

Fotogrammetria terrestre e tecnologia tablet in scenari post sisma: il caso studio della chiesa di Sant'Agostino in Amatrice

Terrestrial photogrammetry and tablet technology in post-earthquake scenario: case study of Sant'Agostino Church in Amatrice

VINCENZO DI PIETRA, PAOLO DABOVE, ANDREA LINGUA

Vincenzo Di Pietra, dottore di ricerca in Urban and regional development, assegnista in Geomatica presso il Politecnico di Torino, DIATI
vincenzo.dipietra@polito.it

Paolo Dabove, ricercatore in Geomatica, Politecnico di Torino, DIATI
paolo.dabove@polito.it

Andrea Lingua, professore ordinario di Geomatica, Politecnico di Torino, DIATI
andrea.lingua@polito.it

Abstract

Negli ultimi anni, i numerosi disastri naturali che hanno colpito il territorio italiano hanno generato la necessità che i primi interventi possano seguire procedure rapide e sicure, in grado di portare a termine operazioni di ricognizione, ispezione e rilievo di strutture instabili e di beni architettonici danneggiati. In particolare, come già evidenziato in numerosi contributi di questo volume, nelle prime fasi successive a un terremoto, numerosi operatori – quali Vigili del Fuoco, protezione civile, militari e ispettori geotecnici, esperti delle strutture e dei beni culturali – devono operare in prossimità di strutture danneggiate, mettendo a rischio la propria sicurezza a causa di possibili collassi. L'obiettivo principale per ridurre il rischio è minimizzare il tempo di esposizione al manufatto danneggiato e ciò può essere ottenuto attuando tecniche fotogrammetriche terrestri al fine di eseguire dei rilievi speditivi ad alto contenuto informativo. In questa esperienza si vuole dimostrare la possibilità di utilizzare la tecnologia tablet per portare a termine operazioni di rilievo speditivo fotogrammetrico in scenari emergenziali. Il caso studio preso in esame è ancora una volta la chiesa di Sant'Agostino in Amatrice, altamente danneggiata dal sisma del 2016 in Centro Italia, e oggetto degli studi da parte della task force del Politecnico di Torino.

In recent years, the several natural disasters affecting the Italian territory, led the growth of the demand of secure on-field procedures able to accomplish reconnaissance, inspection and survey of damaged cultural heritage and instable structures. In fact, as underlined in previous manuscripts during the early-impact response, firefighters, civil protection, soldiers and geotechnical inspectors, experts in structures and cultural heritage must operate nearby damaged structures risking their lives in case of possible collapses. To minimize the risk, the aims is to reduce the exposure time by mean of photogrammetric technologies to accomplish rapid survey rich of digital information. The reported study wants to investigate the use of tablet technology for rapid close-range photogrammetry in post-earthquake scenario. The case study considered in this work is once more the Sant'Agostino church in Amatrice, an architectural asset highly damaged by the earthquake occurred in 2016 in the central part of Italy, subject to the studies of the Politecnico di Torino task force.

Introduzione

Tra le varie fasi dell'*emergency management*, vi è la necessità di una rapida e completa documentazione circa lo stato di fatto delle opere danneggiate dall'evento catastrofico. A tale scopo, le squadre di primo intervento necessitano di strumenti di supporto a una rapida documentazione dei danni occorsi al

patrimonio costruito e metodologie di rilievo dello stato di fatto. Tali strumenti devono permettere di preservare l'incolumità degli operatori che si interfacciano con zone ad alto rischio, come ad esempio i centri urbani danneggiati dal sisma del 2016. Di particolare interesse è l'esecuzione di un rilievo e la successiva documentazione sotto forma di modelli digitali metricamente accurati e dati spaziali georeferenziati che riproducano le caratteristiche dell'oggetto di ispezione con una elevata affidabilità.

Al pari di altre esperienze qui riportate, il presente studio ha l'obiettivo di proporre alle figure preposte al primo intervento, tecnologie e metodologie per portare a termine operazioni di rilievo speditivo in contesti di rischio per la sicurezza personale. In particolare, questo lavoro vuole evidenziare la possibilità di utilizzare tecnologia tablet come sensore primario in operazioni di rilievo fotogrammetrico 3D. La crescente diffusione di dispositivi *mass-market* a basso costo quali smartphone e tablet consente infatti anche agli utenti meno esperti di avere in mano piattaforme multi-sensore utili in ambito fotogrammetrico. I modelli tridimensionali ottenuti con i sensori ottici installati nei tablet, se supportati da una corretta metodologia di acquisizione e *processing* dei dati, possono essere utilizzati nelle operazioni post-sisma.

