

Fotogrammetria digitale e sistemi UAV: applicazioni al monitoraggio ambientale

Grazia Tucci (*), Valentina Bonora (*), Armagan Gulec Korumaz (*), Simone Orlandini (**)

(*) Laboratorio GeCo, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Firenze,
tel. 055.2756587, grazia.tucci@unifi.it

(**) Microgeo s.r.l., tel. 055-8954766, info@microgeo.it

Riassunto

GeCo|HUB (laboratorio congiunto dell'Università di Firenze, con Leica Geosystems s.p.a e Microgeo s.r.l.) ha recentemente realizzato rilievi in diversi contesti ambientali utilizzando riprese fotografiche scattate da drone. I sistemi UAV impiegati sono sia ad ala fissa che ad ala mobile; le diverse finalità dei rilievi hanno permesso di definire, di volta in volta, procedure di elaborazione dei dati ottimizzate: l'applicazione a casi reali ha consentito di valutare potenzialità e punti deboli dei diversi sistemi in relazione alle caratteristiche degli oggetti di studio.

Abstract

GeCo|HUB (Joint Laboratory between University of Florence, Leica Geosystems spa and Microgeo Ltd.) has recently carried out surveys in different environmental contexts, using photos taken by drones. The UAV systems used are both fixed-wing and multi-rotor; different purposes of the surveys define, from time to time, procedures for optimizing data processing and allow to evaluate potential and weaknesses of various systems in relation to the characteristics of the objects of study.

Introduzione

GeCo|HUB (laboratorio congiunto dell'Università di Firenze, con Leica Geosystems s.p.a e Microgeo s.r.l.) ha recentemente realizzato rilievi in diversi contesti ambientali utilizzando riprese fotografiche scattate da drone. Il monitoraggio del territorio e delle infrastrutture che vi insistono, la documentazione di aree urbane o di aree ricoperte da vegetazione, il rilievo di cave e di aree archeologiche, ecc. si avvalgono proficuamente di immagini acquisite da posizioni nadirali o pseudo-nadirali, e caratterizzate da una elevata scala del fotogramma.

I sistemi UAV impiegati sono sia ad ala fissa che ad ala mobile; le diverse finalità dei rilievi hanno permesso di ottimizzare, di volta in volta, le procedure di elaborazione dei dati: l'applicazione a casi reali ha consentito di valutare potenzialità e punti deboli dei diversi sistemi in relazione alle caratteristiche degli oggetti di studio.

Per elaborare modelli 3D è necessario conoscere i parametri di orientamento interno ed esterno della camera. Determinare la posizione e l'assetto delle prese con metodi diretti è al momento difficile e oneroso (Verhoeven 2013), pertanto si preferisce calcolare l'orientamento relativo in modo automatico, facendo riferimento alle sole immagini (Barazzetti et al. 2009). Per ottenere però delle dimensioni reali e un sistema di riferimento predefinito è necessario ricorrere a punti di controllo per l'orientamento assoluto. In tutti i progetti elaborati la misura di alcuni punti di controllo, oltre ai punti di appoggio utilizzati per gli orientamenti, ha consentito valutazioni sulle accuratezze raggiunte e il controllo di eventuali deformazioni del modello.

L'elaborazione di modelli densi di punti avviene utilizzando tecniche di matching tra coppie di immagini o multi-immagine.

Area di studio

Obiettivo del progetto qui illustrato è fornire la documentazione metrica necessaria per effettuare elaborazioni geomeccaniche dettagliate di stabilità (in collaborazione con prof. Carlo Alberto Garzonio, direttore del LAM - Dipartimento di Scienze della Terra, UniFi) della Cava Grigia di Monsummano Terme (Pistoia) (Figura 1). Si tratta di una cava dismessa, all'interno di una proprietà privata, oggi impropriamente utilizzata da rocciatori. La parete infatti presenta, in alcune parti, significativi problemi di stabilità che hanno già causato alcuni incidenti, anche tragici. E' stato pertanto stipulato un accordo tra C.A.I., Proprietà delle Cave, Comune di Monsummano Terme, coinvolgendo anche i Comitati direttivi regionali e la commissione Interregionale Scuole di Alpinismo, sciaplinismo e arrampicata libera della Toscana ed Emilia Romagna e l'Università degli Studi di Firenze, per la messa in sicurezza della parete, al fine di consentirne successivamente la fruizione come palestra di roccia.



Figura 1 – Cava Grigia di Monsummano (Pistoia).

