

# Confronto fra fotogrammetria aerea e terrestre per la mappatura 3D di un fronte di frana

Ettore Potente <sup>(a)</sup>, Cosimo Cagnazzo <sup>(a)</sup>  
Alessandro Deodati <sup>(b)</sup> Giuseppe Mastronuzzi <sup>(a)</sup>

<sup>(a)</sup> Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali, Università degli Studi di Bari,  
via Orabona, 4 - Bari, e-mail: etto.potent@uniba.it

<sup>(b)</sup> Niteko S.r.l., via degli Ulivi 7/A - Montemesola (TA),  
e-mail: alessandro.deodati@niteko.com

## Introduzione

Il 25 gennaio 2019, nel comune lucano di Pomarico (MT) ha avuto luogo un movimento franoso che ha interessato i depositi sabbiosi del versante occidentale del centro storico del paese, mettendo a nudo la struttura portante di corso Vittorio Emanuele. Il fenomeno è proseguito nei successivi giorni fino a causare, nel pomeriggio del 29 gennaio 2019, il collasso del piano stradale ed il crollo totale o parziale di alcuni edifici del centro abitato, che erano stati preventivamente evacuati. Sono stati effettuati 35 sgomberi per un totale di 58 persone evacuate. La frana ha un fronte di circa 110 metri e l'accumulo di materiale si estende verso valle fino ad oltre 500 metri di distanza.



*Figura 1 – Vista del fronte di frana di Pomarico (MT) due giorni dopo l'evento franoso. Son visibili i detriti derivanti dai crolli degli edifici e del piano stradale.*

Mappare le aree affette da eventi parossistici (come frane, terremoti, alluvioni) usando l'approccio tradizionale è parte della procedura standard di questo genere di studi, tuttavia ci sono casi frequenti in cui la procedura tradizionale

incontra delle difficoltà dovute a diversi fattori: le dimensioni della frana (spesso troppo grande per essere monitorata accuratamente); il punto di osservazione (spesso non adatto ad osservare tutta l'area interessata con lo stesso dettaglio); la forte influenza di fattori a terra (folta vegetazione, processi erosivi, attività antropiche). Per questi motivi, un'acquisizione in remoto ed un punto di vista d'insieme su un'area ampia e potenzialmente pericolosa può garantire sia la sicurezza degli operatori che un risultato più completo ed accurato.

Il *remote sensing* offre molti vantaggi in situazioni di emergenza in aree ampie, nelle quali inizialmente le immagini in alta risoluzione da satellite sono molto utili per individuare rapidamente quali sono le strutture maggiormente danneggiate. Per un rilievo completo e più dettagliato delle strutture e delle infrastrutture, utile per la successiva fase di ricostruzione, la fotogrammetria da UAV (*unmanned aerial vehicle*) è la più indicata (Xu et al. 2014) e risulta molto efficace anche quando si tratta di monitorare aree in frana (Turner et al., 2015). La fotogrammetria è un modo efficace per ottenere dati in ambiente urbano ad ampia scala. Le tecniche fotogrammetriche usano immagini 2D per creare modelli tridimensionali. Le immagini terrestri sono quelle più facilmente collezionabili, e sebbene queste contengano molte informazioni sugli oggetti presenti al suolo, sulla vegetazione e grande dettaglio sulle facciate degli edifici, mancano delle informazioni sui tetti degli edifici e gli ostacoli ne limitano la profondità, che rende difficile la ricostruzione di aree troppo estese. L'algoritmo *Structure from Motion* (SfM), introdotto nella Computer Vision a metà degli anni '90, permette l'estrazione automatica della geometria della scena, della posizione della camera, dei parametri dell'orientazione interna ed esterna, effettuando un *bundle adjustment* iterativo (Triggs et al. 2000) su una sequenza di immagini (approccio multi-immagine). I principi del workflow dello SfM sono stati descritti da (Snavely et al. 2008; Snavely 2011), e (Westoby et al. 2012). In tempi recenti sono state sviluppate soluzioni open source come MicMac (Rupnik et al., 2017; Remondino et al., 2012) che rendono il processamento dei dati accessibile a tutti a basso costo.

## Materiali e metodi

Nel comune di Pomarico è stata predisposta una campagna fotogrammetrica aerea e terrestre, con l'obiettivo primario di mappare il fronte di frana e gli edifici a ridosso di esso.

Sono stati eseguiti diversi voli test con UAV con diverse configurazioni per raggiungere una mappa ad alta risoluzione dell'area di studio attraverso la produzione di ortofoto con risoluzione spaziale sub-decimetrica. La mappatura è stata effettuata con voli a quote diverse per ottimizzare i piani di volo sull'area di interesse. In seguito, con l'utilizzo di un drone DJI Inspire 2 equipaggiato con DJI Zenmuse x5s da 20 MP, sono stati effettuati quattro voli a bassa quota (20 m e 25 m), per acquisire immagini ad alta risoluzione: un volo nadirale e tre con camera inclinata (45°) per migliorare le informazioni sull'altezza degli oggetti nella scena, ottenendo in tutto 590 immagini.

