

Archivio 3D multi-temporale dei danni e crolli per la chiesa di Sant'Agostino in Amatrice in seguito ai diversi eventi

*Original*

Archivio 3D multi-temporale dei danni e crolli per la chiesa di Sant'Agostino in Amatrice in seguito ai diversi eventi / Sammartano, Giulia; Antonia, Spanò; Rosignuolo, Alessia. - In: ATTI E RASSEGNA TECNICA. - ISSN 0004-7287. - STAMPA. - 3:(2019), pp. 242-248.

*Availability:*

This version is available at: 11583/2844836 since: 2020-09-09T12:04:25Z

*Publisher:*

Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino

*Published*

DOI:

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

# Archivio 3D multi-temporale dei danni e crolli per la chiesa di Sant'Agostino in Amatrice in seguito ai diversi eventi

## *3D multi-temporal archive of damages and collapses in Sant'Agostino church of Amatrice after reiterated seismic events*

**GIULIA SAMMARTANO, NANNINA SPANÒ, ALESSIA ROSIGNUOLO**

### Abstract

In questo contributo viene presentata una strategia che consente di poter gestire, analizzare e valutare, in un unico sistema, il complesso insieme di dati che è possibile disporre per ricostruire le condizioni di una fabbrica prima e dopo degli eventi disastrosi. In particolare fotografie storiche e disegni d'archivio possono fornire informazioni utilissime e arricchirsi di maggiori significati o potenzialità descrittive delle condizioni dell'edificio se rese comparabili e spazialmente confrontabili (in 2D e 3D) con altre riferite a tempi diversi della storia della fabbrica. Tale ricostruzione è stata eseguita per la chiesa di Sant'Agostino ad Amatrice, mirando ad una sequenza multi-temporale molto ampia, e sfruttando sia le tecnologie speditive del rapid mapping aereo già presentate, sia la tecnica omografica opportuna per l'assegnazione del riferimento spaziale ai documenti storici.

*This manuscript presents a strategy that allows managing, analysing and evaluating in a single system the complex set of data that can be available to reconstruct the conditions of a factory before the disastrous events. In particular, historical photographs and archive drawings can provide very useful information and enrich themselves with greater meanings or descriptive potential of the building conditions if made comparable and spatially measurable (in 2D and 3D) with others referring to different times in the history of the factory. This reconstruction was carried out for the church of Sant'Agostino in Amatrice, aiming for a very broad multi-temporal sequence, and taking advantage of both the aerial rapid mapping technologies already presented, and the appropriate homographic technique for the assignment of the spatial reference to historical documents.*

### 1. La documentazione multi-temporale

La multi-temporalità nella documentazione dei fenomeni nel caso di edifici appartenenti al patrimonio storico costruito si dimostra sempre una possibilità importante non solo nella fase di conoscenza ma soprattutto nei processi di analisi e interpretazione dei comportamenti, specialmente nel caso del danno nei comportamenti sismici dell'edificio. Per questo le tecniche della Geomatica offrono strumenti integrati che permettono la correlazione di dati 3D metrici e di varia natura appartenenti a finestre temporali distinte, non solo per la pianificazione di un monitoraggio in tempi recenti ma anche per la correlazione di dati di epoche passate. Le ricerche che hanno beneficiato maggiormente dell'impiego di dati storici sono sicuramente le applicazioni nel campo delle immagini terrestri d'archivio per la documentazione<sup>1</sup>, l'analisi<sup>2</sup>, la ricostruzione<sup>3</sup> e il restauro<sup>4</sup>, nel campo della cartografia storica<sup>5</sup>, e delle foto aeree storiche<sup>6</sup>. L'impostazione

Giulia Sammartano, dottore di ricerca in Beni architettonici e paesaggistici, assegnista in Geomatica presso il Politecnico di Torino, DAD  
giulia.sammartano@polito.it

Nannina Spanò, professore associato di Geomatica, Politecnico di Torino, DAD  
antonia.spano@polito.it

Alessia Rosignuolo, laureata magistrale in Architettura per il Restauro e la valorizzazione del patrimonio, Politecnico di Torino  
alessia\_ro@hotmail.it

di sistemi di riferimento condivisi tramite il controllo dei metodi topografici e l'uso rigoroso di coordinate 3D accurate, infatti, è sempre diretta anche verso questi scopi.

