

UTILIZZO DI LASER SCANNER AEREO E TERRESTRE PER L'ANALISI DI FENOMENI FRANOSI IN ROCCIA: L'EVENTO DELLA VAL FISCALINA DEL 12 OTTOBRE 2007

Cristina SQUARZONI (*), Antonio GALGARO (*), Giordano TEZA (*),
Nuccio BUCCERI (*), Claudio CARRARO (*)

(*) Università di Padova, Dipartimento di Geoscienze, via Giotto, 1, 35137 Padova, tel. 049-8271859,
fax 049-8271858, e-mail: [cristina.squarzoni, antonio.galgaro, giordano.teza]@unipd.it

(**) Land Technology & Services s.r.l., via L. Sartorio, 12, 31100 Treviso - tel./fax 0422-301131,
e-mail: nuccio.bucceri@ltsht.com

(***) Provincia Autonoma di Bolzano – Alto Adige, Ufficio geologia e prove materiali, via Val d'Ega 48
39053 Cardano (BZ), Tel. +39 0471 361510 Fax +39 0471 361512, e-mail: Claudio.Carraro@provincia.bz.it

Riassunto

Il 12 ottobre 2007 si è verificata in Val Fiscalina (Sesto Pusteria, Bolzano) una frana in roccia di notevoli dimensioni che ha coinvolto la porzione sommitale della parete settentrionale di Cima Una (Dolomiti di Sesto). Lo studio del fenomeno franoso, data la particolare inaccessibilità dell'area di distacco nonché la necessità di operare in condizioni di sicurezza, ha richiesto l'applicazione di tecniche di indagine a distanza con sistemi laser scanner terrestri ed aereo. L'utilizzo di sistemi laser scanner fornisce indicazioni sulla geometria e la cinematica del versante instabile, come pure sullo stato delle discontinuità che interessano l'ammasso roccioso. È stata dunque eseguita una ripresa laser scanner terrestre (TLS) da un punto di vista favorevole posto ad una distanza di circa 200 m dalla superficie di distacco. Il confronto fra il rilievo TLS ed un rilievo laser scanner aereo (ALS) eseguito in epoca antecedente l'evento ha permesso la valutazione quantitativa dei volumi di roccia coinvolti nel crollo e la misura dell'apertura di alcune discontinuità critiche che interessano le pareti rocciose. Tali valori risultano in accordo con quelli misurati dagli estensimetri installati in situ a cura del Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Bolzano.

Abstract

On October 12th, 2007 a large rock landslide occurred in Val Fiscalina (Sesto Pusteria, Bolzano Bozen), where the higher portion of the northern wall of Cima Una (Sesto Dolomites) was involved. Since the area is inaccessible, ground based and airborne based laser scanner techniques were used in order to observe the landslide phenomenon in safe conditions. The use of these remote sensing systems provided information on geometry and kinematics of the unstable slope, as well as on conditions of the discontinuities affecting the rock mass. A terrestrial laser scanner (TLS) observation was carried out from a suitable viewpoint placed at about 200-m distance from the main scarp. The comparison between the new TLS data and the aerial laser scanner (ALS) ones, which were obtained before the failure event, enabled the quantitative assessment of the involved volumes, as well as the measure of open joint aperture. The obtained values about joint aperture agree with the ones provided by extensimeters installed in situ by the Geological Service of the Autonomous Province of Bolzano.

Introduzione

La comprensione di un fenomeno complesso quale l'instabilità di un versante in roccia riveste grande importanza, sia per le difficoltà legate ad una corretta previsione del suo comportamento, sia per l'elevata pericolosità associata a tale tipologia di fenomeno, correlata alla generale rapidità dei

processi di collasso. Tali caratteristiche, unitamente ai volumi coinvolti, spesso considerevoli, determinano generalmente un elevato potere distruttivo.

