24-agosto-2016-e-dei-successivi-scuotimenti/>)

Lilli M., *“Terremoto Marche, due anni dopo. Tolentino, la chiesa del Santo Crocifisso in attesa del primo intervento”* del 22/5/2018 consultato il 17/6/2018 in www.il_barone_rampante.blogautore.espresso.repubblica.it (url: http://www.il_barone_rampante.blogautore.espresso.repubblica.it/2018/05/22/terremoto-marche-due-anni-dopo-tolentino-la-chiesa-del-ss-crocefisso-in-attesa-del-primo-intervento/)

“Tolentino, crolla un edificio in centro” articolo della redazione del 7/03/2018 in www.ilrestodelcarlino.it consultato il 23/6/2018 (url: <https://www.ilrestodelcarlino.it/macerata/cronaca/tolentino-crollo-1.3772643>)

IL COMPLESSO CONVENTUALE DELLA BASILICA DI SAN NICOLA RILIEVO E RESTITUZIONE

7.1 Indagine fotogrammetrica: acquisizione dei dati

Nel contesto del terremoto del 30 Ottobre 2016 a Tolentino, una squadra di lavoro del Politecnico, nel febbraio del 2017, si reca sul luogo dell'evento sismico e procede ad acquisire, in modo speditivo, una serie di rilevamenti; alcuni di questi rilievi sono ottenuti con strumentazione tecnologica di tipo convenzionale (laser scanning terrestre), mentre per alcuni altri rilievi ci si affida a nuove tecnologie (tecnologia SLAM, voli UAV); vengono effettuate, appunto, diverse riprese con i droni, che permettono di avere una visione di insieme maggiormente estesa, oltre a permettere una verifica, altrimenti difficile, dello stato delle coperture.

L'inquadramento del rilievo viene fatto mediante il servizio GNSS (Global Navigation Satellite System) che permette di determinare, attraverso la strumentazione in dotazione (stazione totale Leyca Geosystem) la coordinata geografica dei target posizionati a terra. I target posizionati all'interno del chiostro sono stati misurati senza riflettore. Il rilievo è stato impostato su una prima base topografica definita dalla rete GNSS a cui sono stati collegati sia il volo aereo UAV, sia le stazioni Lidar.

Per georiferire il rilievo aereo, e trarre un'immagine dell'area (ortofoto) sono stati utilizzati i target a terra; per il sistema UAV, in questo caso, è stato utilizzato il drone "Phantom 4 Pro", il cui volo a serpentina ha prodotto una serie di strisciate di fotogrammi, ad una data quota, di tipo nadirale (fotocamera rivolta verso il basso). Una volta in possesso dei fotogrammi, si utilizza un software fotogrammetrico (PIX4D) che genera la nuvola di punti ed il modello del terreno. Successivamente, dal file prodotto, è possibile trarre l'ortofoto, che serve per ottenere, a sua volta, la planimetria dell'area.

Le stazioni Lidar (sistema a scansione laser che acquisisce in tempi rapidi una grandissima quantità di dati, sotto forma di punti) sono state posizionate all'interno del chiostro e sotto le maniche porticate.

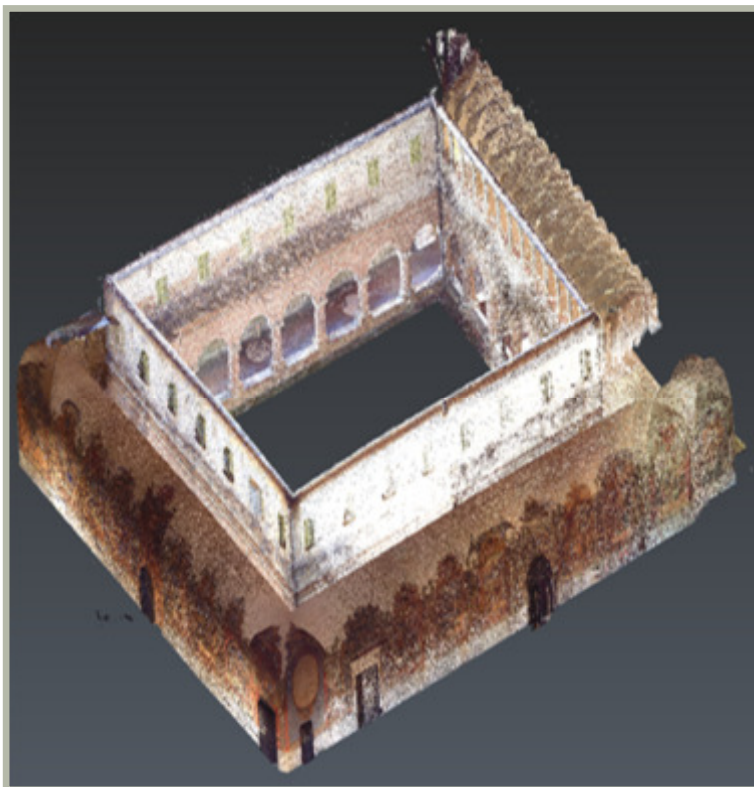
La distribuzione dei target sui prospetti è stata necessaria sia per georiferire tra loro le singole nuvole di punti sia per georiferirle nel sistema di riferimento definito dalla rete GNSS. Per unire le singole nuvole di punti ottenute dalle stazioni Lidar si utilizza il software Scene, che è in grado, tramite il riconoscimento automatico degli oggetti, di posizionare e registrare le scansioni, generando, così, una nuvola di punti complessiva dei dati del chiostro.

Per quanto riguarda la parte di edificio oggetto di indagine, il convento, ci si appoggia:

- per la parte di involucro esterno a rilevamenti tramite laser scanning, georiferiti, mediante sistema GNSS, che danno origine a nuvole dense di punti, dalle quali è possibile elaborare eventualmente anche i prospetti delle facciate interne al chiostro; le diverse sessioni di presa vengono assemblate per poter ottenere un unico file che contiene tutto l'insieme denominato "laser chiostro";
- per la parte di involucro interno riguardante il piano terreno, necessario per ancorare in modo più puntuale il rilievo relativo al convento e per verificarne i punti di riferimento stessi, ad un file denominato "2017-02-23_12-27-58_chiostro"; file derivante da riprese effettuate con tecnologia SLAM, nello specifico con lo strumento Zeb Revo;
- per la parte di involucro interno relativa al convento, dati su cui si basa la presente elaborazione, sono stati utilizzati due file denominati "2017-02-23_16-25-59_convento_bagni1" e "2017-02-24_10-58-33_ts_convento1"; sono prodotti anch'essi con tecnologia SLAM, che dà origine a nuvole rare; il primo file è il risultato di un itinerario più complesso, che comprendeva l'intero primo piano (con l'eccezione solo di alcune camere chiuse a chiave) mentre il secondo (prodotto il giorno successivo) comprende solo i corridoi e le sale più grandi. Il secondo rilievo del piano superiore è stato effettuato perché, non potendo avere a disposizione immediata i risultati, soprattutto in termini di precisione, ci si era posti il problema che la strumentazione avesse potuto risentire dell'itinerario troppo complesso, e soprattutto dell'atto di aprire e chiudere le porte (per poter accedere agli ambienti). Modificando una parte dei profili acquisiti proprio nell'atto di acquisirli si temeva infatti che il software non sarebbe riuscito a ricomporre la geometria delle stanze.

