

La tecnologia Laser Scanning per l'analisi morfologica multitemporale delle aree estrattive: moderne metodologie topografiche a servizio dell'analisi di stabilità

Riccucci Silvia (*), Salvini Riccardo (*), Francioni Mirko (*), Scognetti Antonio (**)

(* Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze della Terra e Centro di Geotecnologie
Via Vetri Vecchi 34, 52027 San Giovanni Valdarno, Arezzo. Tel 055 9119432, Fax 055 9119439, riccucci8@unisi.it

(**) Università degli Studi di Siena, Centro di Geotecnologie, Via Vetri Vecchi 34
52027 San Giovanni Valdarno, Arezzo

Riassunto

Il presente lavoro descrive i risultati ottenuti dalle elaborazioni di dati topografici multitemporali, acquisiti attraverso Laser Scanner, Stazione Totale e DGPS, e rilievi fotogrammetrici, atti a definire la presenza di fenomeni di crollo ed i parametri di input necessari nelle verifiche di stabilità di una parete di cava sita nell'area estrattiva del Bacino Marmifero Carrarese.

Il lavoro di campagna ha previsto il posizionamento di alcuni target ottici in zone non interessate da inibizione di sicurezza: questi, insieme ad alcuni elementi morfologici significativi sia di origine antropica che naturale, hanno rappresentato i capisaldi permanenti necessari sia nelle fasi di registrazione delle nuvole di punti multitemporali sia nell'appoggio fotogrammetrico. Le loro coordinate, relative ed assolute, sono state determinate attraverso Stazione Totale Laser e misurazioni GPS differenziali del punto di origine delle misure.

L'attività di laboratorio ha previsto l'elaborazione e l'analisi comparata delle nuvole di punti provenienti dalle scansioni laser multitemporali e la costruzione di una banca dati dei volumi di roccia potenzialmente instabili nonché delle situazioni di crollo verificatesi contemporaneamente al lavoro.

A seguito della caratterizzazione del versante e al riconoscimento degli elementi litoidi presenti, è stata condotta un'analisi di stabilità numerica agli elementi distinti funzionale alla proposta di sistemi di stabilizzazione e di monitoraggio delle zone risultate maggiormente a rischio.

Abstract

This paper describes the results obtained from the processing of multitemporal topographical data acquired by Laser Scanner, Total Station, DGPS, and photogrammetric survey, useful in the definition of the presence of rock collapse phenomena inside a quarry located in the mining district of Carrara marble basin; results of this analysis have been used as input parameters for the subsequent stability analysis.

During fieldwork, some optical targets have been positioned in safe areas to represent, together with some evident morphological elements of both anthropic and natural origin, bench marks needed in the registration of multitemporal point clouds and in the photogrammetric orientation. Their coordinates, relative and absolute, have been computed by Laser Total Station and differential GPS measurements.

Laboratory activities have concerned multitemporal point clouds processing: a geographical databases of potentially unstable blocks has been created and the rock collapse, occurred simultaneously to the work time spam, highlighted.

Finally, a slope stability analysis has been performed by distinct elements numerical modelling in order to identify the dangerous areas on the walls and to suggest the proper mitigation and monitoring strategies and works.

Introduzione

La valutazione della stabilità nei versanti in roccia utilizzati a fini estrattivi risulta indispensabile sia per garantire la sicurezza sul luogo di lavoro sia per valutare la fattibilità del piano di coltivazione nel rispetto delle normative vigenti.

Nei pendii in roccia gli elementi determinanti per la valutazione della stabilità dei possibili elementi soggetti a cedimento risultano essere l'orientazione e l'intensità delle discontinuità caratterizzanti l'ammasso roccioso oltre alla morfologia della superficie libera del versante, cioè l'assetto geometrico-strutturale dell'ammasso stesso.

L'area di studio è rappresentata da un versante di cava alto 100 metri circa che si sviluppa in direzione circa N-S al di sotto di una porzione di versante vergine e di un ravaneto storico (area di scarica di massi residuo dell'attività estrattiva). Nel caso in esame oltre alle geometrie proprie del versante roccioso sono state individuate anche zone di "contatto" tra materiali diversi, quale il fronte estrattivo vero e proprio, un vecchio ravaneto costruito con muri a secco ed una parta stabilizzata per mezzo di contrafforti di cemento armato, al cui contatto si possono generare cedimenti differenziali (Figura 1).