Il fenomeno franoso in esame, avvenuto il 12 ottobre 2007 alle 8.40 del mattino, ha generato il distacco di un prisma roccioso appartenente alla porzione sommitale di Cima Una (cima a quota 2.698 m s.l.m.), in Val Fiscalina (Sesto Pusteria, Provincia Autonoma di Bolzano) (Fig. 1). Durante la caduta, il materiale roccioso calcareo e dolomitico costituente il corpo di frana ha subito processi di frantumazione e polverizzazione, che hanno provocato la generazione di una densa nube di polvere che ha invaso sia il versante opposto sia buona parte della Val Fiscalina, depositandosi successivamente al suolo (Carraro et al., 2008). Il fenomeno di frantumazione non ha consentito la formazione di un accumulo detritico vero e proprio ai piedi della parete interessata dal crollo.

La conformazione morfologica del versante coinvolto dal fenomeno di crollo, che rende la zona di distacco raggiungibile solo in elicottero o da alpinisti esperti, comporta la necessità di effettuare indagini a distanza per la caratterizzazione della zona di distacco. Allo scopo è stato scelto di far uso di un sistema laser scanner terrestre, tecnica che permette una caratterizzazione geometrica di elevato dettaglio del versante osservato. Inoltre, la disponibilità di dati precedentemente acquisiti mediante laser scanner aereo ha consentito, per confronto tra le due riprese, la quantificazione volumetrica della massa distaccatasi.

Il laser scanner aereo e terrestre

Un rilievo laser scanner permette la caratterizzazione geometrica della superficie esterna dell'osservato con precisione e risoluzione elevate. In particolare, un laser scanner terrestre (TLS) permette di osservare una superficie alla distanza di 50 m con precisione dell'ordine dei 5-6 mm e risoluzione spaziale di 10-20 mm, variabili in base allo specifico strumento utilizzato (Lichti e Jamtso, 2006); precisione e risoluzione peggiorano linearmente con la distanza. I dati ottenuti mediante osservazione con TLS permettono la generazione di un modello digitale dettagliato 3D della superficie osservata. Qualora siano disponibili modelli multitemporali georeferenziati, è possibile studiare variazioni morfologiche prodotte da un fenomeno di instabilità di versante (Hunter et al., 2003), calcolarne il campo di spostamenti (Monserrat e Crosetto, 2007; Teza et al., 2007) o anche il campo delle deformazioni (Teza et al., 2008). Attualmente, il ricorso al TLS può ormai considerarsi un approccio standard allo studio della morfologia e della cinematica di un versante. Il TLS è ora utilizzato anche nell'analisi geomeccanica di ammassi rocciosi di difficile accesso; tale analisi, di rilevante importanza per la valutazione delle condizioni di stabilità di un versante in roccia, permette di ottenere le caratteristiche spaziali delle famiglie di superfici di discontinuità, grazie a procedure automatizzate (Slob et al., 2005).

Se il TLS può considerarsi uno sviluppo della fotogrammetria terrestre, il laser scanner aereo (ALS o LiDAR) può considerarsi uno sviluppo dell'aerofotogrammetria. Considerando una quota, rispetto all'area da osservare, di 800 m, con un singolo passaggio un tipico ALS può acquisire dati su una fascia della larghezza di 600 m, con un passo di campionamento, e conseguente risoluzione spaziale, di 15-20 cm e una precisione di circa 10 cm (Baltsavias, 1999). Il passo di campionamento sarà proporzionalmente modificato in funzione della quota di volo e delle condizioni morfologiche della superficie rilevata. In caso di presenza di vegetazione, le tecniche di acquisizione permettono di rilevare e modellare il suolo, eliminando l'effetto della copertura. Con i dati ottenuti mediante un'osservazione con ALS è possibile generare un modello digitale di terreno (DTM) 2.5D (Aguilar et al., 2005).

L'uso integrato dei dati ottenuti mediante l'impiego di sistemi laser scanner terrestri ed aerei consente di ottenere una copertura completa sia di aree a pendenza relativamente poco elevata, sia di versanti molto acclivi o verticali. Al fine di fornire dati realmente fruibili per lo studio di un versante instabile, TLS e ALS richiedono una rete di appoggio topografico da predisporre, ad esempio, mediante stazioni GPS, allo scopo di consentire l'unione delle diverse scansioni e la georeferenziazione dei rilievi.



