POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Fotogrammetria digitale speditiva a supporto degli interventi di realizzazione di opere provvisionali

Original
Fotogrammetria digitale speditiva a supporto degli interventi di realizzazione di opere provvisionali / Calantropio, A., Chiabrando, F., Spano', A.T.. - In: ATTI E RASSEGNA TECNICA. - ISSN 0004-7287. - ELETTRONICO. - LXXIII:3(2019), pp. 198-201.

Availability:
This version is available at: 11583/2844103 since: 2020-09-04T13:54:11Z

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)

13 September 2026

RIVISTA FONDATA A TORINO NEL 1867
A&RT

L'esperienza interdisciplinare della task force del Politecnico di Torino per il terremoto del Centro Italia (2016-2017)

Sviluppi e prospettive

The interdisciplinary experience of the Politecnico di Torino task force for the earthquake in Central Italy (2016-2017)

Developments and perspectives

ATTI E RASSEGNA TECNICA
DELLA SOCIETA DEGLI INGEGNERI E DEGLI ARCHITETTI IN TORINO

Anno 152

LXXIII-3

NUOVA SERIE

DICEMBRE 2019

Fotogrammetria digitale speditiva a supporto degli interventi di realizzazione di opere provvisionali

Photogrammetric rapid survey for supporting the realization of provisional structures

ALESSIO CALANTROPIO, FILIBERTO CHIABRANDO, NANNINA SPANÒ

Alessio Calantropio, dottorando in Beni architettonici e paesaggistici, Politecnico di Torino
alessio.calantropio@polito.it

Filiberto Chiabrando, professore associato di Geomatica, Politecnico di Torino, DAD
filiberto.chiabrando@polito.it

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

Abstract

Uno degli sforzi più importanti, intrapresi dal Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco dopo il terremoto che ha colpito il Centro Italia nel 2016, è stato lo sviluppo di strategie per il consolidamento dei danni occorsi al patrimonio costruito. Lo studio qui riportato, tratto da una tesi di laurea, è stato condotto nel contesto di una collaborazione avviata tra la task force del Politecnico e il Nucleo Interventi Speciali (NIS) dei Vigili del Fuoco. In questa esperienza, come in molte altre presentate in questo volume, la fotogrammetria UAV si è dimostrata un metodo efficace ed efficiente per assistere la realizzazione di opere provvisionali, migliorando l'accuratezza del rilievo dei manufatti danneggiati e migliorando, al contempo, la sicurezza degli operatori coinvolti.

One of the most important effort undertaken, in the aftermath of the 2016 Italian earthquake, by the Italian National Firefighters Corps, has been the development of strategies for the consolidation of the damaged built heritage. The reported study, taken from a master degree thesis, has been conducted in the framework of a cooperation established between the Politecnico's task force and the Firefighters' NIS (Nucleo Interventi Speciali – Special Interventions Core). In this experience, like many others in this book, UAV photogrammetry has proved to be an effective and efficient solution for assisting the realization of urgent technical countermeasures for seismic emergency response, improving the accuracy of the surveyed damaged built heritage and enhancing, at the same time, the safety of the involved operators.

Introduzione

Facendo seguito alle esigenze di rapida documentazione e rilievo dei danni occorsi al patrimonio costruito in seguito al sisma del 2016, si è deciso di sperimentare, nel lavoro qui riportato, un approccio *image-based* mediante un'applicazione di tecniche fotogrammetriche, con lo scopo di fornire non soltanto un supporto al rilievo dello stato in cui versano i manufatti danneggiati, ma anche per supportare il miglioramento delle condizioni, in termini di sicurezza e fattibilità operativa, in cui avvengono le operazioni di *damage assessment and management*.