## 2. Creazione di un archivio 3D di dati storici e recenti per la chiesa di Sant'Agostino

Spesso, nel caso di un'emergenza sismica, la necessità è quella di ricostruire un quadro formale precedente l'evento per le valutazioni e quantificazioni dei danni avvenuti, e ci si affida a documentazione recente se già esistente per il cosiddetto *tempo zero*. In mancanza di ciò si può far ricorso a interpretazioni di rilievi del passato, spesso sotto forma di immagini o documenti storici che devono subire processi di attenta digitalizzazione<sup>7</sup>. In questo caso il problema metrico però non è da sottovalutare e, proprio nel caso di documenti d'archivio, è possibile attuare processi di controllo metrico delle immagini (disegni o fotografie d'archivio) per trasformarle in fotopiani in scala, ovvero proiezioni ortogonali misurabili dell'oggetto rappresentato<sup>8</sup>. La gestione metrica della geometria 2D e 3D, grazie all'impiego di metodi integrati, offre quindi la possibilità di relazionare spazialmente informazioni multi-temporali di diversa natura, riferite sia all'esterno che all'interno dell'edificio, ancorché a scale e accuratezze differenti in riferimento alle fonti consultate<sup>9</sup>.

Nel caso qui presentato (Figura 1) della chiesa di Sant'Agostino ad Amatrice, l'edificio e tutta la sua storia stratificata, ha richiesto particolare attenzione nella documentazione dei crolli diffusi e del quadro fessurativo, finalizzati alla valutazione e interpretazione del danno sismico nella sua complessità e consequenzialità nel tempo<sup>10</sup>.

Da un lato è importante evidenziare che l'attività continuativa del team DIRECT sul campo, come già descritto, ha permesso di ottenere, tramite le tre campagne di rilievo metrico 3D (settembre 2016, dicembre 2016, gennaio 2017) (Figura 2a) a seguito dei principali eventi sismici (24 agosto 2016, 26-30 ottobre 2016, 18 gennaio 2017), una

documentazione multi-temporale continua e completa. L'esito della documentazione integrata ha consentito di derivare nuvole di punti 3D da immagini da drone (Figura 2b) e da queste, di calcolare modelli 3D con superfici continue ad alta risoluzione (Figura 2c), dalle quali infine poter realizzare ortofoto ad alto contenuto metrico e radiometrico<sup>11</sup>. Nello specifico, i fronti su cui si è concentrato l'interesse, dovuto alla localizzazione prevalente delle informazioni, sono stati il fronte principale, il fronte sud-est e il fronte nord-ovest affacciato sulla corte interna, insieme al campanile<sup>12</sup>.

Su altro fronte, è stato funzionale coordinare e integrare la ricerca di documentazione d'archivio, che ha condotto a poter disporre di otto disegni di rilievo diretto dello stato di fatto della chiesa di Sant'Agostino risalente al 1980, dopo il terremoto di Norcia e della Valnerina del 1979, in disponibilità della Soprintendenza archeologia, belle arti e paesaggio della provincia di Rieti. Benché il rilievo, il disegno e la conservazione dei fogli non siano di alta qualità, il potenziale rilevante di questo materiale risiede nel contenuto informativo che consiste nella mappatura delle lesioni risalenti alla situazione post 1979, per poterle confrontare con quelle subite nell'evento ultimo, che ha segnato il momento irreversibile nella storia della chiesa.

I documenti sono pervenuti in formato di immagine fotografica realizzata sui disegni tecnici eseguiti a mano e a colori su carta, con difetti dovuti all'età e alla piegatura dei fogli (Figura 3). Il processo di raddrizzamento metrico analitico, eseguito per ogni documento impiegando il software open-source RDF e le misure di coordinate ricavate dai modelli di punti recenti, ha permesso di eliminare la deformazione prospettica dovuta alla fotografia, generando degli ortopiani in scala metricamente controllati e da cui è stato poi possibile ottenere misure accurate per una scala assimilabile a 1:100-1:200.

Nel processo di trasformazione omografica e ri-campionamento dell'immagine, l'uso di punti di controllo di

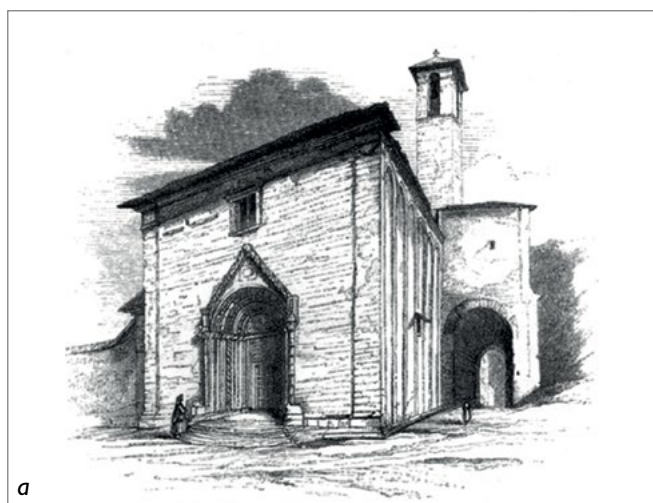


Figura 1. (a) Un'illustrazione di Edward Lear del 1884 raffigurante la chiesa di Sant'Agostino ad Amatrice; (b) una fotografia della chiesa prima delle scosse del 2016 (<https://closer.colasantiaste.com>).