Figura 1 - Sinistra: localizzazione del sito di studio e foto della strumentazione utilizzata per il rilievo TLS. Destra: Nicchia di distacco su Cima Una vista dal punto di ripresa TLS.

Rilievo mediante laser scanner terrestre (TLS) delle pareti rocciose di Cima Una

Il rilievo TLS della parete rocciosa di Cima Una, eseguito in data 7 novembre 2007, è stato effettuato utilizzando come punto di ripresa la sommità della Cima Est delle Crode Fiscaline (quota 2.81 m s.l.m.), localizzata all'incirca alla stessa quota di Cima Una e ad una distanza di circa 215 m dalla superficie di distacco. Tale punto di osservazione, raggiunto in elicottero, è risultato quindi particolarmente favorevole, consentendo una visione generale della zona di distacco e delle porzioni di ammasso roccioso adiacenti. Lo scopo del rilievo TLS è stato quello di ottenere informazioni precise e dettagliate sulla attuale topografia dell'area di origine del fenomeno di frana, sia per quanto riguarda la geometria delle superfici di distacco che per quanto concerne la presenza di discontinuità importanti dell'ammasso roccioso, che potrebbero essere all'origine di ulteriori fenomeni di crollo.

Lo strumento utilizzato è il laser scanner Riegl LMS Z-420i (Riegl, 2008; POB, 2008), caratterizzato da una portata strumentale di poco inferiore al chilometro. Nel caso specifico, la nuvola di punti è stata acquisita considerando un passo di campionamento di 10 centimetri sulla superficie della parete rocciosa.

I dati TLS sono stati georeferenziati utilizzando due ricevitori GPS geodetici, uno dei quali solidale con lo strumento TLS, il secondo associato ad un target artificiale facilmente individuabile e modellabile nella nuvola di punti, hanno fornito dati successivamente processati con tecnica differenziale, allo scopo di definire i parametri di orientazione del rilievo. Il successivo aggancio ai dati registrati da vicine stazioni GPS permanenti ha consentito la georeferenziazione del rilievo in coordinate gaussiane.

Valutazione dei volumi mancanti e della morfologia della nicchia di distacco

La Provincia Autonoma di Bolzano si è dotata, nel corso degli anni 2004-2005, di un rilievo ALS dell'intero territorio di competenza (Provincia Autonoma di Bolzano, 2008). La disponibilità di tali dati ha permesso il confronto tra il modello tra i dati del rilievo ALS, caratterizzato da una morfologia del versante pre-frana, e quelli TLS rilevati successivamente al crollo e descritti nel

precedente paragrafo. Previa verifica della coerenza delle georeferenziazioni, le nuvole di punti ottenute con TLS e ALS sono state poi associate nello stesso sistema di riferimento utilizzando algoritmi di *surface matching* iterativo.

Le due nuvole di punti aerea e terrestre, acquisite con modalità e finalità differenti, oltre che con precisioni che differiscono di un ordine di grandezza, sono caratterizzate da densità di campionamento notevolmente differente: la prima, a copertura provinciale, ha una densità di circa un punto ogni 30-50 cm, a fronte di un punto ogni 10 cm nel caso della nuvola di punti TLS (v. Fig. 2). Ciononostante, la morfologia del versante pre-crollo è stata ricostruita con buona precisione, consentendo il confronto tra le due superfici. Tale confronto ha permesso il calcolo del volume mancante, corrispondente alla massa distaccatasi, valutata in circa 40.000 m³.

L'esame della nuvola di punti TLS ha permesso di evidenziare che la superficie di distacco si estende verticalmente da quota 2.0 a quota 2.65 m s.l.m. Essa è costituita da due piani principali, sub-verticali, che isolano il cuneo franato, aventi tra loro un angolo di circa 8°. Le loro direzioni di immersione, valutate dall'analisi dei dati TLS, sono rispettivamente 258° e 324°.