Nel dettaglio il presente studio[1] ha l'obiettivo di dare indicazioni in merito all'utilizzo di sistemi UAV (*Unmanned Aerial Vehichles*) a supporto della progettazione di opere provvisionali in interventi tecnici a seguito di emergenza sismica. Lo scopo della ricerca è quello di analizzare precisioni e accuratezze ottenibili generando modelli fotogrammetrici da riprese aeree e terrestri, effettuando un'assegnazione della scala del modello basata su distanze acquisibili anche in

Figura 1. Il duomo Vecchio di San Severino Marche (ripresa da drone).

modalità diretta, misurate ai piedi del manufatto rilevato. Il motivo alla base di questa scelta metodologica è legato alla volontà di fornire, nell'ambito di una collaborazione attivata con il CNVVF (Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco), un metodo operativo, applicabile senza oneri economici nell'acquisto di ulteriore strumentazione di rilievo.
Il manufatto architettonico, costituente il caso di studio di questa ricerca, si colloca in un contesto di medio rischio, e riguarda la bifora ovest del campanile appartenente al complesso (XIII-XV sec.) del Duomo Vecchio di San Severino Marche (Figura 1), in provincia di Macerata (MC).

1. Le opere provvisionali e il supporto offerto dalle tecniche e dai metodi della Geomatica

È compito dei Vigili del Fuoco, in coordinamento con il Dipartimento della Protezione Civile, eseguire le verifiche del danno e dell'agibilità delle strutture colpite dal sisma, oltre alla messa in sicurezza del patrimonio storico e artistico danneggiato mediante la realizzazione di opportune opere provvisionali[2]. Anche se queste opere sono intrinsecamente concepite per resistere alle sollecitazioni delle scosse successive, la sicurezza degli operatori durante la loro realizzazione rappresenta un fattore cruciale.
Una strategia fondamentale per la diminuzione dei rischi operativi è la riduzione del tempo di permanenza degli operatori nelle aree pericolose; è in queste situazioni che si configura lo scenario di utilizzo di sistemi di rilievo metrico avanzato e delle tecniche di fotogrammetria da drone; tali metodologie permettono di ridurre i tempi di esposizione degli operatori ai rischi di permanenza in zone pericolose durante le operazioni di rilievo e, al contempo, fornire una precisione maggiore rispetto alle operazioni di rilievo metrico tradizionale attualmente adoperate.
L'applicazione di questi metodi andrebbe a ridurre al minimo l'intervento umano per il rilievo delle caratteristiche geometriche del manufatto, soprattutto negli scenari che richiedono lavori in quota o in contesti di sicurezza precaria (come, ad esempio, gli interventi su torri o campanili). L'adozione di tecniche di rilievo a distanza in questi contesti garantisce la massima condizione di sicurezza per gli operatori, e questo studio si pone come occasione di valutare la possibilità di implementare nuove procedure operative per la gestione di eventi futuri.

2. Acquisizione ed elaborazione dei dati

La campagna di acquisizione dati è stata condotta dal team DIRECT (DIsaster RECovery Team) del Politecnico di Torino nell'ambito del progetto che ha coinvolto l'Ateneo torinese (con la task force coordinata dal prof. Sebastiano Foti) per interventi speditivi d'emergenza finalizzati alla documentazione delle aree del Centro Italia.
Le riprese fotogrammetriche aeree sono state effettuate utilizzando un drone DJI Phantom 4 PRO, equipaggiato con sensore DJI Zenmuse X4S da 20 Megapixel. I dati raccolti sono stati integrati con alcune immagini riprese da terra con camera Nikon D800E dotata di obiettivo da 24 mm.
Seguendo il tradizionale workflow fotogrammetrico, si è proceduto inizialmente all'orientamento dei fotogrammi e alla generazione della nuvola sparsa di punti, e

