

# FOTOGRAMMETRIA DA UAV PER INTEGRARE IL RILIEVO E LA DOCUMENTAZIONE DI MONUMENTI COLPITI DA SISMA

di Caterina Balletti, Francesco Guerra, Paolo Vernier



Fig. 1 - Vista interna della chiesa di San Geminiano a San Felice sul Panaro.

L'ARTICOLO DESCRIVE I RISULTATI DI UNA CAMPAGNA DI RILIEVO CONDOTTA SULLA CHIESA DI SAN GEMINIANO A SAN FELICE SUL PANARO (MODENA), QUASI COMPLETAMENTE DISTRUTTA DALLE SCOSSE SISMICHE DELL'ULTIMO TERREMOTO. QUI SONO STATI UTILIZZATI DIVERSI STRUMENTI E METODOLOGIE AL FINE DI CREARE UN SISTEMA CHE INTEGRASSE LE PIÙ RECENTI TECNICHE NEL CAMPO DELLA GEOMATICA. COME GIÀ EMERSO IN ABRUZZO, A CAUSA DELLA COMPLESSITÀ DEI CONTESTI OPERATIVI E DELLA GEOMETRIA DEGLI EDIFICI, SI È RESO NECESSARIO UTILIZZARE I METODI PIÙ MODERNI, STIMOLANDO DI CONSEGUENZA L'AVANZAMENTO DELLA RICERCA SIA NELLA FASE DI ACQUISIZIONE DEI DATI, CHE DURANTE LE SUCCESSIVE ELABORAZIONI: DIVENTA INEVITABILE INTEGRARE DIFFERENTI TECNICHE DI RILIEVO PER ARRIVARE AD UNA COMPLETA DOCUMENTAZIONE TRIDIMENSIONALE DELL'OGGETTO DI STUDIO COME, DA ALCUNI ANNI, PROPONE IL LABORATORIO DI FOTOGRAMMETRIA DELL'UNIVERSITÀ IUAV DI VENEZIA COME PARTICOLARE AMBITO DELLA RICERCA.

La diffusione sul territorio dei danni causati dalle recenti scosse sismiche ha evidenziato la necessità di registrare la posizione dei manufatti e di alcuni dettagli architettonici all'interno del tessuto urbano per facilitarne un eventuale recupero. Questi dati devono essere inglobati in un'unica e più ampia cornice, per preservare le relazioni fra le parti che costituiscono l'intera area considerata. In questo caso, il rilievo non intende solo considerare la città e le sue fabbriche, ma diventa un contenitore multi scala dove le emergenze possono essere catalogate (Buttolo *et al.*, 2011).

Nella maggior parte dei casi, gli edifici colpiti da un sisma presentano gravi danni che ne hanno modificato la forma, fino ad arrivare ad alcuni casi estremi, in cui la struttura è completamente crollata. Il rilievo, basato sull'uso di nuove strumentazioni e innovative tecniche per il rilievo e la modellazione 3D, fornisce una solida base per la conoscenza geometrica, materica e per la successiva

analisi dei degradi e dei dissesti dei manufatti.

Il caso studio della chiesa di San Geminiano a San Felice sul Panaro, quasi totalmente distrutta dal terremoto, ha permesso la messa a punto di un sistema complesso per ottenere un rilievo basato sull'integrazione di tecniche di fotogrammetria multi-immagine e laser scanning al fine di supportare un intervento di restauro e di recupero del manufatto architettonico. In particolare la fotogrammetria da UAV è una tecnica che si è sviluppata negli ultimi anni e ha trovato applicazione in diversi campi: dall'archeologia (Remondino *et al.*, 2011; Chiabrando *et al.* 2012;), fino al rilievo di aree terremotate (Baiocchi *et al.*, 2013; Dominici *et al.*, 2012).