A tal fine, l'oggetto del rilievo speditivo è la chiesa di Sant'Agostino di Amatrice (RI), un bene architettonico altamente danneggiato dal terremoto e di grande importanza per la comunità. La chiesa, come visto, è stata oggetto di rilievo sia nei primi giorni successivi al terremoto del 24 agosto 2016 sia successivamente, ed è situata all'interno della "zona rossa" del centro cittadino, un'area soggetta a restrizioni per l'altro rischio di collassi strutturali¹.

1. La fotogrammetria e i sensori mass-market a supporto del rilievo post-disastro

Quando una struttura viene danneggiata a seguito di un sisma, i Vigili del Fuoco, in coordinamento con il Dipartimento della Protezione Civile, devono eseguire una rapida ispezione post-disastro allo scopo di verificare l'agibilità della struttura e pianificare la sua messa in sicurezza². Spesso la pericolosità di accesso a queste strutture e le difficoltà intrinseche legate al muoversi in contesti emergenziali rendono impossibili le operazioni di ispezione diretta, le quali devono essere sostituite con metodologie di telemisurazione. Tali metodologie devono permettere l'acquisizione di dati spaziali georeferenziati, completi e intelligenti, nel minor tempo possibile, a distanza di sicurezza dall'oggetto e agevolarne l'acquisizione per i diversi operatori coinvolti (esperti e non). Tale necessità viene ben soddisfatta dalla fotogrammetria terrestre e aerea, che permette di ridurre i tempi di esposizione degli operatori ai rischi di permanenza garantendo nel contempo l'acquisizione di dati digitali ad alto contenuto informativo³.

La fotogrammetria è una metodologia che permette di estrarre informazioni spaziali della realtà, metricamente

accurate, attraverso le relazioni proiettive e geometriche tra immagini acquisite con sensori ottici e scena osservata⁴. Acquisendo una serie di fotogrammi di uno stesso oggetto statico, si è in grado di generare un modello digitale tridimensionale dell'oggetto del rilievo a elevata risoluzione e a un costo relativamente contenuto⁵. Da tale modello è possibile estrarre informazioni a supporto delle fasi decisionali degli organi preposti ed effettuare analisi spaziali e modellazioni fisiche sulla realtà simulata. Le applicazioni principali della fotogrammetria a supporto dell'*emergency management* sono la valutazione dei rischi, l'individuazione di danni strutturali, il supporto per interventi di recupero e adeguamento sismico.

Un altro aspetto fondamentale di tale lavoro è la considerazione che l'enorme diffusione delle tecnologie *mass-market* quali smartphone e tablet fornisce agli utenti potenti strumenti dotati di ricevitori GNSS⁶ e di sensori ottici in grado di acquisire dati utili al procedimento fotogrammetrico. L'uso di tali strumenti però deve essere accompagnato dall'utilizzo di procedure e criteri tipici della fotogrammetria, che garantiscano la generazione di prodotti accurati sia dal punto di vista geometrico che radiometrico.

2. Acquisizione ed elaborazione dei dati

L'acquisizione dei dati, condotta dal team DIRECT (*DI*saster *RE*Cover*Y* Team), è avvenuta in pochi minuti, effettuando una serie di scatti con due tablet commerciali tra i più diffusi in commercio (il Sony Xperia Z2 e l'Apple iPad mini 4)⁷. La funzione di geotag è stata attivata permettendo di acquisire le posizioni dei centri di presa tramite tecnica GNSS. Separatamente, sono state acquisite delle immagini con una fotocamera Canon EOS 5D Mark II, una DSLR (Digital Single-lens Reflex) di alta qualità da utilizzare come dataset di riferimento per le comparazioni⁸. Infine è stato effettuato un rilievo di dettaglio non appoggiato a una rete di inquadramento, utilizzando una stazione totale. L'appoggio non è stato possibile a causa della pericolosità del sito e del breve periodo di stazionamento concesso dagli organi preposti. Anche se non georeferenziato, tale rilievo di dettaglio ha avuto lo scopo di inserire i modelli fotogrammetrici nello stesso sistema di riferimento locale e di valutare la qualità delle elaborazioni.

