

Integrazione e validazione di immagini oblique e ad asse orizzontale da UAV per la Torre degli Smeducci a San Severino Marche

UAV oblique and horizontal image integration for the Smeducci Tower in San Severino Marche

STEFANO PERSICO, FILIBERTO CHIABRANDO, ANDREA LINGUA, GIULIA SAMMARTANO

Abstract

Stefano Persico, laureato magistrale in Ingegneria edile, Politecnico di Torino, DIATI
stefano.persico@studenti.polito.it

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

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

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

Durante i lavori di documentazione di alcuni beni architettonici condotti dal team DIRECT nelle aree del Centro Italia colpite dal sisma del 2016, nell'intervallo temporale tra il 20 ed il 24 febbraio 2017 sono stati presi in considerazione due principali monumenti di interesse storico presenti nell'area di San Severino Marche: il campanile del Duomo Vecchio e la Torre Comunale o degli Smeducci, situati sulla sommità del Monte Nero.

La torre degli Smeducci è stata analizzata più nel dettaglio in quanto la sua struttura presentava a seguito dell'evento sismico diffusi dissesti strutturali visibili sia nella parte esterna che in quella interna, dstando elevate preoccupazioni in quanto è una torre isolata e presenta una inclinazione ingente dovuta a problemi nelle fondazioni.

Alla luce delle caratteristiche della Torre, la strategia più opportuna per la documentazione e modellazione 3D della sua consistenza è risultato essere l'impiego di sistemi UAV in grado di acquisire immagini con l'asse di presa posizionato in diverse configurazioni: nadirale (verticale, con direzione ricolta verso il terreno), obliquo e perpendicolare ai fronti della Torre stessa.

During the documentation work of some architectural heritage conducted by the DIRECT team in the areas of central Italy affected by the 2016 earthquake, in the time interval between 20th and 24th February 2017, two main monuments of historical interest were taken into consideration in the San Severino Marche area: the bell tower of the Old Cathedral and the Municipal Tower, named of the Smeducci, located on the top of Monte Nero.

The Smeducci tower has been analyzed in more detail as its structure showed widespread structural instability as a result of the seismic event, both on the outside and on the inside, giving rise to high concerns as it is an isolated tower and has a significant inclination due to problems in foundations.

In light of the characteristics of the Tower, the most appropriate strategy for the documentation and 3D modeling of its consistency was the use of UAV systems capable of acquiring images with the optical axis positioned in different configurations: nadiral (vertical, with direction towards the ground), oblique and perpendicular to the fronts of the tower itself.

Introduzione

È ormai ampiamente consolidato nel campo della documentazione del patrimonio costruito l'utilizzo delle tecniche e dei metodi della Geomatica, che consentono in tempi relativamente brevi e con costi sostenibili la realizzazione di modelli 3D e tradizionali rappresentazioni architettoniche. Tali

rappresentazioni oggi sempre più consentono un'accurata analisi dello stato di conservazione del manufatto d'interesse, non solo dal punto di vista dello stato di conservazione ma anche per quel che riguarda la componente strutturale, fattore di grande importanza quando si devono valutare i danni a seguito di un sisma. Alla luce delle caratteristiche della struttura oggetto dell'analisi si è optato per un approccio *image-based* mediante l'utilizzo di tecniche fotogrammetriche. Uno degli obiettivi principali è stato quello di fornire agli attori coinvolti nel processo di conservazione della Torre gli elaborati utili alla documentazione del bene architettonico, ma anche di sperimentare e validare un metodo di acquisizione ed elaborazione dei dati che consentisse di ottenere in tempi brevi prodotti con elevato contenuto informativo e precisioni congruenti con una rappresentazione a scala architettonica (1:100-1:50; accuratezze attese comprese tra 1 e 2 cm).

In particolare, nello studio riportato di seguito verranno analizzate e valutate le caratteristiche legate al rilievo eseguito con tecnica fotogrammetrica grazie all'utilizzo di un sistema UAV multi rotore in grado di acquisire immagini a distanze molto prossime all'oggetto ripreso. Saranno infine riportate le analisi eseguite utili alla validazione dei prodotti realizzati oltre agli elaborati grafici che riguardano i quattro fronti della Torre.

1. Acquisizione ed elaborazione dei dati

Lo studio della Torre degli Smeducci¹, oggetto della campagna di acquisizione dati da parte del team DIRECT (DISaster RECOVERY Team) è stato oggetto di una tesi di laurea, ed è stato riferito come report scientifico in quanto nel periodo immediatamente successivo al sisma si sono susseguite conferenze e workshop finalizzati alla presentazione di strategie e applicazioni per migliorare le azioni preventive o di Disaster Management da parte di molti settori di analisi diversi².