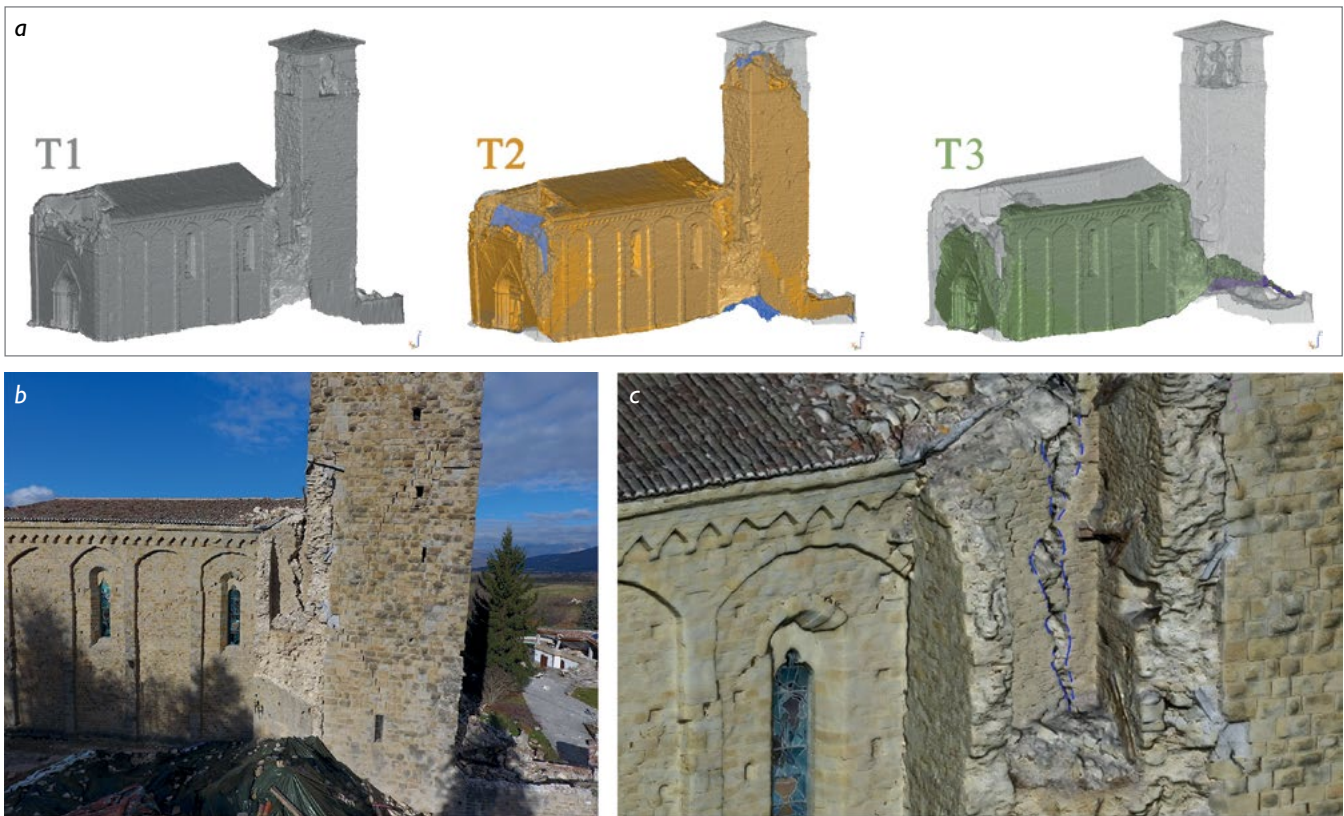


Figura 2. (a) Visualizzazione dei modelli 3D riferiti ai tre tempi relativi agli eventi sismici; (b) ispezione dei danni da immagine da drone; (c) ispezione sul modello 3D.