Il *processing* delle immagini è avvenuto secondo il tradizionale workflow fotogrammetrico composto da estrazione automatica di punti riconoscibili dalle immagini, *matching* di tali punti tra immagini, orientamento interno ed esterno delle prese, generazione di nuvola di punti e calcolo della nuvola densa (Figura 1). La stessa procedura è stata utilizzata per la soluzione di riferimento, un modello 3D della chiesa, ottenuto con una fotocamera DSLR, la quale presenta migliori caratteristiche rispetto ai sensori presenti nei due tablet. Le informazioni riguardanti i modelli tridimensionali generati nel processo fotogrammetrico sono riportate in Tabella 1.

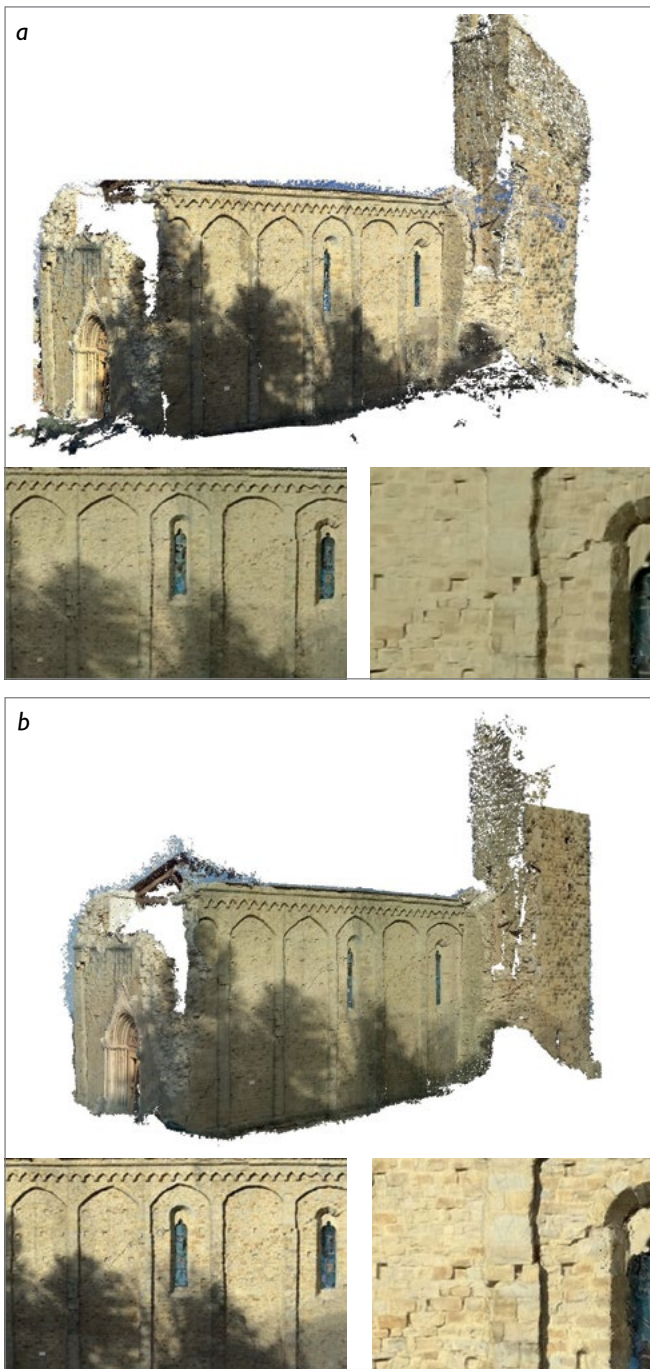


Figura 1. Modello tridimensionale texturizzato della chiesa di Sant'Agostino ad Amatrice e particolari ottenuti con le immagini acquisite da tablet iPad mini 4 (a) e da Sony Xperia Z2 (b).

	iPad mini 4	Xperia Z2	Canon 5D
Foto [n°]	26	45	188
Punti [n°]	4.846.278	4.719.731	13.960.996
Facce [n°]	13.288.273	12.255.344	23.953.462
Vertici [n°]	7.125.846	6.438.499	12.176.173
Dim [MB]	128	122	359

Tabella 1. Informazioni relative ai tre modelli 3D, generati con i tablet e con la camera DSLR.