L'applicazione di tecniche di fotogrammetria digitale terrestre (FDT) permette di identificare zone soggette a probabili crolli (Di Crescenzo, Santo, 2007; Haneberg, 2008; Ferrero et al., 2009) e, integrata con un'analisi multitemporale condotta attraverso l'utilizzo del Laser Scanner (LS), consente di ricostruire in maniera dettagliata l'assetto geo-strutturale del fronte (Armesto et al., 2009) e di valutare le variazioni volumetriche avvenute (Abellán et al., 2006), mettendo in evidenza sia eventuali zone di distacco che di accumulo presenti in aree inaccessibili ai rilievi diretti.

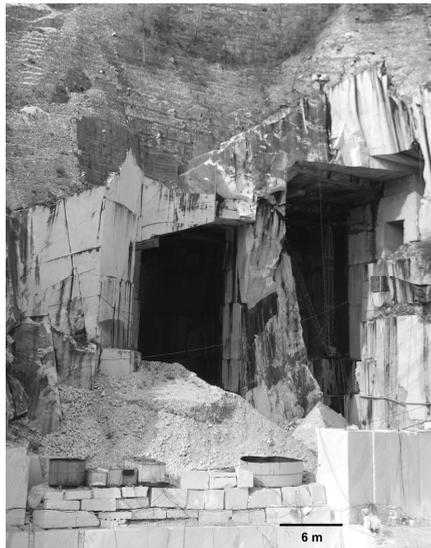


Figura 1 – Immagine panoramica dell'area di studio.

Materiali e metodi

L'applicazione della FDT ha previsto l'acquisizione dei fotogrammi attraverso l'utilizzo di una barra calibrata (Figura 2) costruita in modo tale da rendere possibile lo scatto di foto stereoscopiche con una base di presa di 2 m. I punti di controllo (GCPs), necessari nella fase di orientamento esterno delle immagini, sono stati collezionati durante il rilievo topografico, georiferito in rispetto al punto di stazione che è stato misurato attraverso metodologia GPS differenziale e corretto in relazione alla quota ortometrica.



Figura 2 – Barra calibrata per rilievo fotogrammetrico terrestre.

L'analisi stereoscopica delle immagini orientate ha permesso di individuare zone o singoli blocchi potenzialmente instabili distribuiti su tutta l'estensione del fronte, quindi anche in aree inaccessibili con rilievi diretti. L'assetto strutturale del versante è stato ricostruito attraverso il disegno tridimensionale dei piani di frattura visibili, la cui giacitura è stata successivamente calcolata grazie a procedure di analisi spaziale (Aspect e Slope).

Nel periodo compreso tra Febbraio e Agosto 2010 sono state effettuate anche 3 scansioni laser del versante in studio (Figura 3) ad intervalli di circa 2 mesi l'una dall'altra. La risoluzione spaziale delle nuvole di punti, pari a 2 cm sul fronte ad una distanza di 100 m, è stata scelta per riconoscere tutte le geometrie d'interesse preventivamente riconosciute attraverso l'analisi fotogrammetrica.



Figura 3 – Nuvola di punti relativa al secondo rilievo (27/05/2010).

Una serie di target ottici (Figura 4), posti in zone non interessate da inibizione di sicurezza, sono stati inclusi nelle scansioni e nel rilievo topografico ed hanno rappresentato i capisaldi permanenti necessari nelle fasi di registrazione delle 3 nuvole di punti multitemporali. Il processo di registrazione tra le nuvole di punti si è concluso con un errore pari a 3 mm.

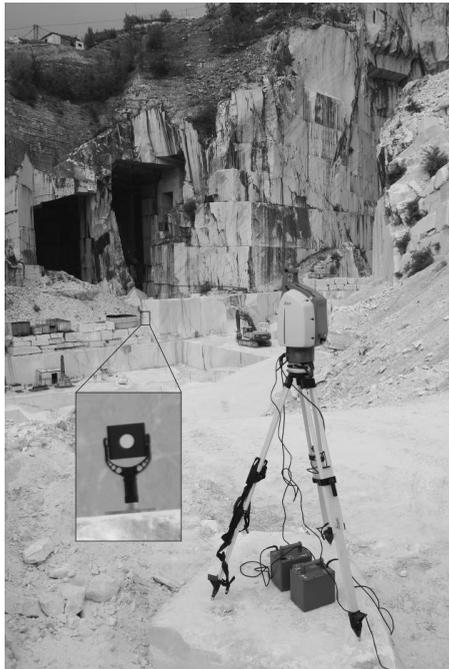


Figura 4 – Laser scanner in fase di acquisizione (particolare di un target ottico).