Il risultato di entrambi i rilievi è buono, anche perché, come si vede dalle immagini delle pagine successive, è stata ricostruita in modo puntuale la volumetria degli ambienti, è reso immediatamente comprensibile il rapporto tra i diversi tipi di muratura e la struttura portante dell'edificio; si individuano in modo immediato volte e ribassamenti. Inoltre sezionando la nuvola si possono esaminare gli ambienti interni: vengono rilevate le aperture, gli ingombri relativi agli arredi, la posizione dei sanitari, le cornici, le nicchie.

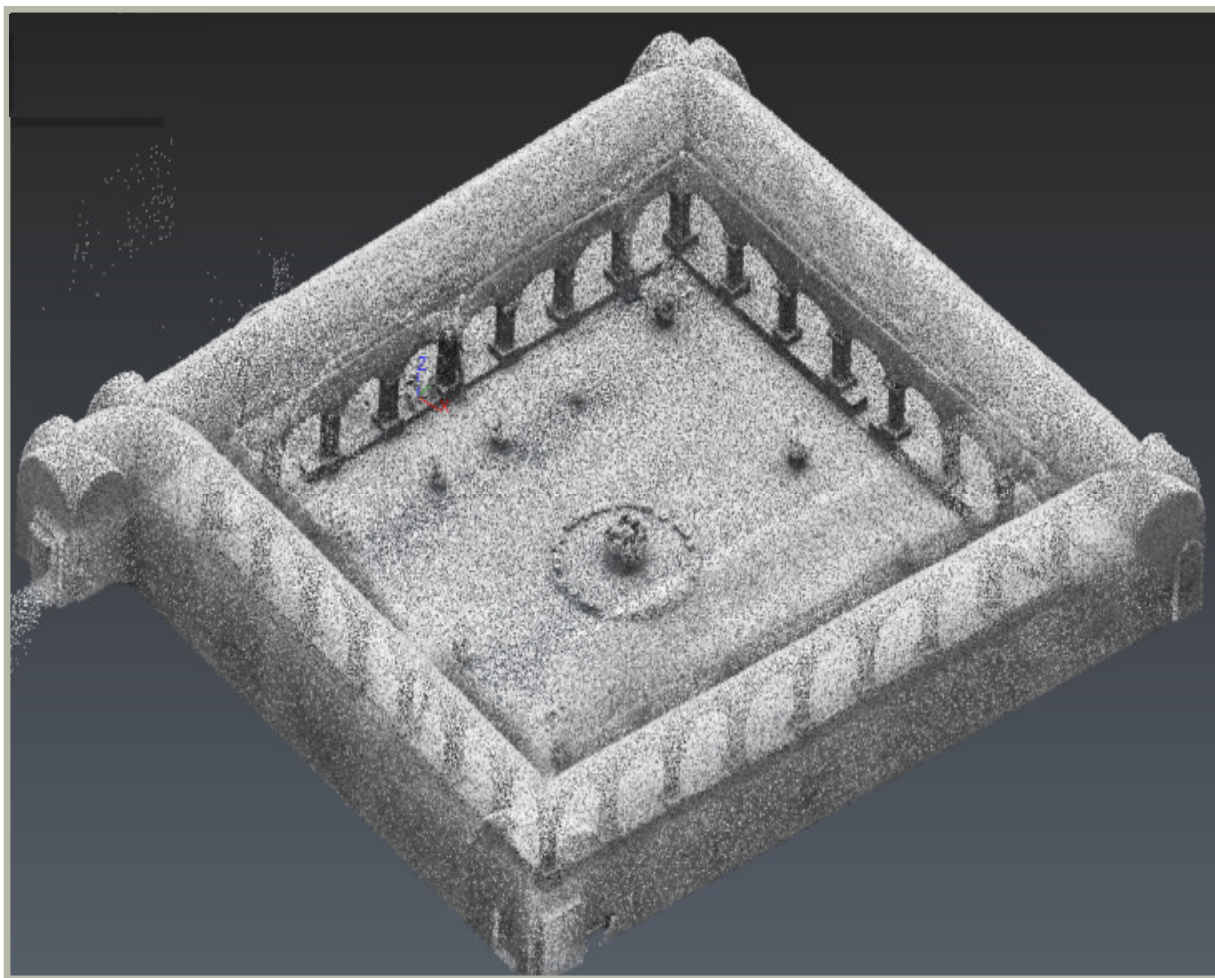
La tecnologia SLAM ci permette da una parte di avere una panoramica degli ambienti, di come si relazionino gli uni con gli altri, di sapere qual è l'ossatura della costruzione, ed allo stesso tempo di avere a disposizione un rilievo preciso e dettagliato, da cui desumere tutte le misure necessarie. Inoltre avendo a disposizione anche il rilievo di tutti gli ingombri è possibile intuire dove passano, ad esempio, gli scarichi e l'impianto idraulico.



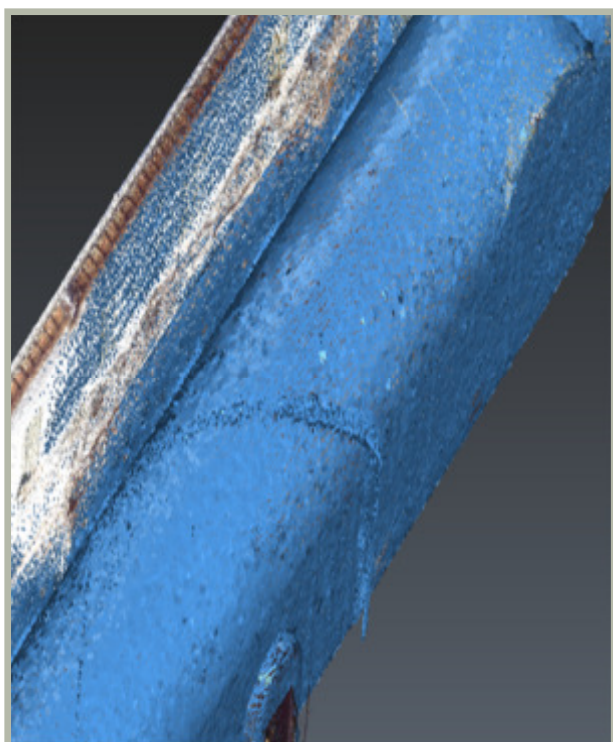
A lato: **"laser chiostro"** nuvola densa di milioni di punti; ottenuta dall'unione di scansioni lidar, il risultato di questa unione di nuvole è un file dettagliato e georiferito. Ad esso, in questo caso specifico, vengono adattati gli altri rilievi, perché è quello ottenuto con la strumentazione che ha la soglia di sensibilità maggiore. E' stato utilizzato per il rilievo dell'involucro esterno del chiostro. Nel rilievo lidar i punti mantengono anche la caratteristica relativa al colore, per questo sono adatti anche ad interventi di restauro di tipo pittorico.



Sopra e a sinistra: due particolari ingranditi dello stesso file, relativi al portico del chiostro al piano terra, che aiutano a comprendere il grado di dettaglio rilevato, e le possibilità che si aprono anche in caso di interventi di restauro di tipo pittorico. Le immagini sono state ottenute da sezioni della nuvola, e evidenziano bene la possibilità di ottenere in modo puntuale spessore di murature e della struttura orizzontale.