## IL RILIEVO LASER SCANNING

La scelta di un rilievo laser scanning è stata motivata dalla necessità di definire la posizione dei manufatti nella piazza del paese, in particolare modo della chiesa di San Geminiano, ottenendo un

modello tridimensionale utile sia per la conoscenza della geometria, sia per supportare le analisi sul degrado e sui dissesti delle strutture: il comportamento di questi edifici è caratterizzato da instabilità e deformazioni che si sono sviluppate durante il corso degli anni, fortemente aggravate dalle recenti scosse sismiche. Il laser scanner, oltre a consentire di rilevare elementi architettonici anche difficilmente raggiungibili, grazie ai rapidi tempi di acquisizione che lo caratterizzano, riduce l'esposizione dell'operatore in un ambiente ad alto rischio, come parti di città colpite da terremoti. A San Felice sul Panaro è stato utilizzato il laser scanner FARO Focus 3D a differenza di fase, particolarmente adatto per veloci acquisizioni (fino a 976.000 punti al secondo) con una buona qualità ( $\pm 2$  mm in un range da 0.6 a 120 m) di informazioni tridimensionali, anche in condizioni ambientali difficili.

Le scansioni sono state acquisite con un passo angolare di  $0.035^\circ$ , in modo da

garantire l'acquisizione di un punto ogni 6 mm a 10 m di distanza, ossia con una densità adeguata alla scala 1:50. Si è realizzata una rete topografica di inquadramento per georeferenziare in un unico sistema di riferimento le scansioni eseguite nella piazza, all'esterno e all'interno della chiesa. Sono stati inoltre rilevati topograficamente 36 target per il laser e 12 per la fotogrammetria. La fase di elaborazione dei dati si è svolta usando software specifici (FARO Scene, Pointools); le 15 scansioni sono state allineate attraverso una metodologia nota come "georeferenziazione sui target" che prevede l'uso dei dati topografici acquisiti con la stazione totale. In questo modo è stata ottenuta un'unica nuvola composta da più di 450.000.000 punti.

## FOTOGRAMMETRIA DA UAV

Tuttavia il modello ottenuto mediante scansione non poteva considerarsi completo: l'impossibilità di acquisire dati metrici sulle parti sommitali degli edifici, in parti-

colar modo delle coperture, di fondamentale importanza per pianificare le prime opere di messa in sicurezza, ha condotto all'esecuzione di un rilievo fotogrammetrico da UAV. Quest'ultimo metodo risulta particolarmente utile in zone terremotate perché permette di documentare gli edifici danneggiati senza mettere a rischio la sicurezza dell'operatore e di acquisire dati di aree difficilmente raggiungibili con altri metodi.



Fig. 2 - L'esacottero della Mikrokopter utilizzato nel rilievo fotogrammetrico da UAV, fondamentale per l'integrazione dei dati laser scanning terrestri.

Il velivolo utilizzato è un esacottero della Mikrokopter, caratterizzato da un'autonomia di volo di 10-12 minuti, naturalmente variabile a seconda delle condizioni di vento e del peso del carico sollevato (max 250-300 gr). L'UAV utilizza un sensore GPS con antenna planare e una serie di sensori integrati (un accelerometro triassiale MEMS, tre giroscopi MEMS, un sensore di campo magnetico triassiale e un sensore di pressione a 12 bit) per determinarne la posizione e l'assetto in volo. Il sistema permette sia di registrare i dati di telemetria su una micro SD collocata a bordo del ve-



Fig. 3 - Il drone in fase di volo assistito sopra le macerie della chiesa.

livo sia di trasmettere alla stazione a terra la velocità di volo, la quota, la distanza dal pilota, la posizione GPS e soprattutto il livello di carica della batteria. Inoltre, è possibile trasmettere in tempo reale alla stazione a terra ciò che la fotocamera inquadra, in modo da agevolare l'operatore sia nella fase di pilotaggio, che nell'acquisizione dei fotogrammi in modalità manuale.

Sul velivolo è stata montata una Canon Powershot S100, camera compatta e leggera (198 gr) ma con una buona risoluzione (12Mpx). La fotocamera contiene un sensore CMOS 1/17" di dimensioni 7,44x5,58 mm, con pixel di 1,86 μm. Lo zoom 5x consente di ottenere una lunghezza focale equivalente variabile in un range compreso tra i 24 e i 120 mm.