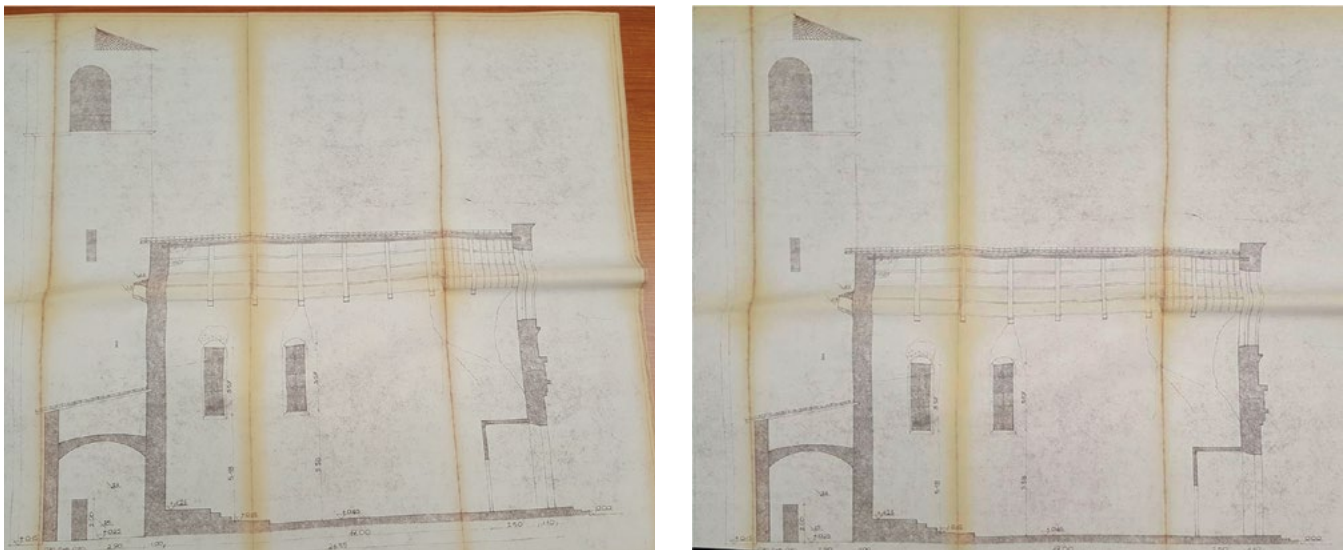


Figura 3. I disegni dei rilievi del 1989 prima e dopo il raddrizzamento metrico.

coordinate note appartenenti al sistema di riferimento corrente, impostato in concomitanza con i rilievi d'emergenza 2016, ha permesso di gestire i prodotti derivati del raddrizzamento nello stesso spazio 3D, consentendo così di mettere facilmente in relazione lo stato attuale dei modelli digitali con i suddetti documenti storici bidimensionali. Seguendo lo stesso principio si è operato anche sulla foto storica datata a inizio '900 nella quale è visibile la chiesa nella condizione precedente la sopraelevazione della facciata

con l'inserimento del rosone, dove erano ancora chiaramente visibili i segni di scosse sismiche del passato<sup>13</sup>. Grazie all'integrazione dei dati sopra descritti (Figura 4) è stato possibile portare avanti un processo di documentazione e analisi dell'edificio, a partire dall'ipotesi di un cosiddetto *tempo zero* ( $T_0$ )<sup>14</sup> (Figura 5), attraverso le tre scosse e i progressivi collassi, accompagnata dalla mappatura dei danni visibili dalla documentazione storica a quella fotogrammetrica 2016-2017.



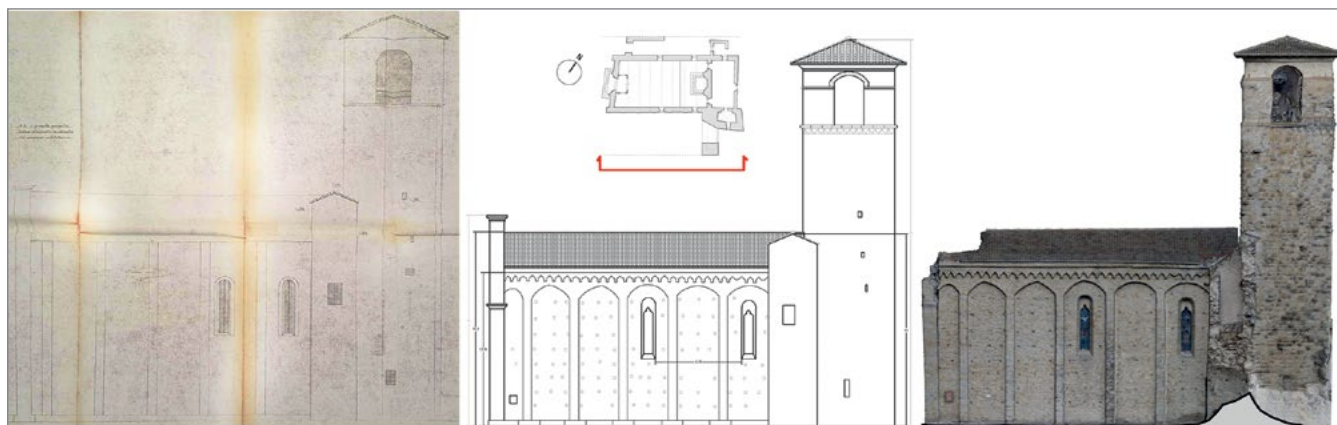


Figura 4. Esempio di integrazione delle informazioni per il fronte sud-est: il rilievo del 1989 (sinistra); la ricostruzione analitica del T0; ortofoto da rilievo metrico 3D.