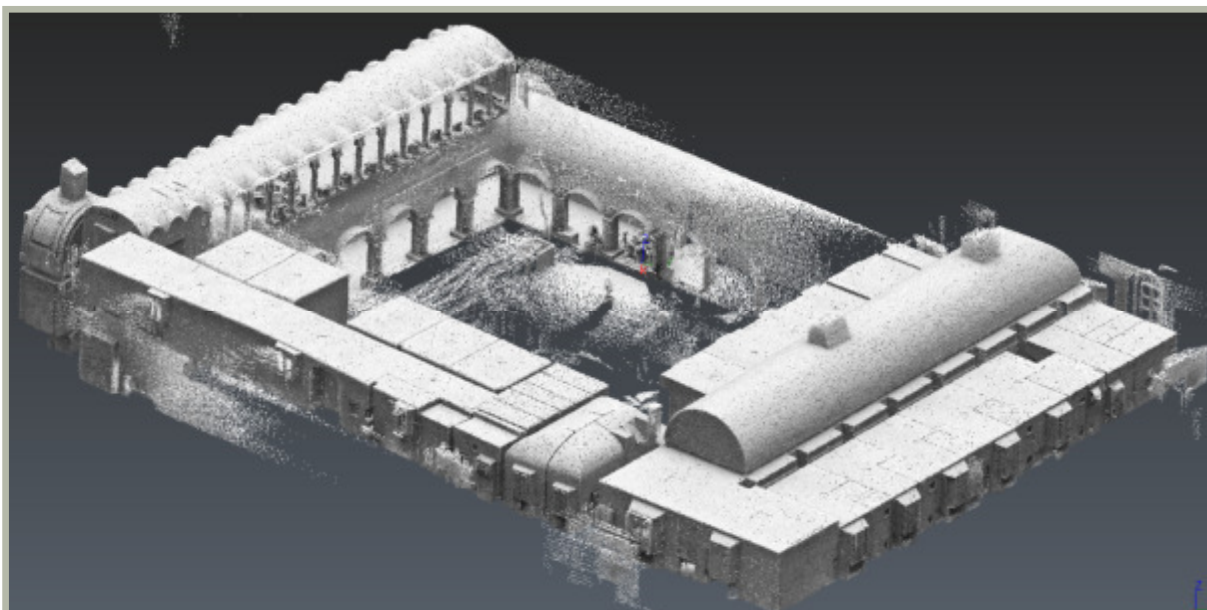
Sopra: nuvola slam denominata “**2017-02-23_12-27-58_chiostro**”, nuvola di punti del portico a piano terreno del chiostro; questa nuvola è stata la prima ad essere adattata alla nuvola lidar, in quanto ha molti più punti in comune.. Nella lavorazione presenta il vantaggio di essere un file molto più leggero; ha circa un decimo dei punti che possiede la nuvola lidar. Lo svantaggio è che è meno dettagliata, ma in compenso è un file molto più maneggevole.



A lato: l'immagine è composta dalla sovrapposizione tra la nuvola laser e quella slam del chiostro: evidenzia la crepa che percorre diagonalmente la volta.

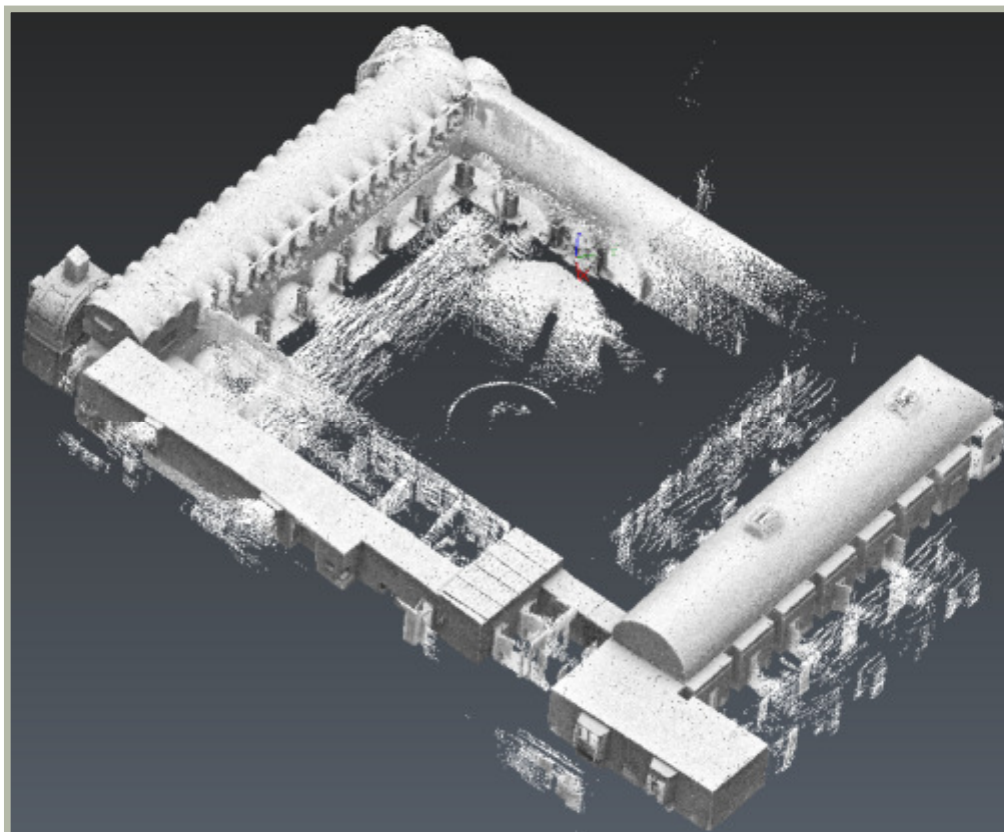
Le due nuvole, in fase di sovrapposizione si sono adattate bene l'una all'altra, e questo ha dato informazioni sulla risposta dello strumento Zeb Revo al tipo di rilievo per cui è stato utilizzato.

Questo sistema di scansione e auto orientamento ha permesso di acquisire i punti relativi al percorso sotto il portico in un tempo eccezionalmente breve, senza bisogno di operazioni preventive; è un hand-held scanner, quindi, ovviamente non va messo in stazione.