Come di consueto, per la realizzazione di un rilievo metrico tridimensionale è necessario integrare diverse tecniche e metodi utili a una corretta documentazione dell'oggetto che si intende studiare. Di conseguenza per la Torre sono stati come prima cosa materializzati e misurati i vertici della rete di inquadramento realizzata con l'utilizzo di strumentazione GNSS; successivamente oltre al posizionamento e alla misura dei marker sul terreno e sui fronti del manufatto architettonico è stato eseguito il rilievo di dettaglio con tecniche *range-based* e *image-based*. Le prime hanno riguardato la misura con Laser Scanner terrestre (TLS - *Terrestrial Laser Scanning*) dell'intera area della Torre. Alla luce della geometria dell'oggetto, che si sviluppa perlopiù in altezza, sarebbe stato necessario l'impiego di una piattaforma elevatrice per completare e documentare in modo uniforme l'area oggetto della sperimentazione mediante TLS. Non potendo prevedere tale supporto e non trattandosi di una soluzione sostenibile in termini di costi e tempi nei contesti di emergenza, si è deciso di utilizzare come dati utili alla documentazione

della Torre e delle successive rappresentazioni, esclusivamente quelli provenienti dal processo fotogrammetrico che ha previsto l'utilizzo di immagini acquisite dal sistema UAV, riservandosi l'utilizzo delle misure laser come dato di confronto per la valutazione della precisione e validazione dei risultati ottenuti.

Per le acquisizioni da UAV è stato utilizzato un drone DJI Phantom 4 PRO, equipaggiato con sensore DJI Zenmuse X4S da 20 Megapixel. Per il rilievo dell'intera area della torre, le acquisizioni inclinate (45°) e nadirali sono state programmate e realizzate in automatico grazie agli appositi applicativi che hanno consentito di acquisire dati sulla torre da una quota pari a 50 m (dimensione del pixel a terra, *Ground Sampling Distance* GSD=1,93 cm) con sovrapposizioni longitudinali pari al 80% e trasversali del 70%.

Il rilievo dei fronti invece doveva consentire un livello di dettaglio maggiore utile per una rappresentazione a scala 1:50³. Per l'esecuzione dei voli in questo caso è stato necessario avvicinarsi notevolmente all'oggetto da riprendere (acquisizione eseguita a circa 20 m con GSD pari a 0,7cm). Tali voli sono stati eseguiti in modalità manuale dall'operatore controllando il più possibile la sovrapposizione tra le immagini e le strisciate adiacenti (Figura 1).

L'elaborazione dei dati è stata realizzata utilizzando il tradizionale workflow fotogrammetrico che ha previsto in sequenza: l'orientamento dei fotogrammi con la generazione della nuvola sparsa di punti, la collimazione dei Ground Control Points (GCPs) e Control Points (CPs) utili per la relativa triangolazione aerea che ha consentito di valutare la precisione del blocco fotogrammetrico ottenuto (Tabella 1).

	σ_{XYZ} [m]	RMSEXY [m]	RMSEXYZ [m]
GCPs (15)	0,005	0,009	0,017
CPs (6)	0,012	0,013	0,023

Tabella 1. Risultati relativi al processo di triangolazione aerea.

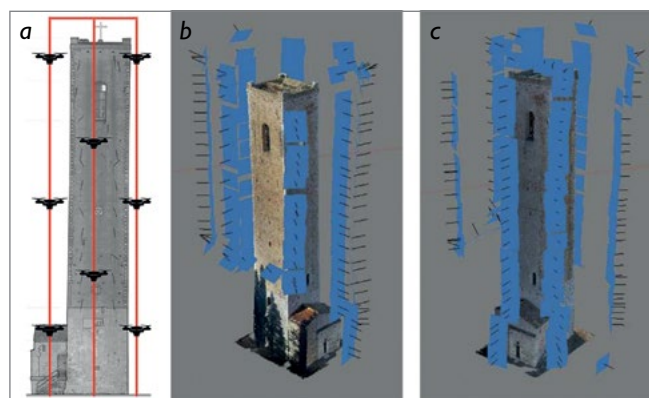


Figura 1. Rilievo fotogrammetrico dei fronti della torre: (a) schema del piano di volo eseguito; (b) visualizzazione delle immagini orientate nel software utilizzato, vista fronte sud-est; (c) vista del fronte nord-est.