3. Analisi e discussione dei risultati

Le analisi sulla qualità dei modelli ottenuti da sensori *mass-market* sono avvenute su una porzione di facciata della chiesa di Sant'Agostino. Quattordici punti naturali in facciata sono stati misurati con una stazione totale e sono stati utilizzati come punti di controllo per il processo fotogrammetrico. In tal modo i modelli ottenuti sono stati scalati e ruotati nel sistema di riferimento locale. Tra questi punti, cinque sono stati utilizzati per la stima degli errori tra i punti misurati e i punti stimati nel processo fotogrammetrico (*check points*). Tali risultati, riportati in Tabella 2, ci forniscono una prima validazione della qualità del modello fotogrammetrico.

	iPad mini 4	Xperia Z2
5 punti di appoggio		
X err. [m]	0,0200	0,0174
Y err. [m]	0,0612	0,0510
Z err. [m]	0,0347	0,0278
9 punti di controllo		
X err. [m]	0,0133	0,0114
Y err. [m]	0,0630	0,0268
Z err. [m]	0,0399	0,0587

Tabella 2. Media degli errori tra le coordinate stimate e i punti misurati.

Successivamente i modelli fotogrammetrici ottenuti con i tablet sono stati comparati con il modello di riferimento, sovrapponendo le nuvole dense e confrontandole con un algoritmo di tipo C2C NN (*Cloud To Cloud Nearest Neighbors*). I valori statistici del confronto tra nuvole sono riportate in Tabella 3 e rappresentati dalle Figure 2 e 3. Si può osservare che l'83% dei punti si discosta dal modello di riferimento di meno di 3 cm nel caso dell'iPad mini 4. Per l'Xperia Z2, nella stessa distanza sono contenuti il 90% dei punti.

Conclusioni

L'utilizzo di strumenti *mass-market*, quali smartphone e tablet, per applicazioni di rilievo fotogrammetrico speditivo in scenari catastrofici può essere fondamentale per il compimento di differenti tipi di interventi, quali sopralluoghi, ispezioni e rilievi su infrastrutture instabili e beni architettonici danneggiati. Le procedure di utilizzo di questi strumenti devono essere rapide, facili da applicare *in situ*, e idonee a garantire la generazione di modelli tridimensionali da una distanza di sicurezza dalla struttura instabile o difficilmente raggiungibile. La procedura esposta, unitamente all'utilizzo di strumenti a basso costo durante le operazioni di rilievo, ha dimostrato le potenzialità della tecnica fotogrammetrica terrestre anche per gli scopi sopraesposti.

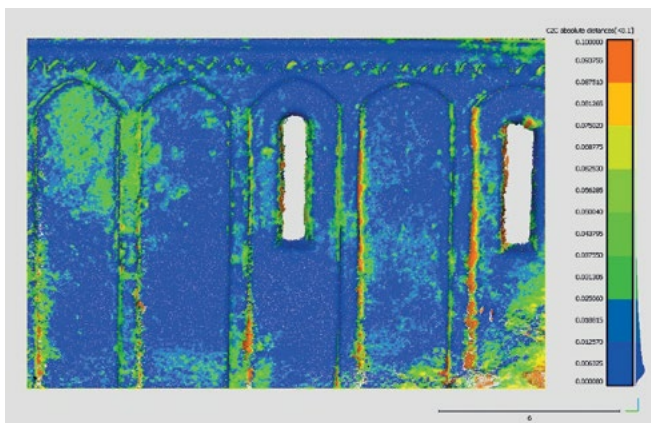


Figura 2. Rappresentazione in scala di colore della distanza assoluta tra modello di riferimento e modello da validare (Apple iPad Mini 4).