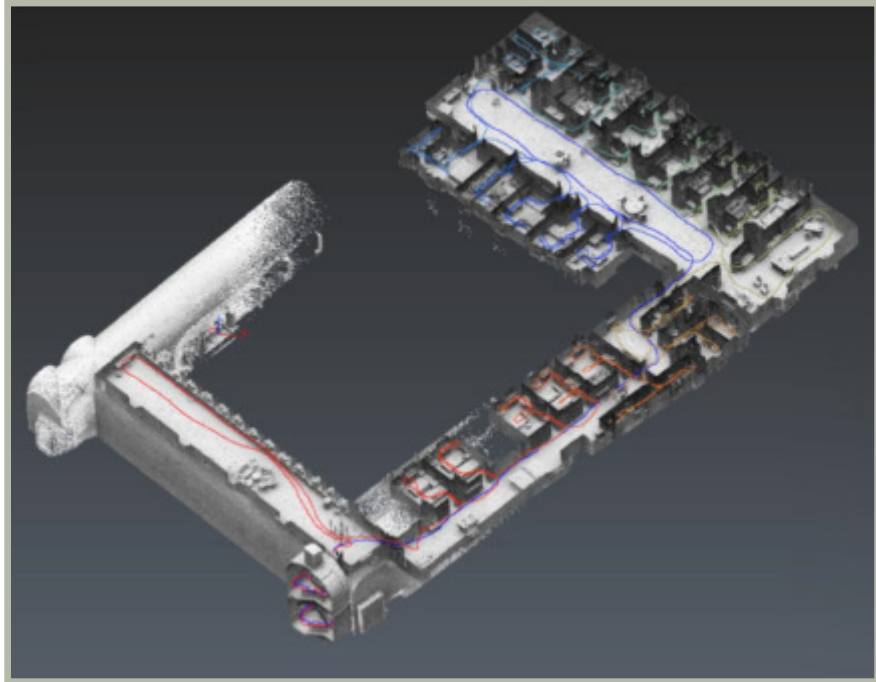


Sopra: file "2017-02-23_16-25-59_convento_bagni1"; in quest'immagine la nuvola è ancora da pulire e filtrare, ma rende già chiarissima la volumetria del piano e, nonostante la dimensione dell'immagine qua riportata, si intuiscono lo stesso i tipi di chiusura verticale utilizzati, la scansione ritmica della pilastratura, dove presente, i muri portanti, la dimensione delle stanze. Questo è stato il primo dei due rilievi del primo piano, il percorso comprende tutti i locali, eccezion fatta per tre camere che risultavano chiuse a chiave.

A lato: "2017-02-24_10-58-33_ts_convento1"; anche qua la nuvola è ancora da pulire e filtrare; il percorso è stato simile per la prima parte, relativa a portico, loggiato e blocco scale, ma ha compreso solo i corridoi e le sale principali; da alcune porte aperte lo strumento ha comunque rilevato una parte della geometria delle camere ma i dati sono incompleti e non possono essere utilizzati, in fase di pulitura della nuvola queste aree sono state escluse. Una cosa interessante della tecnologia ZEB, è che non risente in alcun modo delle condizioni di luce dei locali, quindi anche dove non è possibile illuminare gli ambienti abbiamo dei risultati ottimi.

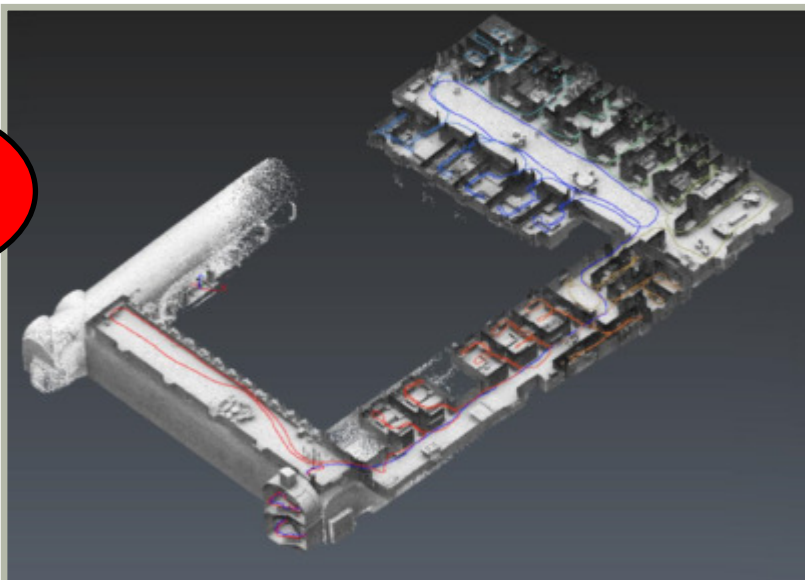


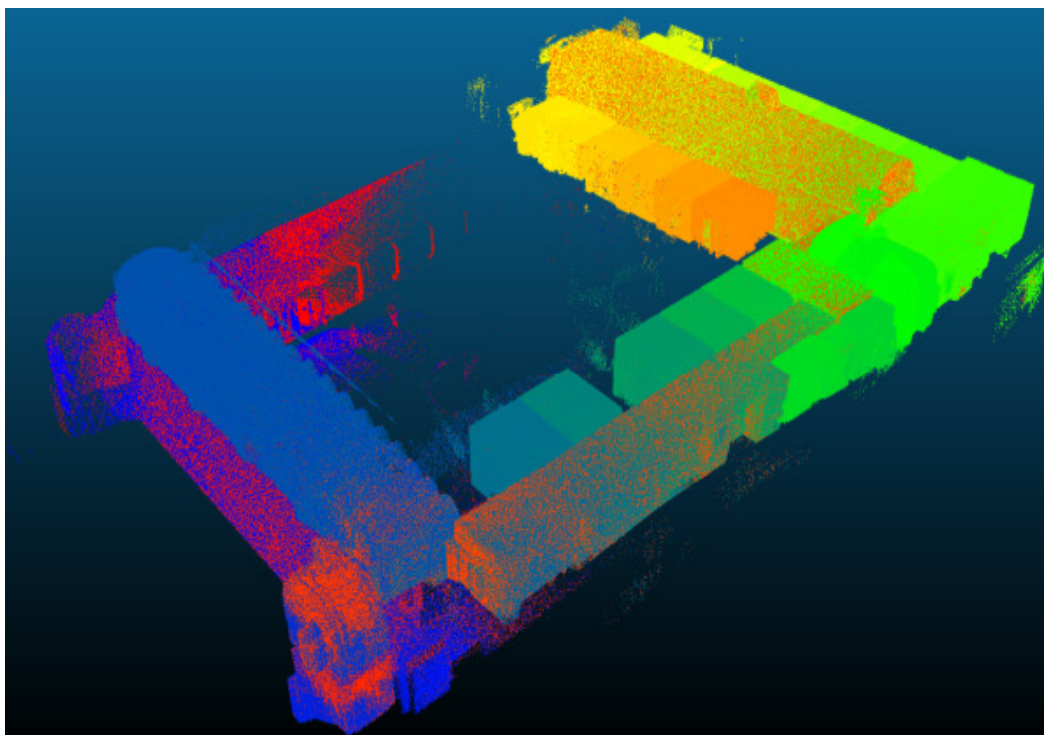
Un'altra cosa di cui bisogna tenere conto è l'itinerario che hanno compiuto operatore e strumento nel corso del rilievo: quanto più è complesso, tanto più anche un minimo errore può generare, su un tragitto lungo un errore più significativo, in quanto non ci sono punti di controllo per effettuare una verifica. In seguito si analizzerà attraverso quali modalità si può considerare attendibile il risultato ottenuto.



Nell'immagine sopra, "2017-02-23_16-25-59_convento_bagni1" viene inserita la traiettoria seguita nel corso del rilievo: si parte dal blocco scale, in basso a sinistra, che è anche il punto di arrivo; il colore si modifica lungo il percorso, il che permette di capire dove si possono essere concentrati eventuali problemi. Dall'analisi dei risultati si è visto che l'aprire e chiudere le porte, modificando il profilo di presa dello strumento, ha generato alcune discordanze, per cui si è preferito utilizzare il secondo file, a cui sono state aggiunte le aree mancanti.