Figura 2 - Confronto tra le nuvole di punti da rilievo aereo (in nero) pre-evento, e terrestre (in rosso) post evento. Sinistra: sezione verticale della vista di Cima Una, con piano normale alla direzione Nord. Destra: sezione orizzontale delle nuvole di punti, in corrispondenza di quota 2.650 m (spessore della sezione, usato per la rappresentazione: 10 m).

Rilievo mediante TLS delle pareti rocciose di Cima di Mezzo delle Crode Fiscaline

Il punto di ripresa TLS utilizzato per l'acquisizione di Cima Una ha costituito il punto di presa anche per la Cima di Mezzo delle Crode Fiscaline, situata in direzione opposta rispetto a Cima Una ed alla distanza dallo strumento di circa 270 m. Tale cima è caratterizzata dalla presenza di una frattura verticale aperta, che isola apparentemente uno sperone roccioso di dimensioni notevoli. In corrispondenza di tale frattura, i tecnici della Provincia Autonoma di Bolzano hanno provveduto, nel novembre 2007, all'installazione di un estensimetro a filo. Le letture strumentali riportano un valore di apertura di 1.52 m. Il punto di misura in situ, individuato sul rilievo TLS, ha consentito di effettuare una misura della larghezza della fessura nella stessa posizione, dando risultati confrontabili: 1.54 m (v. vettore 2 in Fig. 3), con il vantaggio di consentire di effettuare misure lungo tutta la discontinuità.

Analizzando la nuvola di punti ed osservando le fotografie della Cima di Mezzo, è stato possibile individuare la forma della fessura (v. Fig. 3) ed ipotizzare la posizione della sua presunta chiusura di base, corrispondente a 2.585 m s.l.m. Ciò ha consentito di valutare il volume di roccia potenzialmente instabile, stimato in circa 45.000 m³. Dalla nuvola di punti, è stato possibile inoltre desumere le giaciture del piano che delimita la fessura verticale descritta, la cui direzione di immersione varia tra 115° e 145°.

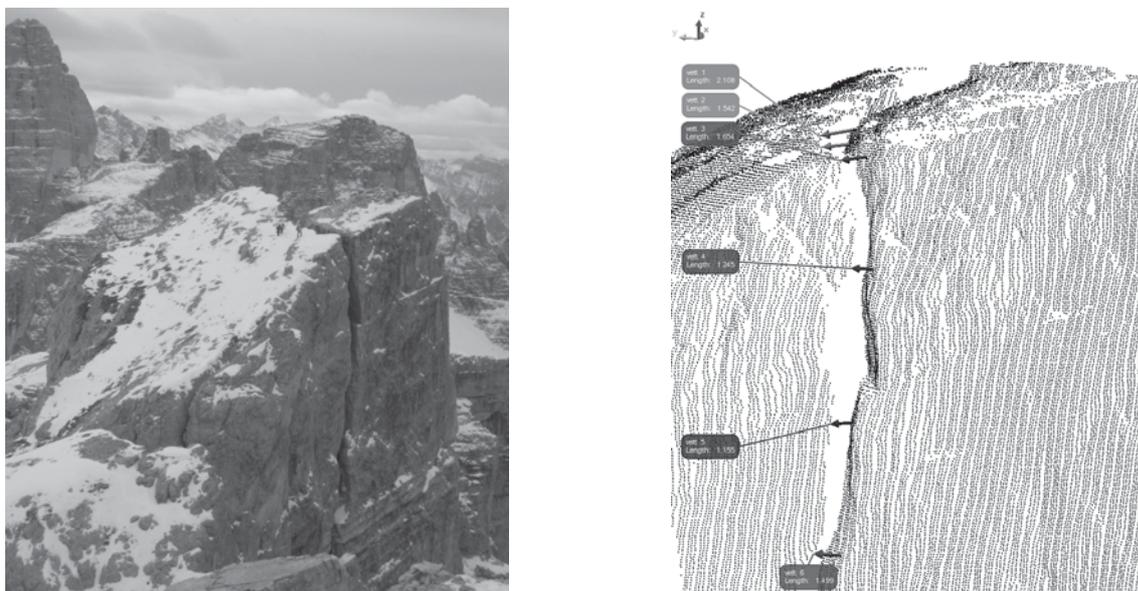


Figura 3 - Cima di Mezzo. Sinistra: vista da Cima Est. Destra: nuvola di punti dal rilievo TLS; vengono riportate alcune misure corrispondenti alla apertura della frattura principale.