Dei tre voli a quote diverse programmati, a causa delle avverse condizioni meteorologiche, ne sono stati realizzati solo 2 con *waypoint* disposti secondo un grigliato regolare in modo da coprire l'intera area della chiesa.

Per la definizione del piano di volo sono stati presi in considerazione la scala dei fotogrammi, il loro ricoprimento a terra, la lunghezza focale della camera, la sovrapposizione tra i vari fotogrammi, l'altezza del volo e la distanza tra i centri di proiezione. Grazie ai sensori di posizionamento incorporati, l'UAV può volare sia in modalità assistita che in modalità autonoma. Infatti, i *waypoint* possono essere identificati manualmente su una foto aerea georeferenziata attraverso il software di controllo del velivolo e trasmessi al drone per definire il piano di volo.



Fig. 4 - I fotogrammi sono stati acquisiti con la camera Canon Powershot S100, una camera compatta sufficientemente leggera da essere alzata in volo dall'esacottero, ma con una buona risoluzione (12Mpx).

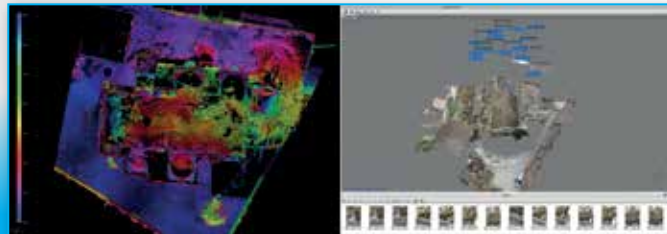


Fig. 5 - Screenshots di alcune fasi di elaborazione dei dati: a sinistra l'allineamento dei dati laser scanning, a destra il modello ottenuto in Photoscan.

L'altezza media impostata per il volo è stata di 35 metri dal suolo, fornendo così una copertura a terra del fotogramma di circa 40x50 metri e un GSD pari a circa 1 cm. La distanza tra i centri di proiezione è stata impostata a 14 metri, per avere una sovrapposizione longitudinale del 75% e una trasversale del 70%. Il veicolo ha volato seguendo il piano definito attraverso i *waypoint*, mentre dalla stazione a terra si sono controllate sia la traiettoria sia l'acquisizione delle fotografie (in totale 195 fotogrammi nadirali). Il volo attraverso i *waypoint* si è reso assolutamente necessario, poiché la conformazione dell'area da rilevare non concedeva la visibilità del drone durante l'intera acquisizione; inoltre il volo assistito è molto più gestibile rispetto al pilotaggio manuale.

#### ELABORAZIONE DEI DATI

I dati fotogrammetrici sono stati usati per integrare quelli laser scanner per ottenere un modello tridimensionale della chiesa e degli edifici vicini che fosse il più completo possibile.

Le immagini sono state elaborate con PhotoScan AgiSoft, software multi-immagine che permette l'orientamento di blocchi fotogrammetrici in cui la geometria delle prese può non essere quella canonica della fotogrammetria aerea organizzata in strisciate, purché vi sia un'adeguata sovrapposizione tra i fotogrammi

per l'identificazione dei punti omologhi (AgiSoft, 2013).

Questo software, diversamente da altri in commercio, consente l'orientamento del modello in un sistema di riferimento noto. Infatti, è possibile posizionare alcuni *marker* sul modello 3D, o sui singoli fotogrammi, assegnandovi coordinate X, Y, Z note.

In questo caso, per l'orientamento dei fotogrammi, sette *target* sono stati collimati manualmente sulle fotografie e a essi sono state poi assegnate le coordinate ottenute dal rilievo topografico. In questo modo, i punti sono stati utilizzati come punti di appoggio per la risoluzione del bundle adjustment. Al termine del processo è stata ottenuta una *mesh* di 5 milioni di poligoni ed una nuvola di punti densa di 29 milioni di punti.