Strumenti e metodi

Considerata la conformazione della cava, la cui parete si presenta con forma concava e andamento quasi verticale, è stato scelto di utilizzare un drone ad ala mobile per le riprese fotografiche. L'ottocottero AeroMax600 (Microgeo) monta una camera compatta (Canon PowerShot S100), oltre a GPS e piattaforma IMU. La camera è installata su un supporto basculante controllato dall'operatore, in modo da consentire sia riprese pseudo-nadirali che con orientamento diverso: il sistema è stato infatti pilotato per acquisire una serie di immagini pseudo-ortogonali rispetto alla parete e altre prese del terreno immediatamente antistante la cava. Durante la campagna di rilievo sono state realizzate delle misure topografiche di punti di controllo, posizionati sulla parete rocciosa con l'aiuto di rocciatori esperti del CAI, sezione di Firenze.



Figure 2 e 3 – Il posizionamento dei punti di appoggio sulla parete è avvenuto con l'aiuto di rocciatori esperti del CAI (a sinistra); il rilievo fotogrammetrico è stato realizzato con immagini scattate da un ottocottero AeroMax600 (a destra).

Un primo test è stato effettuato orientando un blocco di 70 foto pseudo-ortogonali rispetto alla parete e uno di 11 immagini nadirali al terreno, nella zona antistante la cava. Alcuni dei punti misurati topograficamente sono stati impiegati per l'orientamento del modello, mentre altri *check point* hanno consentito la valutazione dell'accuratezza della ricostruzione 3D.

Contestualmente alle prese è stato realizzato un rilievo laser scanner (LMS-Z420i, Riegl) del fronte di cava, orientato in modo indipendente nello stesso sistema di riferimento adottato per il rilievo fotogrammetrico. La risoluzione adottata è di un punto ogni 2-5 cm.

Workflow di lavoro

Le operazioni di lavoro sul campo e le elaborazioni successive sono sintetizzate di seguito; le prime hanno impegnato una squadra di sei operatori per una giornata, mentre le elaborazioni sono ancora in corso. Il carattere multidisciplinare del progetto prevede la stretta collaborazione tra rilevatori e geologi, il cui supporto interviene sia in fase iniziale, per la individuazione delle zone di maggiore interesse, sia in fase finale con la realizzazione delle analisi geo-meccaniche.

Progettazione del rilievo

Definizione degli obiettivi, in particolare in merito a risoluzione e accuratezza, area di interesse.

Pianificazione delle acquisizioni

Scelta del sistema UAV, parametri di volo, modalità di pilotaggio; inquadramento topografico e misura di punti di appoggio e di controllo; definizione delle postazioni di scansione e settaggi dello scanner.

Verifica dei dati

Compensazione della rete di inquadramento topografico, analisi dei residui; selezione di punti di controllo. Verifica della qualità delle immagini e della copertura fotogrammetrica. Validazione rilievo fotogrammetrico con scansioni 3D.

Elaborazione dei dati

Calcolo degli orientamenti e referenziazione dei modelli.

Prodotti

DSM, ortoimmagini, profili sezione, modelli 3D, ecc.

Confronto tra rilievo fotogrammetrico e laser scanner

Le scansioni 3D sono state realizzate da due postazioni differenti, entrambe collocate alla base della cava; a causa della conformazione dello spazio antistante non è stato possibile realizzare ulteriori

acquisizioni da postazioni più elevate. Il modello di punti ottenuto è quindi completamente mancante della parte alta della cava; presenta significative lacune nelle porzioni superiori dei blocchi sporgenti e nelle aree coperte da cespugli; ha una risoluzione ovviamente più elevata nella parte inferiore rispetto a quella superiore, situata a una distanza di acquisizione maggiore rispetto allo scanner.

Il confronto tra i due set di dati (modello mesh derivato dal rilievo fotogrammetrico e modello di punti da laser scanner) evidenzia una sostanziale corrispondenza tra i modelli, se si considera la sola parete rocciosa, con scarti di pochi centimetri. Le differenze significative evidenziate in rosso in Figura 4 sono relative alla vegetazione a cespugli, che è stata “obliterata” nel modello fotogrammetrico dall’applicazione di un filtro di *smoothing* L’effetto del filtraggio comporta anche una rappresentazione meno dettagliata delle discontinuità rocciose (Figura 5) rispetto a quanto è possibile interpretare osservando le scansioni.