Parallelamente sono state ottenute immagini terrestri ad alta risoluzione, acquisite in remoto con l'ausilio di un UTV (*unmanned terrestrial vehicle*) appositamente progettato ed equipaggiato con una camera Sony Alpha6000L



con risoluzione 24.3 MP. Più in dettaglio, l'area di interesse è stata suddivisa in 4 segmenti percorribili lungo i quali sono state collezionate 820 foto. È il caso di sottolineare che fotografare gli edifici a distanza ravvicinata, sia per esigenze di dettaglio che per esigui spazi di manovra disponibili, ha reso impossibile acquisire informazioni sugli edifici più alti, perché la vista di una buona percentuale delle facciate degli stessi era ostacolata dalla presenza di balconi. Inoltre il setting specifico della camera utilizzata era stato pensato per scattare foto ad una distanza di 3 metri, quindi con un FOV (*field of view*) di 3,9 m x 2,5 m. Ciò può causare difficoltà nel matching delle immagini, poiché in un range così limitato possono mancare, nelle immagini, quei dettagli che rendono possibile il riconoscimento e l'accoppiamento delle immagini contigue, specie in caso di superfici molto regolari.

Dopo il controllo di qualità, le immagini sono state pre-elaborate, per ottimizzare la gamma cromatica, e successivamente processate con la tecnica SfM attraverso l'utilizzo della suite software modulare open source MicMac (*Multi-Images Correspondances Méthodes Automatiques de Corrélation*) all'interno della quale è stata condotta l'operazione di georeferenziazione.

## Risultati

È stata ottenuta l'ortofoto aggiornata dell'area interessata dai crolli ed il modello 3D del fronte di frana. Sono stati ottenuti i singoli modelli 3D ad alta risoluzione degli edifici danneggiati, con la ricostruzione delle geometrie degli accumuli di materiale derivante dai crolli degli stessi e la distribuzione generale dei detriti sulla porzione superiore del versante interessato dal movimento franoso.



*Figura 2 – Dettagli dei prodotti ottenuti. In alto a sinistra: dettaglio del modello 3D degli edifici che insistono sul fronte di frana; in basso a sinistra: dettaglio della nuvola densa di punti degli edifici; a destra: dettaglio dell'ortofoto.*

È stato fatto un confronto fra modelli elaborati con dataset aerei e modelli elaborati con dataset terrestri. È stata misurata la lunghezza di 11 oggetti di dimensioni metriche e la lunghezza di 11 oggetti di dimensioni decimetriche all'interno dei modelli 3D ottenuti da fotogrammetria aerea (LA) e terrestre

(LT). Queste lunghezze sono state confrontate con le dimensioni degli oggetti misurate del mondo reale (LR), al fine di ottenere un confronto sull'accuratezza ed affidabilità del dato, come illustrato nelle tabelle.

ID oggetto	LT lunghezza misurata da UTV	LA lunghezza misurata da UAV	LR lunghezza nel mondo reale	LR-LT	LR-LA
ΘM01	2,34 m	2,22 m	2,08 m	0,26 m	0,14 m
ΘM02	2,14 m	2,02 m	2,02 m	0,12 m	0 m
ΘM03	3,11 m	3,04 m	3 m	0,11 m	0,04 m
ΘM04	1,78 m	1,86 m	1,8 m	0,02 m	0,06 m
ΘM05	6,62 m	6,69 m	6,62 m	0 m	0,07 m
ΘM06	2,02 m	2,07 m	1,97 m	0,05 m	0,1 m
ΘM07	1,49 m	1,46 m	1,47 m	0,02 m	0,01 m
ΘM08	4,67 m	4,65 m	4,6 m	0,07 m	0,05 m
ΘM09	1,13 m	1,16 m	1,1 m	0,03 m	0,06 m
ΘM10	1,93 m	2 m	1,98 m	0,05 m	0,02 m
ΘM11	4,77 m	4,7 m	4,75 m	0,02 m	0,05 m
<b>RMS</b>				<b>0,068 m</b>	<b>0,054 m</b>