La precisione del risultato ottenuto è stata verificata sulle coordinate di alcuni punti topografici non utilizzati nella fase di orientamento, ma usati come *checkpoint*. Lo scostamento massimo in modulo è di 0.014 m in quota. Di questi dati è stato calcolato anche il relativo RMSx (0.006 m), RMSy (0.005), RMSz (0.01).

Alla fine del procedimento, la nuvola di punti fotogrammetrica, opportunamente orientata sul sistema di riferimento topografico, è stata unita alle nuvole acquisite dal laser, in modo da ottenere una copertura quasi totale dell'area e dell'edificio oggetto di studio.





Fig. 6 - Vista della nuvola di punti rilevata con il laser FARO Focus 3D (a sinistra), e del modello finale ottenuto integrando i dati terrestri con quelli da UAV.



Fig. 8 - Il rilievo ha permesso di realizzare un modello 3d dello stato attuale della chiesa fondamentale sia nello studio dei nodi strutturali rimasti che per la progettazione di opere provvisorie di copertura.



Fig. 7 - Dai dati rilevati si sono ricavati sia le ortofoto che i profili orizzontali e verticali per la realizzazione di elaborati grafici, punto di partenza per le successive analisi in ambito conservativo.

Il risultato ottenuto è adatto per una rappresentazione alla scala nominale 1:50 e costituirà il punto di partenza per le successive analisi in ambito conservativo.

### CONCLUSIONI

Il procedimento metodologico descritto in questo articolo rappresenta una soluzione alternativa alle problematiche che intercorrono nei rilievi di aree colpite da terremoti. Per questo progetto, gli strumenti normalmente utilizzati in geomatica, come il laser scanner e la stazione totale, sono stati affiancati da nuovi sistemi (fotogrammetria multi-immagine da UAV) al fine di ottenere un modello 3D completo. L'uso di sistemi quali l'UAV e il dense stereo matching risultano molto efficaci e risolvono i problemi che intercorrono nei rilievi di aree sensibili e complesse.

Come noto, gli algoritmi multi-immagine, implementati in diversi software *Structure from Motion*, come appunto PhotoScan, permettono all'utente di ottenere una nuvola di punti ad alta risoluzione da un set di fotogrammi di partenza con una distribuzione non "canonica" delle prese. Queste nuvole di punti, anche se più rumorose rispetto a quelle ottenute dal laser scanner, risultano molto utili, fornendo informazioni aggiuntive

e spesso fondamentali per la conoscenza geometrica completa dei manufatti.

L'elaborazione dei dati acquisiti ha messo in risalto alcune problematiche relative al controllo metrico del modello finale: Photoscan fornisce, infatti, solamente l'indicazione degli errori ri-

guardanti i punti usati per l'orientamento, ma non dà nessuna informazione sulla accuratezza geometrica dell'intero modello.

Questa ricerca sottolinea, ancora una volta, la necessità del controllo di tutte le operazioni di rilievo, che può essere garantito solo attraverso una rete topografica. Quest'ultima rappresenta, infatti, l'ossatura del rilievo, grazie alla quale le nuvole di punti, rispettivamente ottenute dal laser scanner e dalla fotogrammetria da UAV, vengono integrate e georeferenziate nello stesso sistema di riferimento.

I dati ottenuti sono stati utilizzati dal gruppo di lavoro che sovrintende i lavori di recupero e conservazione della Chiesa di San Geminiano per diversi scopi. Prima di tutto, grazie al DEM realizza-

to è stato possibile calcolare il volume delle macerie all'interno della chiesa, che si è dimostrato valido supporto per la loro rimozione. Il volume è calcolato tra un piano inferiore a livello Z costante e una superficie ottenuta interpolando i dati del laser scanner secondo una griglia di 5x5 cm. Inoltre, i dati ottenuti saranno utilizzati per valutare l'eventuale reazione delle strutture una volta che le macerie saranno rimosse. Infine, anche la sola documentazione fotografica acquisita da UAV si è rivelata essenziale per le prime fasi di messa in sicurezza delle due cappelle laterali della chiesa, che dovevano essere coperte per evitare ulteriori danni causati dall'esposizione agli agenti atmosferici.