Figura 2. Modello fotogrammetrico 3D: (a) nuvola sparsa; (b) nuvola densa; (c) nuvola densa dopo il processo di pulizia e riduzione rumore; (d) modello 3D texturizzato.

Successivamente è stato generato il modello 3D inizialmente attraverso la realizzazione della nuvola densa di punti e in seguito con la creazione della mesh e relativa texture fotografica (Figura 2). Infine per ciascun fronte sono state estratte le ortofoto per una corretta rappresentazione della Torre Smeducci (Figura 3).

2. Considerazioni generali e discussione sui risultati

Al termine delle operazioni di acquisizione e alla luce dei risultati ottenuti è necessario riportare alcune considerazioni sia di carattere generale che legate alle specificità dell'oggetto studiato.

Ancora una volta è confermata la grande flessibilità dei sistemi UAV per il rilievo del patrimonio costruito, che in questo caso hanno consentito un'integrazione della geometria di acquisizione che ha previsto non solo i consolidati voli nadirali e obliqui ma anche l'utilizzo di immagini riprese con asse perpendicolare ai fronti dell'oggetto del rilievo. Tale modalità è stata appositamente sperimentata per consentire la predisposizione degli elaborati finali che presentassero una congruenza geometrica e radiometrica sia nella parte bassa della Torre che in quella sommitale. Tale aspetto infatti non sarebbe stato garantito con le sole acquisizioni fotogrammetriche terrestri (*close-range*) integrate dai tradizionali voli obliqui (solitamente con asse di presa a 45°)⁴.

L'analisi dei risultati dal punto di vista metrico è stata condotta grazie all'utilizzo di dati di diversa natura quali

Densità media del modello della torre (R=20 mm)			
Nord [mm]	Sud [mm]	Est [mm]	Ovest [mm]
24	34	29	33

Tabella 2. Densità media del modello di punti della Torre degli Smeducci, in ciascuno dei fronti che la compongono.

acquisizioni eseguite con laser scanner terrestre o fotogrammetria *close-range*. A titolo esemplificativo sono riportate le analisi eseguite sulle densità della nuvola di punti generata con l'utilizzo del sistema UAV rispetto a quella rilevata con il TLS che in questo caso rappresenta un termine di confronto, anche detto *ground-truth*, e quelle relative alla precisione valutando le differenze medie tra nuvola laser e UAV.

Per valutare la densità è stata presa in considerazione la concentrazione più o meno elevata di punti (*number of neighbors*) in un intorno di raggio pari alla precisione (20 mm) della scala di rappresentazione considerata (1:100). Le differenze medie sono state invece valutate grazie ad un confronto *cloud to cloud* (sono state calcolate media e deviazione standard). Entrambe le analisi sono state eseguite grazie all'ausilio del software *Cloud Compare*: i risultati sono riportati nelle Tabelle 2 e 3.

Come si evince dai valori riportati nelle tabelle i risultati ottenuti consentono di validare la metodologia seguita per la realizzazione di elaborati grafici e modelli 3D congruenti con la scala di rappresentazione ipotizzata in fase di progetto.

Note

- ¹ Cfr. in questo volume il contributo a p. 91.
- ² Stefano Persico, *Rapid mapping multiplatforma per rilievi 3D post emergenza. Le analisi della Torre degli Smeducci a San Severino Marche*, tesi di laurea magistrale in Ingegneria edile, Politecnico di Torino, relatori Andrea Lingua, Filiberto Chiabrando, ottobre 2017. Filiberto Chiabrando, Andrea Lingua, Antonia Spanò, Stefano Persico, Raffaella Stano, *Immagini oblique acquisite da UAV per il rilevamento architettonico post-emergenza*, in *Atti della conferenza nazionale Asita*, 2017, pp. 239-246.
- ³ Cristiana Achille, Andrea Adami, Silvia Chiarini, Stefano Cremonesi, Francesco Fassi, Luigi Fregonese, Laura Taffurelli, *UAV-based photogrammetry and integrated technologies for architectural applications. Methodological strategies for the after-quake survey of vertical structures in Mantua (Italy)*, in «Sensors», 15 (7), 2015, pp. 15520-15539.
- ⁴ Irene Aicardi, Filiberto Chiabrando, Nives Grasso, Andrea Lingua, Francesca Noardo, Antonia Spanò, *UAV photogrammetry with oblique images: first analysis on data acquisition and processing*, in «International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLI-B1, 2016, pp. 835-841.