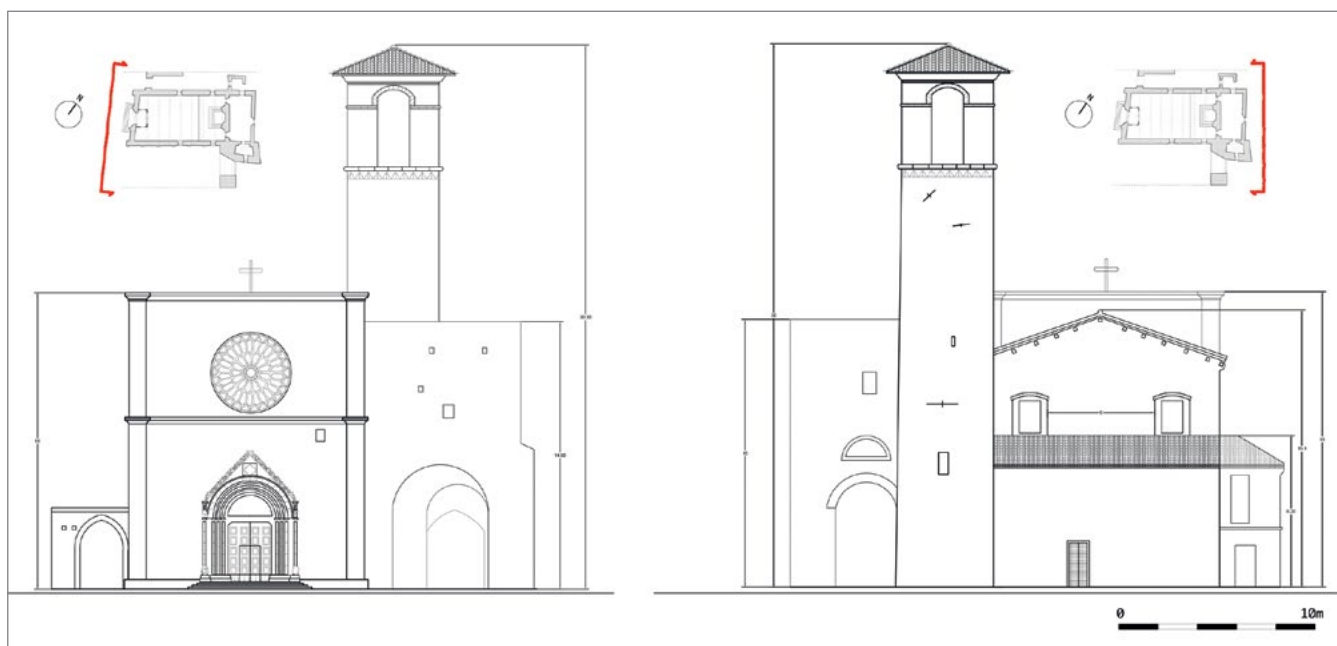


Figura 5. La ricostruzione analitica della chiesa al T0: fronte principale e nord-est.

Tuttavia, nel processo di costruzione dell'ipotesi della geometria dell'oggetto pre-sisma tramite le misure rilevate delle porzioni di fabbrica ancora erette e quelle dedotte dagli stralci di documentazione storica, si sono incontrati non poche incertezze relative a incongruenze delle misure (Figura 6).

Queste sono state, ad esempio: le dimensioni del campanile, raffigurato nei rilievi del 1980 più basso e tozzo rispetto all'esistente nel 2016; il colmo del tetto, posizionato a una quota più alta rispetto all'allora stato di fatto; la posizione in quota e la distanza reciproca, ridotta rispetto alla realtà, delle finestre oblunghe trilobate sui lati est e ovest dell'aula; la distanza tra il rosone centrale della facciata e la punta sommitale del portale in marmo tardo gotico.

A partire dal *tempo zero*, gli eventi distruttivi che hanno avuto origine il 24 agosto 2016 hanno causato progressive lesioni, alcune gravi e profonde che hanno portato al collasso di elementi architettonici rilevanti.

Con il primo evento, la chiesa, rappresentata dal modello T1 riferito all'evento di agosto 2016, ha subito un parziale crollo del fronte principale in corrispondenza della sopraelevazione recente che non era immersata e che ha trascinato nel suo ribaltamento una prima porzione della copertura. La porta Carbonara, adiacente al fronte sud-est, è crollata totalmente, così come parte delle strutture sul fronte nord. In seguito agli eventi di ottobre, il modello T2 (Figura 7) documentato con i rilievi fotogrammetrici di dicembre, riporta i danni consistenti delle strutture portanti della chiesa. Infatti, oltre a un peggioramento del crollo del fronte principale con distacco di esso dall'innesto con le murature laterali dell'aula, anche il campanile ha riportato un grave crollo della parte sommitale, con una serie di fessurazioni distribuite su tutte le pareti dalle quali si è già assistito al distacco diffuso di conci in pietra. I fronti nord e ovest hanno subito grandi collassi di porzioni di muratura e sul fronte est si è manifestata una fessurazione a taglio tra le finestre oblunghe.



Figura 5. La ricostruzione analitica della chiesa al T0: fronte principale e nord-est.