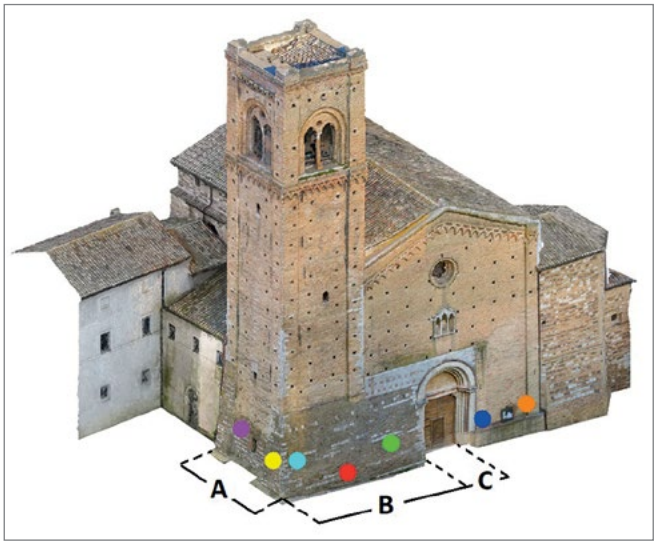

Figura 2. Modello fotogrammetrico 3D, sul quale sono evidenziate la distribuzione spaziale delle distanze utilizzate per scalare il modello fotogrammetrico (a, b e c) e dei punti di verifica utilizzati per l'analisi dei residui dopo l'allineamento della nuvola fotogrammetrica con la nuvola TLS.

ID	Grandezze misurate con bindella [m]	Grandezze misurate sul modello [m]	Residui [mm]
a	7,730	7,718	-12
b	10,760	10,772	12
c	2,430	2,412	-18
Residuo medio assoluto			14

Tabella 1. Grandezze determinate mediante bindella, misurate sul modello scalato e residui derivanti dalla differenza delle misure. La posizione delle tre distanze è illustrata in Figura 2.

successivamente alla generazione del modello 3D (nuvola densa di punti e relativo modello triangolato).
Nell'ottica di simulare una situazione emergenziale e di valutare un metodo di acquisizione rapido, economico, di facile applicazione, che riducesse al minimo la permanenza degli operatori sul campo, senza ricorrere quindi alle misure topografiche e senza compromettere per questo la qualità dei dati acquisiti, l'assegnazione della scala del modello fotogrammetrico è avvenuta applicando il metodo dei minimi quadrati su tre distanze determinate contestualmente al rilievo fotogrammetrico[3], misurate mediante bindella metrica alla base del campanile e della facciata del Duomo (Figura 2 e Tabella 1).

3. Analisi e discussione dei risultati

Con l'obiettivo di validare la qualità del modello 3D fotogrammetrico, si è deciso di confrontarlo con il modello ottenuto mediante tecnica TLS (*Terrestrial Laser Scanning*); la nuvola di punti prodotta mediante fotogrammetria è stata quindi allineata alla nuvola di punti TLS (utilizzata come *ground-truth*) effettuando una rototraslazione rigida; le due nuvole sono state allineate mediante algoritmo ICP (*Iterative Closest Points*)[4], applicato sulla totalità dei punti delle due nuvole. Successivamente è stata eseguita una verifica dell'accuratezza dell'allineamento automatico, osservando gli errori residui su 7 target della misura di 10x10 cm, precedentemente misurati per via topografica (Tabella 2). Con l'obiettivo di ricavare misure che potessero essere funzionali all'elaborazione di uno schema di progetto volto alla realizzazione di un'opera provvisionale sulla bifora ovest (Figura 3) del campanile (sbadacchiatura o controventatura), i modelli TLS e fotogrammetrico, sovrapposti, sono stati ritagliati includendo solamente la porzione oggetto dell'analisi.
A seguito di un ulteriore allineamento mediante algoritmo ICP, limitato alla porzione della bifora, è risultato un errore medio di 14 mm e una deviazione standard di 19 mm. Si è proceduto quindi al confronto C2C (*Cloud To Cloud*) dei due modelli (Figura 4).
Si può osservare come gli scostamenti tra i due modelli siano per il 60,8% inferiori a ±1 cm; in questo caso il metodo descritto può essere considerato un supporto di elevato profilo al dimensionamento delle opere provvisionali. Questo risultato è molto apprezzabile se consideriamo che la parte di modello analizzata è posizionata sul campanile, a un'altezza di 20 m da terra, cioè in una posizione piuttosto distante dai riferimenti utilizzati per l'assegnazione della scala.

Verifica sui punti	Residuo medio dei target [mm]					13		
	Deviazione standard (σ) [mm]					6		
	N° target					7		
	ID target	•	•	•	•	•	•	•
	Residui [mm]	19	16	4	4	15	14	19

Tabella 2. Residuo medio e deviazione standard sui target a seguito della verifica dell'allineamento della nuvola fotogrammetrica sulla nuvola TLS.