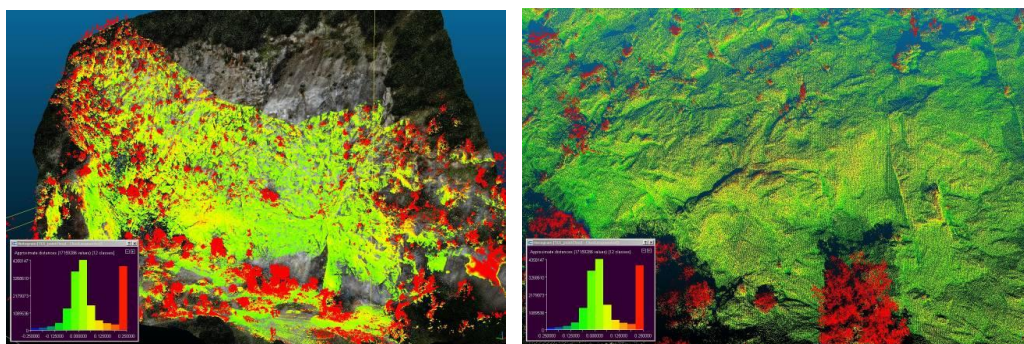


Figure 4 e 5 – Confronto tra il modello di punti ottenuto dal rilievo fotogrammetrico (texturizzato nell’immagine di sinistra) e le scansioni terrestri (in falsi colori, corrispondenti alle distanze dal modello precedente).

Modelli 3D ad alta risoluzione per il rilievo geomeccanico

La ricostruzione della geometria tridimensionale è il primo passo fondamentale per le indagini geomeccaniche: il comportamento meccanico globale di una massa rocciosa dipende dalle proprietà della roccia intatta, dalla sua struttura, dalle caratteristiche di discontinuità.

Il rilievo geo-meccanico tradizionale richiede l’accesso diretto alle pareti da studiare (Priest 1993); i sistemi di remote sensing come la scansione laser o la fotogrammetria digitale permettono di realizzare gli studi relativi alla morfologia della parete su un suo modello ad alta risoluzione invece che in situ, con evidenti vantaggi in termini di comodità, tempi e, non trascurabile, sicurezza. Orientamenti e dimensione dei blocchi possono essere definiti analizzando il modello, come pure l’individuazione della forma e il posizionamento e il dimensionamento di discontinuità. Questo approccio è stato seguito per l’elaborazione dei dati rilevati con scansione da terra della parete rocciosa sottostante la Rocca Silvana, a Castell’Azzara (Grosseto). Il modello di punti, in quel caso, è stato triangolato e segmentato in base alle zone ritenute significative da analizzare; sulla mesh è stato quindi definito un modello wireframe schematizzato per sintetizzare le caratteristiche morfologiche della parete e fornire un dimensionamento di massima dei suoi elementi ai geologi incaricati dell’analisi di stabilità (Figura 6).

Risultati preliminari e proseguimento del progetto

Dell’area di studio sono stati realizzati un modello di superficie ad alta risoluzione e ortofoto sia su un piano di proiezione orizzontale che su uno verticale (Figure 7 e 8).

Recentemente sono stati proposti diversi sistemi semi-automatici per estrarre dati di interesse strutturale da modelli ad alta risoluzione ottenuti con laser scanner o fotogrammetria (Gigli 2011, Birch 2006, Dolan 2006, Sturzenegger 2011).

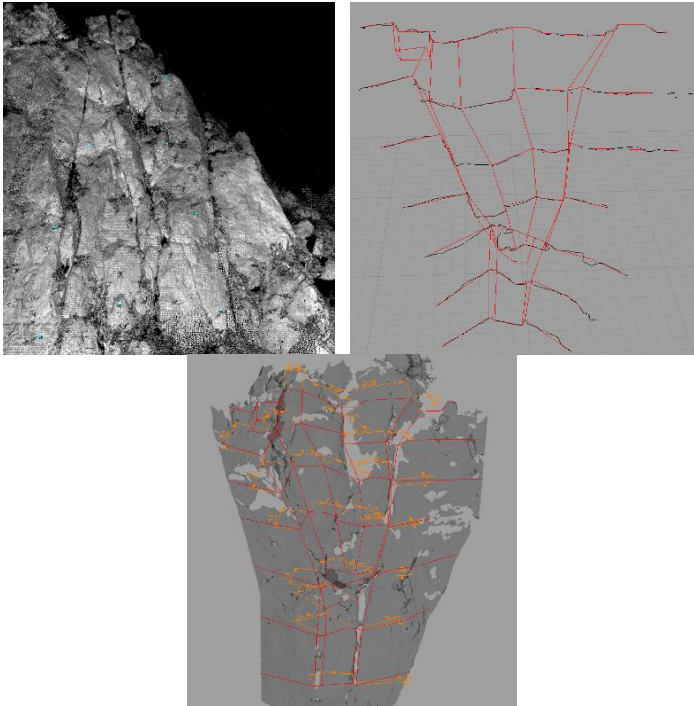


Figura 6 - Modello schematizzato di un dettaglio della parete rocciosa sottostante la Rocca Silvana (Castell'Azzara, Grosseto).

Per proseguire il progetto si intende sperimentare, in collaborazione con i geologi, l'applicazione di tali sistemi e compararne i risultati con quelli ottenuti con tecniche di analisi tradizionale.