Con le forti scosse di gennaio 2017 la struttura già profondamente vulnerabile ha riportato i crolli più gravi e decisivi, documentati nel modello T3, relativo alla missione di febbraio 2017. Al completo collasso del campanile e della copertura in capriate di legno e coppi, si è unito il crollo di quasi tutta la parete ovest e l'aggravamento dei crolli del fronte principale che ha coinvolto ora gravemente anche il portale gotico.

Il fronte est è tutt'ora ancora eretto, e sottoposto a consolidamento d'emergenza.

L'approfondimento di analisi e corrispondente esito iconografico che presentiamo tramite due esempi nella figura 8, si riferisce invece specificatamente all'analisi multi-temporale delle lesioni dedotte dalle immagini storiche e accostate agli effetti degli eventi 2016-2017, realizzati per ogni singolo fronte della chiesa<sup>15</sup>.

**Considerazioni conclusive**

A partire dalla documentazione disponibile, si è sempre stati in grado sostanzialmente di porre in diretta relazione gli elementi di vulnerabilità riscontrati, analizzati e discussi nel gruppo di lavoro interdisciplinare della task force,

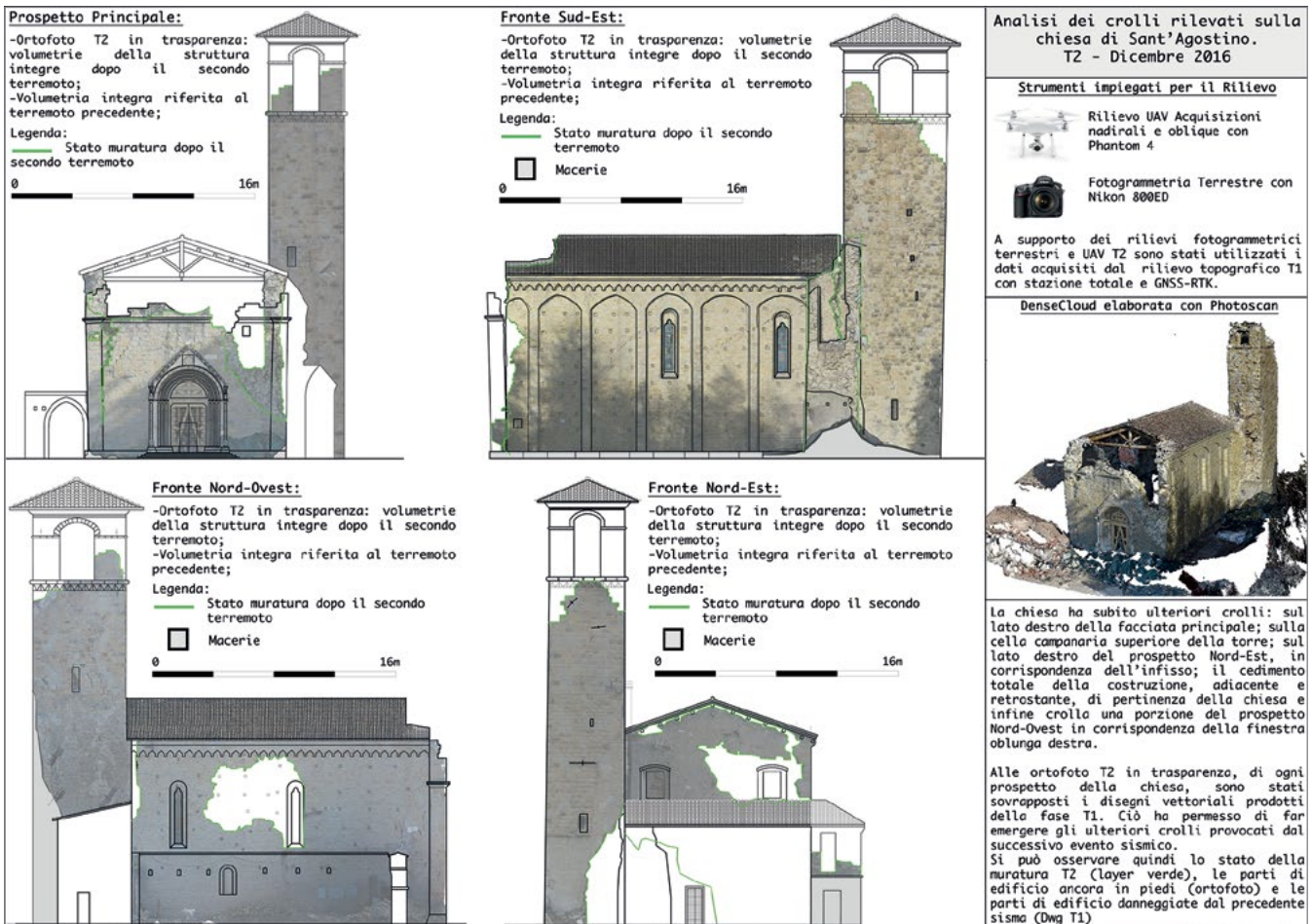


Figura 7. Documentazione della situazione della chiesa al tempo T2 (dati di dicembre 2016) dei quattro fronti in confronto sincronico, con relazione al modello 3D a supporto dell'analisi e mappatura del danno.