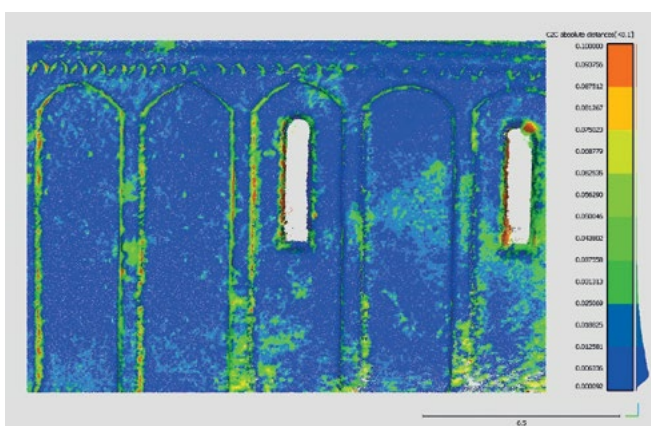


Figura 3. Rappresentazione in scala di colore della distanza assoluta tra modello di riferimento e modello da validare (Sony Xperia Z2).

	Distanza Assoluta C2C [%]	
	iPad mini 4	Xperia Z2
D < 1 cm	~ 38,99	~ 21,46
1 cm < D < 2 cm	~ 28,53	~ 52,73
2 cm < D < 3 cm	~ 15,52	~ 15,71
2 cm < D < 10 cm	~ 16,95	~ 10,10

Tabella 3. Distanza dei punti e relative percentuali.

Tali procedure, per quanto rapide, devono essere affiancate a operazioni di rilievo topografico in loco e *post-processing* dei dati, per le quali è necessaria la presenza di un utente esperto. Solo in tal modo i prodotti della fotogrammetria potranno rispettare i requisiti di accuratezza e precisione. Nel caso in esame sono stati generati modelli tridimensionali da strumenti *mass-market* (tablets) che si discostano di pochi centimetri rispetto alla realtà (punti misurati mediante tecnica topografica). Le analisi statistiche sui punti di controllo riportano un errore inferiore ai 6 cm lungo le tre componenti del sistema di riferimento. Inoltre, i modelli ottenuti sono stati confrontati con un modello di riferimento generato da una camera professionale. In questo caso, la distanza assoluta risulta inferiore ai 3 cm per l'83% dei punti, dimostrando l'utilità di questi strumenti in situazioni emergenziali.

Note

- ¹ Questo lavoro di ricerca, come gli altri svolti nei momenti più prossimi agli eventi sismici, ha potuto beneficiare della collaborazione del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco.
- ² Cfr. in questo volume il contributo a p. 198.
- ³ Christopher Gomez, Heather Purdie, *UAV-based Photogrammetry and Geocomputing for Hazards and Disaster Risk Monitoring—A Review*, in «*Geoenvironmental Disasters*» 3 1, 23, 2016; DOI 10.1186/s40677-016-0060-y.
- ⁴ Cfr. in questo volume il contributo a p. 41.
- ⁵ Thomas Schöps, Torsten Sattler, Christian Häne, Marc Pollefeys, *3D modeling on the go: Interactive 3d reconstruction of large scale scenes on mobile devices*, in *Proceedings of 3D Vision (3DV)*, 2015 International Conference on IEEE, 2015, pp 291-299. Dieter Fritsch, Miguel Syll, *Photogrammetric 3D reconstruction using mobile imaging*, in «*SPIE/IS&T Electronic Imaging, International Society for Optics and Photonics*», vol. SPIE 94-11, 2015; DOI: 10.13140/2.1.3031.8886.
- ⁶ Paolo Dabove, Ambrogio M. Manzano, *Accurate Real-time GNSS positioning assisted by tablets: An innovative method for positioning and mapping*, in «*GEAM. Geingegneria Ambientale e Mineraria*», 148 (2), 2016, pp. 17-22.
- ⁷ Le dimensioni dei sensori sono riportati di seguito. iPad mini 4: Sensor Size 3,6 x 2,7 mm; Image resolution 3264x 2448 pixels; Pixel size 1,12 micron (square); Xperia Z2: Sensor size 6,17 x 4,55 mm; Pixel size 1,2 micron; Image resolution 3264x 2448.
- ⁸ Lo stesso dataset presentato nel contributo *Valutazione della vulnerabilità sismica della chiesa di sant'Agostino ad Amatrice tramite analisi multitemporali*, Cfr. in questo volume il contributo a p. 147.