Figura 3. L'apertura bifora oggetto del rilievo. Immagine acquisita da drone.

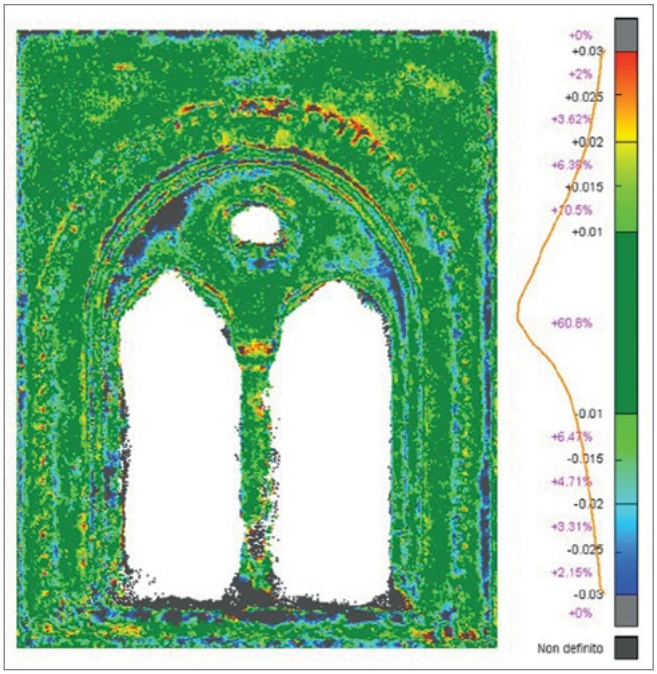

Figura 4. Confronto C2C tra le nuvole di punti generate mediante tecnica TLS e tecnica fotogrammetrica della bifora ovest del campanile del Duomo Vecchio.

Figura 5. Sequenza figurata che illustra il workflow studiato per la realizzazione di opere provvisionali con garanzia di maggior sicurezza per gli operatori VVF.

Conclusioni

L'utilizzo di tecniche di fotogrammetria digitale applicate a immagini aeree o terrestri, dato il carattere estremamente speditivo delle operazioni di rilievo e la sufficiente accuratezza ottenibile in aree o porzioni di beni architettonici poco raggiungibili, senza la necessità di misurare punti di appoggio per via topografica e nell'impossibilità operativa di effettuare misure dirette in quota, può essere utilizzata per il supporto delle attività di messa in sicurezza degli edifici da parte del CNVVF. L'implementazione programmatica della procedura descritta nelle prassi operative da applicare in scenari emergenziali (Figura 5) costituirebbe un importante miglioramento della sicurezza degli operatori, e un passo avanti verso l'uniformazione di procedure che, a causa dell'elevata eterogeneità del patrimonio architettonico storico che insiste sul nostro territorio, risultano ancora poco standardizzate.

Ringraziamenti

Questo lavoro di ricerca ha potuto beneficiare della collaborazione del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco; si ringraziano specialmente gli ingegneri Ciro Bolognese, Marco Cavriani, Emanuele Gissi e Luca Ponticelli. Un sentito ringraziamento va al Comune di San Severino Marche per la disponibilità accordataci.

Note

[1] Alessio Calantropio, *L'utilizzo dei droni per la sicurezza nei cantieri e negli interventi tecnici in emergenza sismica*, tesi di laurea magistrale in Architettura costruzione città, Politecnico di Torino, relatori Antonia Spanò, Filiberto Chiabrando, luglio 2017.

[2] Gruppo di Lavoro NCP, *Manuale. Opere Provvisionali. L'intervento tecnico urgente in emergenza sismica*, Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco – Ministero dell'Interno, Roma 2010.

[3] Thomas Luhmann, *Close range photogrammetry for industrial applications*, in «ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing», 65 (6), 2010, pp. 558-569.

[4] Paul J. Besl, Neil D. McKay, *Method for registration of 3-D shapes*, in «Sensor Fusion IV: Control Paradigms and Data Structures», vol. 1611, 1992, pp. 586-607.

BY-NC-SA