Nell'immagine sotto "2017-02-23_16-25-59_convento1" viene inserita la traiettoria seguita nel corso del secondo rilievo del piano primo, si parte di nuovo dal blocco scale, in basso a sinistra, che è di nuovo anche il punto di arrivo; siccome si era temuto che ci fossero stati dei problemi, si è preferito seguire un percorso più rettilineo. A questo file sono state aggiunte le aree non presenti inserendole da quello precedente, considerandolo più attendibile. .





La traiettoria seguita può essere anche visualizzata direttamente sui punti della nuvola, con la stessa tipologia di quella lineare: l'andamento cromatico (rosso arancio giallo verde azzurro blu) è espressione solo del percorso seguito dall'operatore ed a uguale colore corrisponde contemporaneità di presa. Una funzione del programma CloudCompare permette anche di vedere come la nuvola è stata composta, in un tempo ridotto si "vede" l'itinerario compiuto. Può essere molto utile nel caso in cui ci si renda conto che, ad un dato punto della traiettoria, ci siano stati problemi di presa.

7.2 Elaborazione dei dati

Il primo passo, siccome si tratta di file molto pesanti, è cercare di alleggerirli il più possibile, in modo che il procedimento di elaborazione sia il più possibile snellito. Il file relativo al laser del chiostro è composto da 500 milioni di punti, e la sua dimensione è di circa 10 giga. Gli altri file sono decisamente più leggeri, si parla di circa 50 milioni di punti ed hanno una dimensione che varia da 500 mega ad 1 giga e mezzo circa.

Dal punto di vista pratico, dopo aver ripulito le nuvole di punti dal rumore, tramite filtri contenuti nei software di gestione delle nuvole, si eliminano eventualmente parti di edifici rilevati che non consistono nell'oggetto architettonico che si vuole studiare, e parti dell'edificio stesso che non fanno parte di ciò che sarà analizzato.

Il programma utilizzato per importare ed le nuvole è 3Dresaper; sono state fatte due prove, tenendo sempre come riferimento il rilievo lidar del chiostro, che consiste in una nuvola densa di punti, georiferita. Tramite algoritmi matematici propri del software, che è in grado di riconoscere le "forme", si vanno ad allineare le nuvole in modo che abbiano, dal punto di vista tridimensionale e geometrico, la stessa corrispondenza che hanno nella realtà.

Questa operazione è in parte automatica; le nuvole vengono allineate in modo abbastanza approssimativo da un operatore, dopodiché, tramite un comando (best fit) è il software che, riconoscendo forme simili tramite algoritmi, elabora i dati e permette un adattamento molto preciso. In questo modo si ha un modello tridimensionale dell'edificio, che diventa la fonte di dati da cui si possono estrarre i disegni architettonici classici (piante, prospetti, sezioni). Tramite la modifica di alcuni parametri (la dimensione dei singoli punti, e l'eventuale densificazione della nuvola stessa) è possibile ottenere un oggetto tridimensionale più facilmente comprensibile.

La prima prova è consistita nell'allineare al lidar la nuvola del chiostro, e successivamente, dato che ci sono più punti in comune, a questa sono state riferite le due nuvole del convento; è stato fatto sia un allineamento per punti, sia un allineamento per forma di cui si riportano gli errori. Nella seconda prova, invece, tutte le nuvole sono state allineate alla prima.

Anche se i dati relativi agli errori non si discostano di molto, si è riscontrato, nel secondo caso, un problema sull'asse z: avendo i rilievi del convento solo la partenza in comune con il lidar hanno derivato, partendo da un errore trascurabile e data la lunghezza della manica, una traslazione dell'asse orizzontale.

Gli adattamenti per forma hanno dato un errore medio best-fit di circa 12 cm, come meglio riportato nella tabella seguente; si deve però tenere in considerazione che i rilievi non sono del tutto coincidenti, perché alcune parti non sono presenti su entrambi i rilievi, e questo tende ad aumentare la consistenza dell'errore medio.

Il risultato è da considerarsi attendibile: nel caso presente, considerando che l'interasse tra le volte ed il piano di calpestio sia approssimativamente costante, e considerando orizzontale la pavimentazione, possiamo fare delle considerazioni sulla consistenza dell'errore sull'asse z.

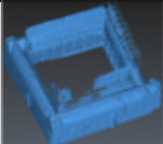
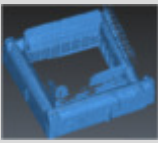
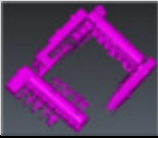
Allo stesso modo, considerando costanti (e storicamente verificabili) gli spessori delle pareti perimetrali esterne, e dati i rilievi laser del chiostro che ci permettono di inserire come dato il profilo esterno della muratura, possiamo dichiarare buono il risultato ottenuto sugli assi x ed y.

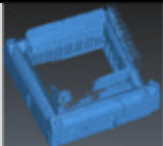
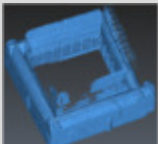
Gli allineamenti sono nell'ordine in cui sono stati eseguiti; l'oggetto fisso è quello che viene usato come riferimento, l'oggetto mobile è la nuvola che si sposta, in modo da coincidere con il modello georiferito (serve come controllo e verifica, ma anche, ad esempio, per avere i profili della muratura esterna e lo spessore delle strutture orizzontali). I dati estrapolati sono diversi, rotazioni e traslazioni sui tre assi, e sono espressi in gradi ed in metri; qua si riportano solo due tipi di errore: errore medio e deviazione standard.

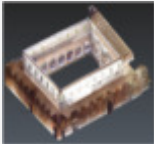
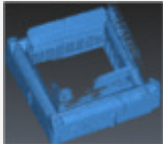
Il calcolo dell'errore comprende anche quelle parti che non sono coincidenti (ad esempio all'interno una porta potrebbe essere stata rilevata come aperta nel primo percorso, e chiusa nella seconda), infatti ad una verifica sulle sezioni si

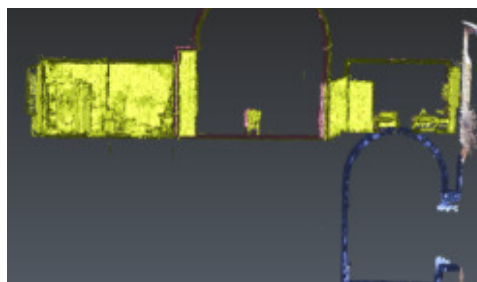
riscontra un errore decisamente minore. Si riporta di seguito un estratto degli errori ottenuti, che rientra del tutto nel dato di sensibilità dello strumento.

allineamenti	oggetto fisso	oggetto mobile	errore medio best-fit	deviazione standard best-fit	lettura dei risultati
--------------	------------------	-------------------	-----------------------------	------------------------------------	-----------------------

primo allineamento			0.0961	0.1366	in questa prima prova, la verifica della sezione ha dato un esito negativo: si è riscontrato un problema sull'orizzontalità, come si vede dalla verifica sulla sezione (vedi Fig. 1)
secondo allineamento			0.1346	0.2327	
terzo allineamento			0.079	0.1220	

primo allineamento			0.0961	0.1366	in questa seconda prova è stata allineata la nuvola già rettificata del primo piano: il risultato è migliore (vedi fig. 2)
secondo allineamento			0.1181	0.1741	

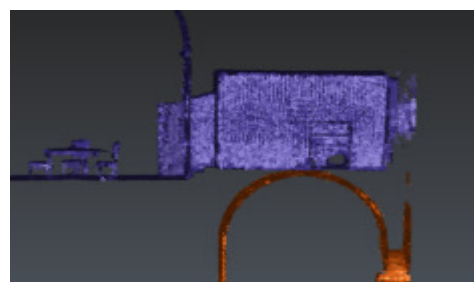
LEGENDA:				
				
Laser chiosstro	Nuvola chiosstro	Nuvola convento secondo rilievo	Nuvola convento primo rilievo	Nuvola risultata dall'unione dei due rilievi



Sezioni di controllo.