*Figura 3 – Tabella con misure calcolate e reali degli oggetti metrici*

ID oggetto	LT lunghezza misurata da UTV	LA lunghezza misurata da UAV	LR lunghezza nel mondo reale	LR-LT	LR-LA
ΘD01	0,46 m	0,41 m	0,43 m	0,03 m	0,02 m
ΘD02	0,49 m	0,46 m	0,44 m	0,05 m	0,02 m
ΘD03	0,66 m	0,64 m	0,47 m	0,19 m	0,17 m
ΘD04	0,37 m	0,33 m	0,36 m	0,01 m	0,03 m
ΘD05	0,32 m	0,31 m	0,3 m	0,02 m	0,01 m
ΘD06	0,13 m	0,2 m	0,1 m	0,03 m	0,1 m
ΘD07	0,27 m	0,17 m	0,21 m	0,06 m	0,04 m
ΘD08	0,4 m	0,44 m	0,42 m	0,02 m	0,02 m
ΘD09	0,24 m	0,26 m	0,2 m	0,04 m	0,06 m
ΘD10	0,22 m	0,23 m	0,17 m	0,05 m	0,06 m
ΘD11	0,28 m	0,3 m	0,28 m	0 m	0,02 m
<b>RMS</b>				<b>0,045</b>	<b>0,05</b>

*Figura 4 – Tabella con misure calcolate e reali degli oggetti decimetrici*

## Conclusioni

All'interno dello scenario di un fronte di frana nel comune di Pomarico, sono stati utilizzati un UAV ed un UTV, equipaggiati con fotocamere per collezionare immagini ad alta risoluzione, operando 4 voli con il drone e percorrendo quattro segmenti con il rover terrestre. Le immagini aeree e terrestri sono state processate indipendentemente con la tecnica Structure-from-Motion, secondo un workflow interamente open source, ed hanno restituito prodotti 2D (ortofoto) e 3D (modelli del fronte di frana, modelli degli edifici danneggiati). È stato operato un confronto di precisione fra fotogrammetria aerea e terrestre, misurando dimensioni di oggetti nel mondo reale e confrontandole con quelle misurate sui modelli ottenuti da UAV ed UTV.

In entrambi i casi è stata ottenuta una precisione sub-decimetrica, soddisfacente in relazione agli scopi, alle tecnologie ed alle metodologie utilizzate, che configura la possibilità di operare totalmente in remoto in scenari ad alto rischio, senza esporre vite umane a rischio di perdita. Se da un lato l'uso ormai comune di UAV in operazioni di mappatura risulta molto speditivo ed economico, dall'altro patisce la mancanza di dati terrestri che fungano da supporto e da integrazione. Le acquisizioni terrestri da UTV, d'altro

canto, sono limitate dal FOV della camera utilizzata e condizionate dai fattori a terra in termini di altezza e profondità di visuale, pertanto necessitano di essere integrate con immagini aeree. Queste possibilità non escludono la necessità di una pianificazione ad-hoc delle acquisizioni, in base all'estensione e configurazione dello scenario in cui ci si trova ad operare, nonché dell'accuratezza richiesta. Ciò implica di volta in volta l'applicazione di metodologie diverse, che dovranno essere in ogni caso guidate dalla necessità di ottimizzare i tempi minimizzando il numero ed i costi delle acquisizioni, senza inficiare l'accuratezza del dato rilevato.

Si ricorda infine che il presente lavoro si colloca nell'ambito di un progetto di ricerca industriale in itinere, in collaborazione fra l'Università degli Studi di Bari, Niteko S.r.l e l'Università di Mainz, che mira ad utilizzare le nuove tecnologie per sviluppare metodologie a basso costo in grado di offrire un contributo alla mappatura 3D del paesaggio naturale ed antropico.

### **Bibliografia**

- Rupnik et al. (2017), "MicMac - a free, open-source solution for photogrammetry", Open Geospatial Data, Software and Standard
- Turner et al. (2015), "Time series analysis of landslide dynamics using an unmanned aerial vehicle (UAV)", Remote Sens, 7, 1736-1757
- Xu et al. (2014), "Development of an UAS for post-earthquake disaster surveying and its application in Ms 7.0 Lushan Earthquake, Sichuan, China", Comput Geosci 68:22-30
- Remondino et al. (2012), "Low-cost and open-source solutions for automated image orientation - a critical overview" Progress in Cultural Heritage Preservation, Lecture Notes in Computer Science, 7616, Springer, Berlin Heidelberg, pp. 40-54
- Westoby MJ et al. (2012), "Structure-from-motion photogrammetry: a low-cost, effective tool for geoscience applications. Geomorphology 179:300-314
- Snavely N. (2011), "Scene reconstruction and visualization from internet photo collections: a survey", IPSJ Trans Comput Vis Appl 3:44-66
- Snavely N. et al. (2008), "Modeling the world from internet photo collections", Int J Comput Vis 80:189-210
- Triggs B. et al. (2000), "Bundle adjustment - a modern synthesis", Lecture Notes in Computer Science, pp. 298-372