Nella pagina seguente: Figura 8. Analisi multi-temporale indirizzata su ciascun fronte. Nelle tavole il fronte sud-est e il fronte nord-est nelle corrispondenti letture diacroniche.



**Fronte Sud-Est T0:**  
 - Volumetria complessiva della chiesa prima dell'evento sismico del 24 Agosto 2016.  
 Fessurazioni sul fronte Sud-Est, all'interno dell'edificio, ricavate dal disegno della sezione B-B' del "Rilievo del 1980". Queste sono state riportate sul prospetto in quanto si vuole verificare se coincidono con i crolli avvenuti durante gli eventi sismici del 2016-2017.

**Fronte Sud-Est T1:**  
 - Volumetrie integre dopo il primo terremoto sovrapposte all'ortofoto T1 in trasparenza.  
 Fessurazioni interne. Fonte sezione B-B' Rilievo'80.  
 Non si sono rilevate lesioni significative dall'ortofoto T1.

**Fronte Sud-Est T2:**  
 - Volumetrie integre dopo il secondo terremoto sovrapposte all'ortofoto T1 in trasparenza.  
 Fessurazioni sul prospetto principale, ricavate dall'ortofoto estrapolata dal modello 3D T2.  
 Fessurazioni interne. Fonte sezione B-B' Rilievo'80.

**Fronte Sud-Est T3:**  
 - Volumetrie integre dopo il terzo terremoto sovrapposte all'ortofoto T1 in trasparenza.  
 Fessurazioni sul prospetto principale, ricavate dall'ortofoto estrapolata dal modello 3D T3.  
 Fessurazioni interne. Fonte sezione B-B' Rilievo'80.

**Fronte Nord-Est T0:**  
 - Volumetria complessiva della chiesa prima dell'evento sismico del 24 Agosto 2016.  
 Non sono stati reperiti documenti che evidenziassero lesioni al momento T0. Viene riportato la volumetria complessiva come confronto con le sottostanti analisi sulle lesioni rilevate dopo i singoli eventi sismici registrati tra il 2016-2017.

**Fronte Nord-Est T1:**  
 - Volumetrie integre dopo il primo terremoto sovrapposte all'ortofoto T1 in trasparenza.  
 Fessurazioni sul prospetto principale, ricavate dall'ortofoto estrapolata dal modello 3D T1.

**Fronte Nord-Est T2:**  
 - Volumetrie integre dopo il secondo terremoto sovrapposte all'ortofoto T1 in trasparenza.  
 Fessurazioni sul prospetto principale, ricavate dall'ortofoto estrapolata dal modello 3D T2.

**Fronte Nord-Est T3:**  
 - Volumetrie integre dopo il terzo terremoto sovrapposte all'ortofoto T1 in trasparenza.  
 Fessurazioni sul prospetto principale, ricavate dall'ortofoto estrapolata dal modello 3D T3.

**Documentazione di Partenza**

PRE- T0 SISMA	
SETTE- T1 2016 EMBRE	
DICE- T2 2016 EMBRE	
FEBBRAIO T3 2016	

**Analisi delle lesioni rilevate sulla chiesa di Sant'Agostino: Fronte Sud-Est**

Il Fronte Sud-Est, durante il susseguirsi dei terremoti, ha subito fessurazioni significative, sulla muratura, che sono state confrontate con lesioni presenti sul fronte prima dell'evento sismico del 2016-2017. Quest'analisi permette di verificare se le lesioni evidenziate sono i presupposti iniziali del ripetuto cedimento strutturale.

**Documentazione di Partenza**

SETTE- T1 2016 EMBRE	
DICE- T2 2016 EMBRE	
FEBBRAIO T3 2016	

**Analisi delle lesioni rilevate sulla chiesa di Sant'Agostino: Fronte Nord-Est**

Il Fronte Nord-Est, durante il susseguirsi dei terremoti, ha subito fessurazioni importanti. Non sono stati reperiti documenti o riferimenti fotografici che evidenziassero lesioni precedenti al terremoto 2016-2017. Quest'analisi permette di verificare se le lesioni evidenziate sono i presupposti iniziali del crollo quasi totale del fronte.

con i segni dei dissesti documentati nel tempo e condotti in un unico archivio di dati 3D di modelli tridimensionali con textures, ortofoto, nonché fotopiani di documenti storici dai quali sono state ricavate le digitalizzazioni dei danni del passato da confrontare metricamente con quelle recenti.

Proprio per questi motivi, la distribuzione delle fessurazioni sui lati delle murature d'ambito dell'aula, sia all'esterno che nei corrispettivi andamenti interni, insieme alle modalità di crollo della copertura sulle pareti stesse, hanno potuto consentire il ragionamento su vantaggi e svantaggi prodotti dai consolidamenti precedenti delle murature e nei nodi tra le stesse e l'innesto delle coperture.