A sinistra:
Fig.1

A destra
Fig. 2

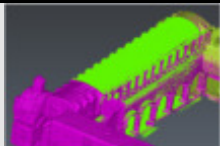
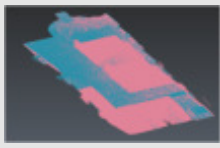
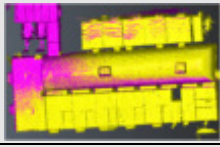
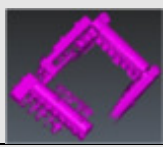


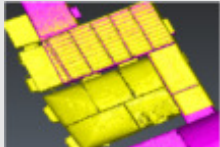
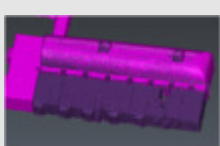
Per ottenere la nuvola di punti risultata dall'unione dei due rilievi sono stati fatti alcuni passaggi che si riportano sinteticamente. Considerando maggiormente attendibile il rilievo "2017-02-24_10-58-33_ts_convento1", lo si è utilizzato come base.

Il rilievo "2017-02-23_16-25-59_convento_bagni1" è stato ulteriormente sfrondata di elementi che avrebbero potuto creare confusione, è stato diviso nelle quattro maniche principali, ed ognuna di esse è stata allineata alla nuvola base.

Si riporta sotto una tabella sintetica degli errori di allineamento delle maniche e dei blocchi delle camere.

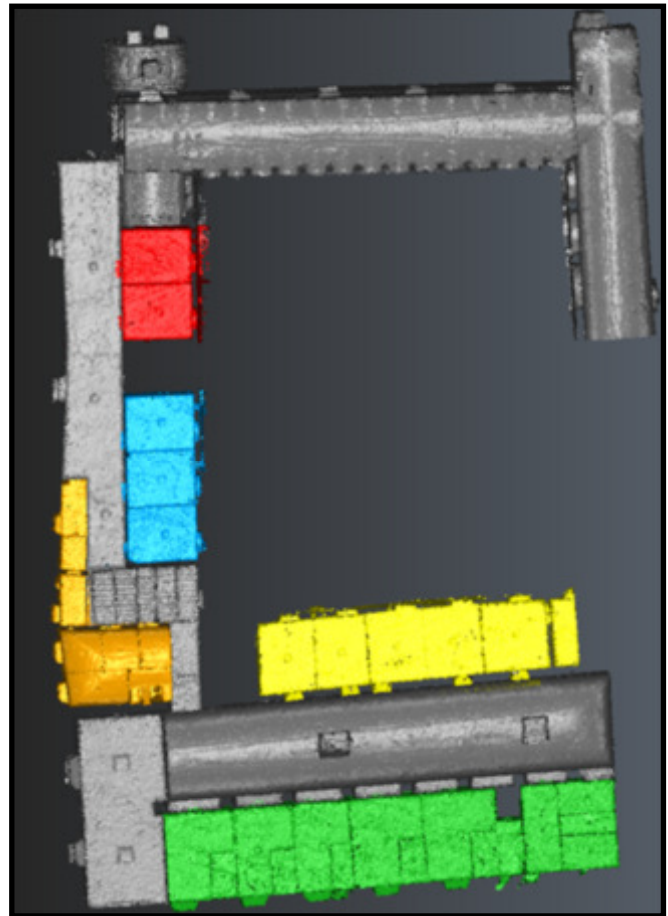
allineamenti	oggetto fisso	oggetto mobile	errore medio best-fit	deviazione standard best-fit	lettura dei ri- sultati
--------------	------------------	-------------------	-----------------------------	------------------------------------	----------------------------

allineamento delle varie maniche			manica nord, log- giato	0.0204	0.0305	area decisa- mente coinci- dente
			manica ovest	0.5025	0.2069	si è riscontrato un problema nell'area dei servizi
			manica sud	0.0962	0.1483	si è riscontrato un problema sulle camere
	non è stato possibile percorrere la manica est del convento: l'area era chiusa					

allineamento delle varie aree			area came- re, manica ovest	0,0513	0.075	il problema è stato risolto in modo simile in tutti i casi: riducendo le aree da sovrapporre e pulendo ulteriormente le nuvole; utilizzando solo le parti rettificate si è ottenuto il rilievo completo del primo piano (ad eccezione delle camere chiuse e delle manica est, a cui non è stato consentito avere accesso)
			area servi- zi, manica ovest	0.1201	0.1877	
			area came- re nord, manica sud	0.0651	0.1027	
			area came- re sud, ma- nica sud	0.3445	0.535	

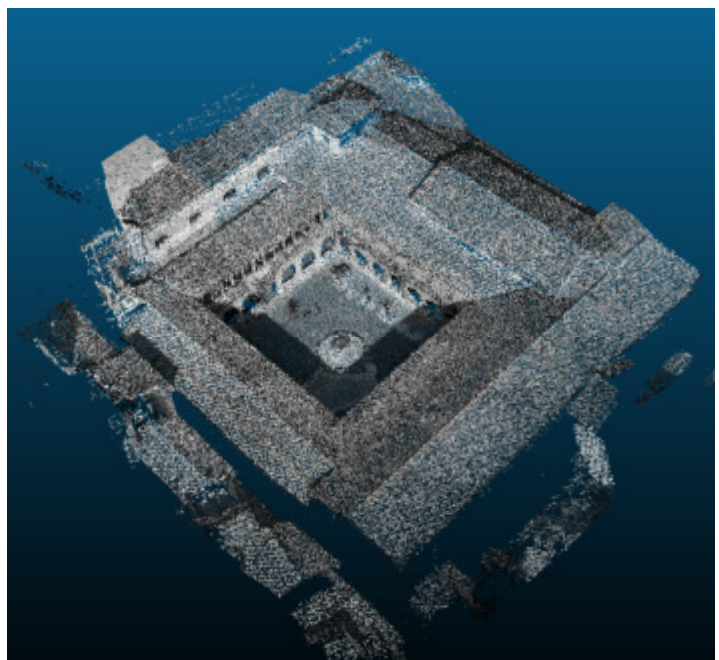
Alcuni problemi sono stati riscontrati nella parte più articolata della pianta (il blocco dei servizi) ma è stato possibile rettificare l'errore; un altro invece più consistente lo si è riscontrato comunque sul piano orizzontale sulla manica geometricamente più distante dal punto di partenza del rilievo.

Nell'immagine a fianco: in grigio il secondo rilievo del convento, oggetto fisso di riferimento, a cui è stato allineato, per parti, l'altro rilievo; vengono utilizzati per l'allineamento tutti punti che sono in comune ad entrambi i rilevamenti, ad esempio i corridoi centrali: nell'immagine si vedono solo le parti aggiunte perché in un secondo tempo, anche per alleggerire l'immagine, si eliminano le parti sovrapposte (anche perché, in fase di disegno architettonico, si potrebbe creare confusione: elementi spostati - porte, ma anche persone, suppellettili, tende - e sarebbe più difficoltoso interpretare tali elementi). A questo punto si raggruppano tutte le parti, ottenendo la nuvola che è stata utilizzata per la seconda prova di allineamento, e che verrà utilizzata per la stesura del disegno architettonico.