I dati grezzi relativi ai rilievi di campagna sono stati sottoposti ad una consistente fase di editing grazie alla quale è stato possibile eliminare i punti non necessari rappresentanti le entità antropiche intercettate dal raggio laser durante i rilievi stessi (es. cavi elettrici, manufatti).

Considerata la varietà di situazioni d'instabilità che potenzialmente si possono generare, l'intera area di studio è stata suddivisa in differenti zone.

I punti delle tre nuvole multitemporali appartenenti ad ognuna di queste zone sono stati interpolati per la generazione di mesh rappresentative del modello tridimensionale dell'area considerata alla data della scansione. A partire da uno stesso piano di riferimento, avente un "up-direction" orientata perpendicolarmente rispetto allo sviluppo del fronte, sono stati creati i singoli modelli tridimensionali relativi ad una medesima area per le tre date in esame; la scelta di utilizzare lo stesso piano di riferimento evita di introdurre nella successiva fase di confronto tra mesh errori dovuti a differenti posizioni nell'origine del sistema di riferimento.

Ottenuti i modelli tridimensionali multitemporali è stato possibile valutare i volumi di roccia compresi tra la morfologia del versante e il piano di riferimento scelto. Tale tipologia di dato risulta essere di tipo assoluto, quindi si è reso necessario quantificare le variazioni occorse tra le tre date attraverso operazioni di sottrazione tra DSM (Digital Surface Model) in ambiente GIS in modo da mettere in evidenza sia le eventuali zone di distacco che di accumulo.

Conclusa la parte di elaborazione dei dati fotogrammetrici e laser scanner, questi sono stati utilizzati come input per la valutazione della stabilità del versante attraverso una modellazione numerica agli elementi distinti. Il posizionamento preciso delle fratture provenienti dalla fotogrammetria lungo un profilo morfologico ricostruito attraverso il laser scanner ha permesso di definire in maniera molto precisa la geometria del modello di calcolo. Oltre a tali informazioni sono stati necessari per la modellazione i dati relativi alle caratteristiche fisico-meccaniche delle fratture e del materiale roccia che sono state ottenute da rilievi geomeccanici e da prove di laboratorio precedentemente effettuati nell'area di studio.

Discussione e conclusioni

La sicurezza sul luogo di lavoro è da sempre uno dei fattori più importanti da tenere in considerazione per la gestione delle aree estrattive. I metodi di FDT e LS soddisfano appieno la possibilità di definire in maniera deterministica quali siano i probabili rischi permettendo la ricostruzione dettagliata dell'assetto geometrico-strutturale del versante.

L'interpretabilità del dato proveniente dalla FDT rappresenta uno dei maggiori vantaggi nell'applicazione di questa tecnica; il laser scanner è ad oggi il più completo strumento topografico presente sul mercato come quantità di informazioni registrate; in questo contesto i risultati ottenuti nel processo di sottrazione tra DSM multitemporali, se interpretati alla luce di quanto "visto" in stereoscopia, possono essere considerati esaustivi ed estremamente affidabili.

L'eventuale cedimento di alcune porzioni del versante o di alcuni blocchi è stato individuato grazie alla multitemporalità dei rilievi.

L'utilizzo dei target ottici utilizzati come capisaldi in comune tra le 3 nuvole di punti ha garantito la massima precisione ottenibile durante il processo di registrazione.

Analizzando i risultati della sottrazione tra DSM (Figura 5) si è verificato come i valori estremi di spostamento ($> \pm 25$ cm) siano localizzati ai bordi delle mesh e in corrispondenza dei piani di taglio orizzontali, cioè in zone rispettivamente di scarsa rappresentatività/affidabilità del modello o in ombra, cioè non riprese durante il rilievo (zone *no-data*). Altre sono effettivamente state riconosciute come aree in cui l'attività estrattiva durante il periodo di tempo intercorso tra le tre scansioni ha portato significativi cambiamenti. Differenze variabili tra ± 25 cm e ± 15 cm si collocano in corrispondenza dei tagli verticali e lungo i bordi dei massi posti a sorreggere il ravaneto storico; tali differenze sono state interpretate anche in questo caso come errori per la presenza di zone d'ombra diverse nelle tre nuvole a causa della posizione leggermente differente del laser scanner durante le scansioni; per questo motivo le successive elaborazioni hanno prodotto mesh diverse. Valori di differenza compresi tra ± 15 cm e ± 5 cm si localizzano in ristrette aree di possibile distacco (differenze positive) e di accumulo ai piedi del versante (differenze negative); tali aree ricadono esattamente nelle zone individuate come potenzialmente instabili anche nell'analisi fotogrammetrica. Infine è da sottolineare come per la maggior parte del versante si registrino differenze comprese tra ± 5 cm e 0 cm; tali entità di spostamento ricadono all'interno della precisione attribuibile al metodo utilizzato e quindi sono interpretabili come zone in cui non si sono verificati significativi variazioni del fronte.