Lo sforzo di documentazione metrica estensiva dello stato di fatto e dei danni progressivi del terremoto di Amatrice sulla chiesa di Sant'Agostino ha sicuramente contribuito attivamente all'analisi e alla comprensione globale del comportamento sismico della struttura e della sua profonda vulnerabilità. Ha altresì fatto emergere l'interesse e le potenzialità dell'utilizzo di documentazione metrica accurata e multi-temporale, benché proveniente da fonti diverse. In particolar modo, il vantaggio di questi metodi della Geomatica risiede nella possibilità di correlare, come in questo caso, mappature del danno di eventi storici in un modello 3D accurato sia interno che esterno dello stato attuale o, in generale, di un momento successivo documentato con tecniche avanzate digitali, per contribuire all'interpretazione del ruolo di danni pregressi come possibile premessa ai comportamenti sismici futuri.

## Note

<sup>1</sup> Gabriele Bitelli, Valentino Alena Girelli, Michele Marziali, Antonio Zanutta, *Use of historical images for the documentation and the metrical study of Cultural Heritage by means of digital photogrammetric techniques*, in «International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XXXVI-5/C53, 2007, pp. 141-146.

<sup>2</sup> José Luis Lerma, Miriam Cabrelles, Cristina Portalés, *Multitemporal thermal analysis to detect moisture on a building*, in «Construction and Building Materials», 25(5), 2011, pp. 2190-2197.

<sup>3</sup> Albert Wiedemann, Matthias Hemmleb, Jörg Albertz. *Reconstruction of historical buildings based on images from*

*the Meydenbauer archives*, in «International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», 33(B5/2; PART 5), 2000, pp. 887-893.

<sup>4</sup> Cristiana Beltrami, Donatella Cavezzali, Filiberto Chiabrando, Antonio Iaccarino, Giacomo Patrucco, Fulvio Rinaudo, *3D digital and physical reconstruction of a collapsed dome using SfM techniques from historical images*, in «International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2/W11(2/W11), 2019, pp. 217-224.

<sup>5</sup> Filippo Brandolini, Giacomo Patrucco, *Structure-from-Motion (SfM) Photogrammetry as a Non-Invasive Methodology to Digitalize Historical Documents: A Highly Flexible and Low-Cost Approach?*, in «Heritage», 2(3), 2019, pp. 2124-2136.

<sup>6</sup> Erica Nocerino, Fabio Menna, Fabio Remondino, *Multi-temporal analysis of landscapes and urban areas*, in «International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XXXIX-B4, 2012, pp. 85-90.

<sup>7</sup> La digitalizzazione e l'analisi dei disegni d'archivio della Soprintendenza è stata oggetto di: Alessia Rosignuolo, *Il ruolo della Geomatica per supportare le situazioni di emergenza post eventi sismici dei beni architettonici. Analisi multi-temporale della chiesa di Sant'Agostino ad Amatrice*, tesi di laurea in Architettura per il Restauro e la valorizzazione del patrimonio, Politecnico di Torino, relatore Antonia Spanò, dicembre 2018.

<sup>8</sup> Filippo Brandolini, *Structure-from-Motion...* cit., p. 2129.

<sup>9</sup> Silvia Beltramo, Elisabetta Donadio, Antonia Spanò, *Stratigraphic Analyses, Historical Evidences, and 3D Documentation Tools: Deepening Built Heritage – New Researches for Historical Building Sites in Staffarda*, in C. Inglese, A. Ippolito (eds.), *Analysis, Conservation, and Restoration of Tangible and Intangible Cultural Heritage*, IGI Global, Hershey, PA 2019, pp. 273-301.

<sup>10</sup> Cfr. in questo volume il contributo a p. 147, e inoltre: Alessandro Grazzini, Filiberto Chiabrando, Sebastiano Foti, Giulia Sammartano, Antonia Spanò, *A Multidisciplinary Study on the Seismic Vulnerability of St. Agostino Church in Amatrice following the 2016 Seismic Sequence*, in «International Journal of Architectural Heritage», 0(0), 2019, pp. 1-18.

<sup>11</sup> Giulia Sammartano, *Suitability of 3D dense models from rapid mapping strategies for Cultural Heritage documentation and conservation. Validation of metric and non-metric information extraction from integrated solutions*, tesi di dottorato di ricerca in Beni architettonici e paesaggistici, Politecnico di Torino, XXX ciclo (2018), tutors Antonia Spanò, Filiberto Chiabrando.

<sup>12</sup> Giulia Sammartano, *Suitability of 3D dense models...* cit.

<sup>13</sup> Alessandro Grazzini, *A Multidisciplinary Study...* cit.

<sup>14</sup> Alessia Rosignuolo, *Il ruolo...* cit.

<sup>15</sup> *Ivi*.