Per la chiusura del profilo superiore e per avere il filo esterno delle murature si utilizza la nuvola UAV, ottenuta dal volo effettuato dal drone sopra l'area conventuale. Da questo stesso volo è stata ricavata l'ortofoto, da cui si deriva la planimetria.

Nell'immagine a fianco, la nuvola di punti UAV.



7.3 Restituzione del rilievo del convento

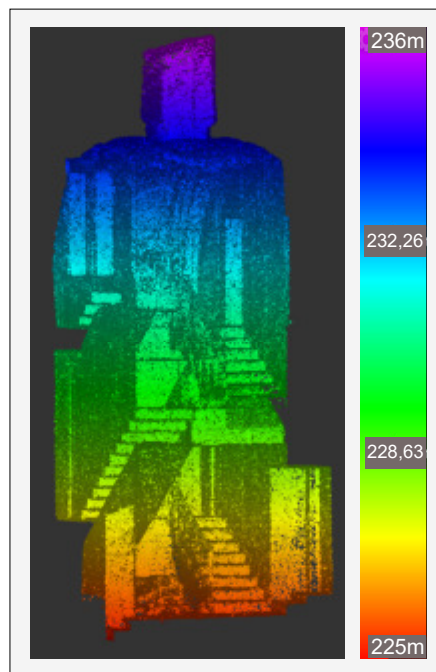
7.4 Restituzione del blocco scala

Per l'elaborazione del blocco scala della manica nord del chiostro è stato scelto un approccio differente per quanto riguarda la stesura del rilievo. Invece che importare le nuvole in Pointcab ed estrarne delle sezioni planari, la nuvola è stata importata in Recap (programma di Autodesk) e trasformata in un file rcp, che può essere importato in direttamente in autocad.

All'interno del programma ci sono alcune funzioni che possono avere una certa utilità. I punti possono assumere una colorazione dipendente dalla loro posizione sull'asse Z, possono essere prese delle misure tra due punti, sia lineari che angolari, la scala è sempre quella reale, espressa in metri; la nuvola può essere sezionata; il grado di lettura delle immagini risultanti è piuttosto buono.

A questo punto la nuvola può essere importata in Autocad; per poter lavorare in ortogonalità, è necessario impostare un nuovo ucs, sul piano XY, che permetta di poter sezionare in modo longitudinale la scala. Per quanto riguarda l'asse Z, invece, è già nella posizione adeguata alle viste architettoniche consuete.

Importato il disegno si procede alla stesura del rilievo.



In quest'immagine la nuvola è stata sezionata per esporre l'interno del blocco scala, a lato c'è l'indicazione delle altezze: dato che la nuvola è georiferita si tratta della coordinata Y in cui lo 0 non è relativo ma assoluto (livello del mare).

BIBLIOGRAFIA:

Gaeta L., Janin R. U., Mazza L., *Governo del territorio e pianificazione spaziale*, Torino, CittàStudi Edizioni, 2013

Meadows D, Meadows D., Randers J., *Oltre i limiti dello sviluppo*, Milano, Il Saggiatore, 1993

SITOGRAFIA:

Bruno P., “*Laser scanner 3D, addio ai furbetti degli incidenti stradali*” del 2/5/2012 consultato il 17/6/2018 in <https://www.tomshw.it> (url: <https://www.tomshw.it/laser-scanner-3d-addio-furbetti-degli-incidenti-stradali-39543>)

“*Scanner 3D per rivivere la scena del crimine*” articolo della redazione del 19/2/2014 consultato il 17/6/2018 in <https://www.ilmessaggero.it> (url: https://www.ilmessaggero.it/blog/daily_web/scanner_3d_rivivere_la_scena_crimine-1372945.html)

“*Scanner laser 3D alla polizia di Zurigo*”, articolo della redazione del 20/05/2015 consultato il 17/6/2018 in <https://www.tvsvizzera.it> (url: <https://www.tvsvizzera.it/tvs/scanner-laser-3d-alla-polizia-di-zurigo/42642594>)

“*Un nuovo super scanner per la polizia*”, articolo della redazione del 24/6/2015 in www.ticinonews.ch consultato il 17/5/2018 (url: <http://www.ticinonews.ch/ticino/242164/un-nuovo-super-scanner-per-la-polizia>)

BIBLIOGRAFIA :

Centro Studi Agostino Trapè (a cura di), *La basilica di San Nicola a Tolentino*, Biblioteca Egidiana, (1995)

F. Chiabrando F., Donadio E., Spanò A., "Modelli 3D densi tra esperienze didattiche e ricerche di soluzioni fruibili", in, "SCAVI AD AQUILEIA III. Aquileia, l'insula tra Foro e porto fluviale Lo scavo dell'Università degli Studi di Trieste 1. La strada", Trieste, EUT Edizioni Università di Trieste, 2017, pp. 79-100)

Chiabrando F., Spanò A. T. " *I sistemi laser scanning nei progetti e percorsi formativi d'architettura* ", Bollettino della società italiana di fotogrammetria e topografia, Sifet, 2012

Gaeta L., Janin R. U., Mazza L., *Governo del territorio e pianificazione spaziale*, Torino, CittàStudi Edizioni, (2013)

Meadows D, Meadows D., Randers J., *Oltre i limiti dello sviluppo*, Milano, Il Saggiatore, (1993)

" *Mezzi aerei non convenzionali a volo autonomo per il rilievo fotogrammetrico in ambito archeologico* " di Chiabrando F., Lingua A., Maschio P., Rinaudo F., Spanò A. - Formato elettronico - (2012), pp. 1-12. (Intervento presentato al convegno Una giornata informale per i 70 anni del Prof. Carlo Monti - 3 Maggio 2012 tenutosi a Milano nel 3 maggio 2012)

Naretto M., " *Conoscenza e valutazione dell'architettura: materiali, sistemi costruttivi, patologie* " in lentile R., Naretto M., (a cura di), *Patrimonio architettonico e rischio sismico: un percorso tra conoscenza ed obiettivi di conservazione*, Torino, Celid, (2013).

Sacerdote F., Tucci G., (a cura di), " *Sistemi a scansione per l'architettura e il territorio* " , Alinea Editrice, Firenze, 2007

Spanò A. T., " *Versatilità di metodi e tecniche della Geomatica per la documentazione del patrimonio costruito. Approcci sostenibili per la valutazione sismica* " in lentile R., Naretto M., (a cura di), *Patrimonio architettonico e rischio sismico: un percorso tra conoscenza ed obiettivi di conservazione*, Torino, Celid, (2013).