Nord		Sud		Est		Ovest	
M [mm]	σ [mm]	M [mm]	σ [mm]	M [mm]	σ [mm]	M [mm]	σ [mm]
9,4	8,8	17,1	23,0	11,4	15,2	10,1	7,5

Tabella 3. Media e deviazione standard delle comparazioni tra coppie di nuvole (TLS e fotogrammetriche) su ciascun fronte.

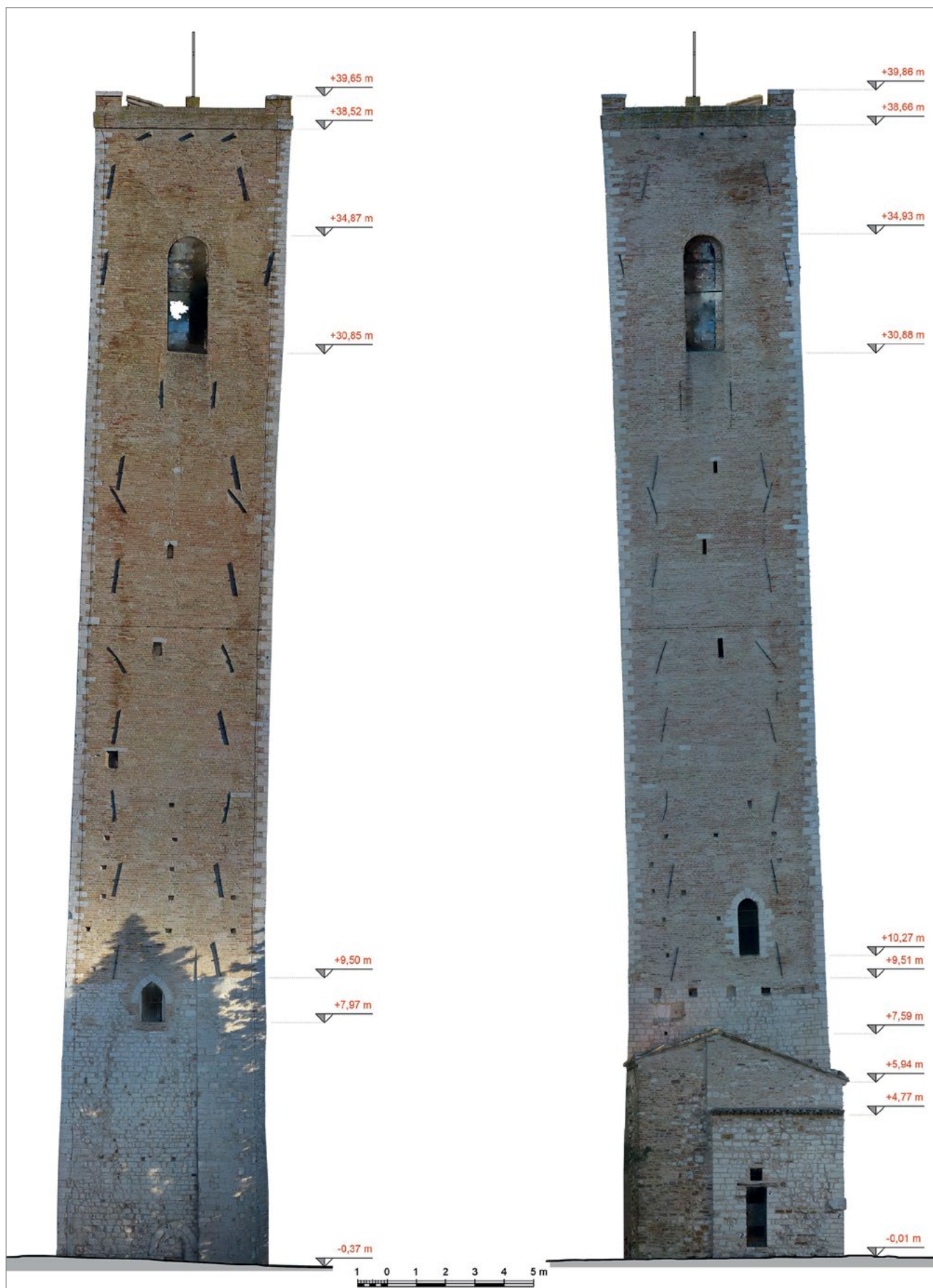


Figura 3. Prospetti ovest ed est della Torre degli Smeducci (scala originale 1:100).