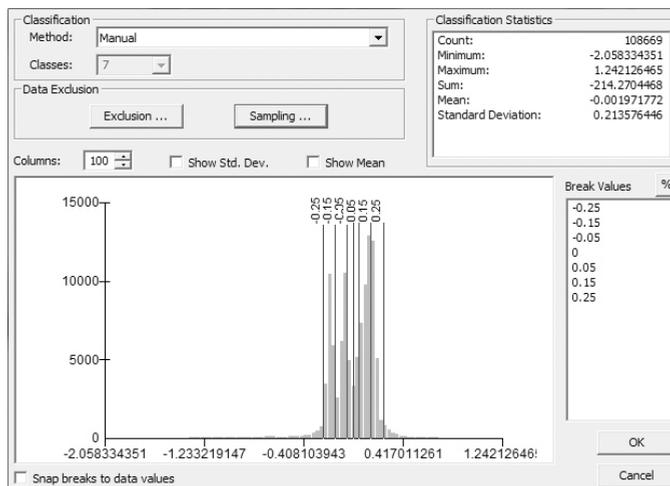


Figura 5 – Report delle statistiche sulla differenza tra DSM (Data1 – Data2).

L'analisi di stabilità ha mostrato come l'intero fronte di cava sia sostanzialmente stabile, seppur esistano delle zone di maggiore rischio tenuto conto anche dell'assenza, nella modellazione numerica, dell'eventuale ruolo dell'acqua nelle fratture, relativa ad eventi meteorici, e di eventuali sismi. La modellazione comprensiva anche di queste variabili di analisi è attualmente in corso.

Concludendo, i risultati ottenuti hanno messo in evidenza come l'integrazione tra diverse tecniche geomatiche risulti molto utile nel discriminare le effettive situazioni di instabilità (Haneberg, 2005; Tonon, Kottenstette, 2007; Sturzenegger, Stead, 2009) con particolare riferimento alla ricostruzione geometrica deterministica dell'assetto geologico e morfologico dei versanti.

Riferimenti bibliografici

Abellán A, Vilaplana JM, Martínez J (2006), "Application of a long-range Terrestrial Laser Scanner to a detailed rock fall study at Vall de Núria (Eastern Pyrenees, Spain)", *Eng Geol*, 88 3-4, 136-148, doi: 10.1016/j.enggeo.2006.09.012.

Armesto J, Ordóñez C, Alejano L, Arias P (2009), "Terrestrial laser scanning used to determine the geometry of a granite boulder for stability analysis purposes", *Geomorphology*, 106 3-4, 271-277, doi: 10.1016/j.geomorph.2008.11.005.

Di Crescenzo G, Santo A (2007), "High-resolution mapping of rock fall instability through the integration of photogrammetric, geomorphological and engineering-geological surveys", I, 171-172, 118-130, doi:10.1016/j.quaint.2007.03.025.

Ferrero AM, Forlani G, Rondella R, Voyat HI (2009), "Advanced Geostructural Survey Methods Applied to Rock Mass Characterization", *Rock Mech Rock Eng*, 42, 4, 631-665.

Haneberg WC (2008), "Using close range terrestrial digital photogrammetry for 3-D rock slope modeling and discontinuity mapping in the United States", *B Eng Geol Environ*, 67 4, 457-469.

Haneberg WC (2005), "3D digital rock mass characterization using high-resolution photogrammetric or laser scanner point clouds", *Geological Society of America, Abstracts Programs*, 37 (7), 245.

Sturzenegger M, Stead D (2009), "Close-range terrestrial digital photogrammetry and terrestrial laser scanning for discontinuity characterization on rock cuts", *Eng. Geol.*, 106 3-4, 163-182, doi: 10.1016/j.enggeo.2009.03.004.

Tonon F, Kottenstette JT (2006), "Laser and photogrammetric methods for rock face characterization", *Report on a Workshop held*, Golden, Colorado, 17-18 June 2006.