### BIBLIOGRAFIA

- Ballarin, M., Buttolo, V., Guerra, F., and Vernier, P. (2013), Integrated surveying techniques for sensitive areas: San Felice sul Panaro. *ISPRS Annals Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, II-5/W1, 19-24
- Baiocchi, V., Dominici, D., Mormile, M. (2013), UAV application in post-seismic environment. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-1/W2, 21-25.
- Buttolo, V., Geremia, E., Guerra, F. (2011), Rilievo Laser Scanning e Analisi dei dati di facciate colpite dal sisma. *Proceedings of V-Earth Sim, Virtual Earth Simulation*.
- Chiabrando, F., Lingua, A., Maschio, P., Rinaudo, F., Spanò, A. (2012), Mezzi aerei non convenzionali a volo autonomo per il rilievo fotogrammetrico in ambito archeologico. In: *Una giornata informale per i 70 anni del Prof. Carlo Monti - 3 Maggio 2012*, Politecnico di Milano, Milano, pp. 1-12.
- Dominici, D., Baiocchi, V., Zavino, A., Alicandro, M., Elaiopoulos, M. (2012), Micro UAV for post seismic hazards surveying in old city center of L'Aquila. *FIG Working Week 2012 "Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage"*, Rome, Italy.
- Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., Sarazzi, D., 2011, UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling - current status and future perspectives. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XXXVIII-1/C22, 25-31.
- Laboratorio di Fotogrammetria, Sistema dei Laboratori, Università IUAV di Venezia, Santa Croce 191, 30135 Venezia

### PAROLE CHIAVE

FOTOGRAMMETRIA DIGITALE; UAV; LASER SCANNER; NUVOLA DI PUNTI; TERREMOTO

### ABSTRACT

The aim of this article is to focus on the application of new technologies and methodologies in delicate contexts such as areas stroke by earthquakes. This article describes the first results of a survey campaign on the Church of San Geminiano in San Felice sul Panaro (Modena) that was almost completely destroyed by the last earthquake. In this case, different tools and methodologies have been used in order to create an integrated system of all the most recent technologies used in Geomatics.

Often, due to the complexity of contexts and the buildings' geometry it is necessary to use the most recent structural techniques, encouraging research both during data collection and during further elaboration processes. It is indeed necessary to integrate different survey techniques in order to obtain a complete documentation of the object studied, as the Laboratorio di Fotogrammetria of the Università IUAV di Venezia has been doing for the last years, as a specific area of research.

### AUTORI

CATERINA BALLETTI, BALLETTI@IUAV.IT - FRANCESCO GUERRA, GUERRA2@IUAV.IT - PAOLO VERNIER, VERNIER@IUAV.IT

IL LAVORO PRESENTATO È STATO REALIZZATO IN COLLABORAZIONE CON:  
MARTINA BALLARIN, VALENTINA BUTTOLO, CLAUDIA CASSAI, DANIELE MANZATO, SILVIA MANDER, LUCA PILOT  
SISTEMA DEI LABORATORI - LABORATORIO DI FOTOGRAMMETRIA - UNIVERSITÀ IUAV DI VENEZIA

# ROMA DRONE

## EXPO & SHOW

[www.romadrone.it](http://www.romadrone.it)



**IL PRIMO SALONE  
AERONAUTICO  
SUI DRONI IN ITALIA**

**24-25 Maggio 2014**  
**Roma**  
Stadio Alfredo Berra  
Via G. Veratti



[idea.idea.it](http://idea.idea.it)

**Stand espositivi • Workshop • Mostra statica • Esibizioni in volo**  
Aziende • Università • Istituzioni • Servizi • Associazioni

promosso da



organizzato da



con la collaborazione di



con il patrocinio di