Tosco C., *Il castello, la casa, la chiesa*, Torino, Einaudi, (2003)

SITOGRAFIA (siti consultati nel periodo compreso tra il 1/03/2018 ed il 4/07/2018):

<http://www.cartadelrischio.it>

<https://ctr.regione.marche.it>

<https://www.dji.com>

<https://www.edilportale.com>
<https://www.faro.com>
<https://geoslam.com/technology>
<https://www.google.it/maps>
<https://www.google.it/streetview>
<https://www.ilfattoquotidiano.it>
<https://www.ingegneriasismicaitaliana.com>
<https://www.ingegneri.cc>
<https://ingvterremoti.wordpress.com>
<https://it.wikipedia.org>
<https://www.protezionecivile.gov.it>
<https://www.regione.marche.it>
<https://www.treccani.it>
<https://www.tuttitalia.it>
<http://zonesismiche.mi.ingv.it>

SITOGRAFIA (articoli consultati):

Bartolomucci C. Trizio C., “*Documentazione speditiva per la conservazione del costruito storico in situazioni di emergenza*”, conferenza “ReUSO” Actas del Congreso Internacional sobre Documentación, Restauración y Reutilización del Patrimonio Arquitectónico (Madrid, 20-22 junio 2013)

Bruno P., “*Laser scanner 3D, addio ai furbetti degli incidenti stradali*” del 2/5/2012 consultato il 17/6/2018 in <https://www.tomshw.it> (url: <https://www.tomshw.it/laser-scanner-3d-addio-furbetti-degli-incidenti-stradali-39543>)

“*I terremoti nella storia*” articolo della redazione del 29/3/2018 consultato il 25/5/2018 in <https://ingvterremoti.wordpress.com> (url: <https://ingvterremoti.wordpress.com/category/i-terremoti-nella-storia/>)

“*La sequenza sismica in Italia centrale: un primo quadro interpretativo dell'INGV*” articolo della redazione del 30/8/2016 consultato il 15/5/2018 in <https://ingvterremoti.wordpress.com> (url: <https://ingvterremoti.wordpress.com/2016/08/30/la-sequenza-sismica-in-italia-centrale-un-primo-quadro-interpretativo-dellingv/>)

“*Laser scanner*” articolo di redazione consultato il 30/6/2018, in [www. Microgeo.it](http://www.microgeo.it) (url: <https://www.microgeo.it/it/prodotti-e-soluzioni/20151-laser-scanner.aspx>)

Lilli M., *“Terremoto Marche, due anni dopo. Tolentino, la chiesa del Santo Crocifisso in attesa del primo intervento”* del 22/5/2018 consultato il 17/6/2018 in www.il_barone_rampante.blogautore.espresso.repubblica.it (url: http://www.il_barone_rampante.blogautore.espresso.repubblica.it/2018/05/22/terremoto-marche-due-anni-dopo-tolentino-la-chiesa-del-ss-crocefisso-in-attesa-del-primo-intervento/)

“Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale” articolo della redazione del 2/9/2016 consultato il 20/5/2018 in <http://www.corriere.it/> (url: https://www.corriere.it/cronache/16_settembre_02/mappa-pericolosita-sismica-territorio-nazionale-9606f302-7146-11e6-82b3-437d6c137c18.shtml)

“Normative” articolo della redazione, consultato il 24/6/2018 in www.ingegneriasismicaitaliana.com (url: <http://www.ingegneriasismicaitaliana.com/it/24/normative/>)

Perego G., *“Terremoto e modelli di Città Digitali 3D”*, del 14/11/2018 in www.gisinfrastrutture.it consultato il 27/04/2018 (url: <http://www.gisinfrastrutture.it/2016/11/terremoto-e-modelli-di-citta-digitali-3d/>)

Perego G., *“Terremoto, rilievo territoriale da satellite e dati Open”*, articolo della redazione 31/8/2016 in www.gisinfrastrutture.it consultato il 24/5/2018 (url: <http://www.gisinfrastrutture.it/2016/08/terremoto-rilievo-territoriale-da-satellite-e-datiopen/#more-11324>)

Prandi C., *“Prima documentazione fotografica di alcuni danni del recente evento sismico di Amatrice-Norcia-Valle del Tronto del 24 Agosto 2016 e successivi scuotimenti”* del 31/8/2016 consultato il 15/5/2018 in www.ingegneriasismicaitaliana.com (url: <http://www.ingegneriasismicaitaliana.com/it/3/news/1019/prima-documentazione-fotografica-di-alcuni-danni-del-recente-evento-sismico-di-amatrice-norcia-valle-del-tronto-del-24-agosto-2016-e-dei-successivi-scuotimenti/>)

Sammartano G., Spanò A. T., “Point clouds by SLAM-based mobile mapping systems: accuracy and geometric content validation in multisensor survey and stand-alone acquisition” articolo del 15/1/2018 in Applied Geomatics <https://doi.org/10.1007/s12518-018-0221-7>

“Scanner 3D per rivivere la scena del crimine” articolo della redazione del 19/2/2014 consultato il 17/6/2018 in <https://www.ilmessaggero.it> (url: https://www.ilmessaggero.it/blog/daily_web/scanner_3d_rivivere_la_scena_crimine-1372945.html)

“Scanner laser 3D dalla polizia di Zurigo”, articolo della redazione del 20/05/2015 consultato il 17/6/2018 in <https://www.tvsvizzera.it> (url: <https://www.tvsvizzera.it/tvs/scanner-laser-3d-alla-polizia-di-zurigo/42642594>)

“Scheda per l’agibilità sismica” pdf pubblicato il 7/2013 consultato il 20/5/2018 in www.protezionecivile.gov.it (url: http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/IMPAGINATO_AEDES.pdf)

“Terremoti di centro Italia: tutti i più forti dal medioevo” articolo della redazione consultato il 13/10/2017 in www.meteo.ansa.it (url: http://meteo.ansa.it/meteo/news/terremoti-centro-italia-tutti-i-pi%C3%B9-forti-dal-medioevo_57863.html)

“Terremoto: come si misura la magnitudo” articolo della redazione del 27/10/2016 consultato il 20/05/2018 in <http://www.ansa.it> (url: http://www.ansa.it/scienza/notizie/rubriche/terrapoli/2016/10/27/terremoto-come-si-misura-la-magnitudo-_c1dd9030-255a-4480-b5c3-1723d7ae32bc.html)

“Terremoto del Centro Italia del 2016” articolo della redazione modificato l'ultima volta il 20/5/2018, consultato il 15/6/2018 in <https://it.wikipedia.org> (url: https://it.wikipedia.org/wiki/Terremoto_del_Centro_Italia_del_2016_e_del_2017)

“Terremoto in centro Italia, le foto dei danni strutturali agli edifici” articolo della redazione del 1/9/2016 in www.ingegneri.cc consultato il 27/4/2018 (url: <http://www.ingegneri.cc/terremoto-in-centro-italia-le-foto-dei-danni-strutturali-agliedifici.html>)

“Tolentino, crolla un edificio in centro” articolo della redazione del 7/03/2018 in www.ilrestodelcarlino.it consultato il 23/6/2018 (url: <https://www.ilrestodelcarlino.it/macerata/cronaca/tolentino-crollo-1.3772643>)

“Tutti i terremoti più forti di M5,5 della storia d'Italia” articolo della redazione del 27/6/2012 in www.6aprile.it consultato il 14/5/2018 (url: <http://www.6aprile.it/conoscere-i-terremoti/2012/06/27/i-terremoti-piu-forti-della-storia-ditalia.html>)

“Un nuovo super scanner per la polizia”, articolo della redazione del 24/6/2015 in www.ticinonews.ch consultato il 17/5/2018 (url: <http://www.ticinonews.ch/ticino/242164/un-nuovo-super-scanner-per-la-polizia>)