Lo schema di acquisizione delle prese fotografiche, scattate con assi pseudo-ortogonali alla parete, si presta inoltre all'osservazione stereoscopica, che costituisce una interessante possibilità per la corretta interpretazione, da parte degli esperti di geomorfologia, della conformazione delle rocce.



Figure 7 e 8 – Ortofoto con piano di proiezione orizzontale della cava e dell'area antistante (a sinistra) e dettaglio dell'ortofoto con piano di proiezione verticale (a destra).

Conclusioni

Il primi risultati del progetto presentato permettono di confermare i vantaggi offerti dai sistemi UAV per la realizzazione di rilievi di pareti rocciose. In contesti ambientali come quello illustrato è fondamentale poter operare con percorsi di volo pressoché verticali, al fine di assicurare una buona

copertura della parete e una omogenea risoluzione nella sua documentazione metrica. Il contenimento dei tempi di acquisizione sul campo e dei costi relativi alla strumentazione hardware software costituiscono altri fattori da considerare favorevolmente.

Per supportare correttamente le analisi geo-meccaniche è necessario disporre di una affidabile documentazione su aree estese (l'intera cava, in questo caso) e, al contempo, con elevato livello di dettaglio. In molti casi la zona di interesse può essere così ampia da correre il rischio di trascurare elementi importanti durante le ricognizioni condotte sul campo. Inoltre, perché le analisi su base statistica siano significative, è indispensabile che la porzione studiata sia sufficientemente estesa. Peraltro l'osservazione "ravvicinata" di elementi dimensionalmente contenuti, come tracce, discontinuità, rugosità delle superfici, sono fondamentali per la caratterizzazione delle rocce.

I principali punti di forza della tecnica di rilievo adottata sono proprio la possibilità di documentare ad alta risoluzione aree di notevole estensione e di raggiungere in tempi contenuti anche zone difficilmente o completamente non accessibili.

Ringraziamenti

Lo studio presentato è condotto nell'ambito del progetto "Sperimentazione di tecniche fotogrammetriche e LiDAR da veicoli aerei a pilotaggio remoto per il rilievo ed il monitoraggio del territorio" (fondi di Ateneo per la ricerca scientifica 2012, UniFi) e del Laboratorio congiunto "GeCo|HUB – Geomatica e Conservazione | Heritage, University, Business" istituito tra il Laboratorio GeCo (Università degli Studi di Firenze), Microgeo s.r.l., Leica Geosystems s.p.a.. L'ottocottero AeroMax600 è stato messo a disposizione da Microgeo ed è stato pilotato da Marco Salvadori. Le scansioni laser sono state realizzate dallo Studio Tecnico Nesti e Salvadori.

Bibliografia

- Barazzetti L., Remondino, F. Scaioni M., (2010), "Fully automated UAV image-based sensor orientation", *Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 38(1). ISPRS Commission I Symposium, Calgary, Canada
- Birch J.S. (2006), "Using 3DM analyst mine mapping suite for rock face characterization", in: Tonon F., Kottenstette J. (a cura di) *Proceedings of the Workshop "Laser and photogrammetric methods for rock face characterization"*, ARMA Golden, Colorado
- Dolan J.P. (2006), "Rapidly acquiring and analyzing rock mechanic data using laser scanning technology" in: Tonon F., Kottenstette J. (a cura di) *Proceedings of the Workshop "Laser and photogrammetric methods for rock face characterization"*, ARMA Golden, Colorado
- Eisenbeiss H., Li Zhang L. (2006), "Comparison of DSMs generated from mini UAV imagery and terrestrial laser scanner in a cultural heritage application", *Proceedings ISPRS Commission V Symposium 'Image Engineering and Vision Metrology*, IAPRS Volume XXXVI, Part 5, Dresden 25-27 settembre
- Marino L. (a cura di) (2007), *Cave storiche e risorse lapidee: documentazione e restauro*, Alinea Editrice, Firenze
- Montagna M., Rigon P., Ercolin L., Sarazzi D., Julitta F. (2011), "Moderne tecniche di rilievo aereo-fotogrammetrico di oggetti a sviluppo verticale per la produzione di DSM: il caso di Campione del Garda (BS)", *Atti 15a Conferenza Nazionale ASITA*, 15-18 novembre, Reggio di Colorno
- Sturzenegger M., Stead, D., & Elmo, D. (2011), "Terrestrial remote sensing-based estimation of mean trace length, trace intensity and block size/shape", *Engineering Geology* 119, 96-111
- Verhoeven G., Wieser M., Briese C., Doneus M. (2013), "Positioning in time and space - cost-effective exterior orientation for airborne archeological photographs", *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. II-5/W1. (International Symposium of CIPA, Strasbourg, France, 2-6 settembre