Considerazioni conclusive

L'analisi di un fenomeno di instabilità di versante in roccia ha come obiettivo finale la valutazione della sua possibile evoluzione e del relativo grado di pericolosità. A tale scopo, il laser scanner terrestre ha dimostrato essere uno strumento adatto a fornire dati di elevato dettaglio e precisione, ottenuti in modo sicuro e senza la necessità di contatto con la superficie osservata. L'uso del TLS risulta comunque dipendere dalla necessità di disporre di uno o più opportuni punto di vista localizzati a breve distanza, da cui osservare la superficie in oggetto da direzioni differenti, allo scopo di coprire eventuali zone d'ombra e ricostruire l'intera geometria del versante. Nel caso specifico, la conformazione morfologica del versante interessato dal fenomeno in studio e dei versanti adiacenti e la particolare condizione climatica del periodo di osservazione non hanno consentito di effettuare riprese da ulteriori punti di vista; d'altra parte, la ripetizione delle misure TLS, da attuarsi con opportuni intervalli, consente di rilevare modificazioni morfologiche verificatesi nel versante, come eventuali allargamenti delle fratture, che possono costituire importanti segnali precursori di nuovi fenomeni di crollo.

Alcune delle valutazioni qualitative e quantitative qui presentate si basano sul confronto tra dati TLS e un DTM dettagliato che presenta la situazione morfologica prima dell'evento del 12 ottobre 2007. Ciò è stato possibile poiché la Provincia Autonoma di Bolzano dispone di un DTM di buon dettaglio di tutto il suo territorio, ottenuto mediante rilievi ALS. Si sottolinea, quindi, l'importanza che gli Enti preposti dedichino adeguata attenzione alla gestione del territorio: è consigliabile procedere ad un sistematico rilievo con ALS delle zone di montagna o collinari onde acquisire dati che, in caso di necessità, potrebbero essere proficuamente utilizzati nella valutazione delle caratteristiche di fenomeni di instabilità di versante e del rischio da essi indotto, come pure nella gestione dell'emergenza.

Riguardo alle prospettive future legate allo studio del fenomeno di instabilità di Cima Una del 12 ottobre 2007, è in corso, in collaborazione con ricercatori dell'Università di Ferrara, uno studio di dettaglio del fenomeno di instabilità in roccia, che prevede analisi sul terreno e in laboratorio, lo studio dei filmati dell'evento, la simulazione dell'evento mediante codici numerici di calcolo agli elementi distinti e la verifica delle attuali condizioni di stabilità, ipotizzando gli scenari possibili legati ad ulteriori eventi di instabilità in roccia. Analogamente, si procederà alla verifica delle condizioni di stabilità della Cima di Mezzo.

Bibliografia

- Aguilar F.J., Agüera F., Aguilar M.A., Carvajal F. (2005), "Effects of Terrain Morphology Sampling Density and Interpolation Methods on Grid DEM Accuracy", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 71 (7): 805-816.
- Baltsavias E.P. (1999), "Airborne laser scanning: basic relations and formulas", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54 (2-3): 199-214.
- Carraro C., Keim, L., Noessing L., Strada C. (2008), "Frane da crollo in area dolomitica", *Ambiente e Territorio*, 2008 (2): 52-59
- Hunter G., Pinkerton H., Airey R., Calvari S. (2003), "The application of a long-range laser scanner for monitoring volcanic activity on Mount Etna", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 123: 203-210.
- Lichti D.D., Jamtsho S. (2006), "Angular resolution of terrestrial laser scanners", *The Photogrammetric Record*, 21:141-160.
- Montserrat O., Crosetto M. (2007), "Deformation measurement using terrestrial laser scanning data and least squares 3D surface matching", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 63 (1): 142-154.
- POB (2008), "Laser scanner hardware survey 2008". Disponibile online all'indirizzo: <http://laser.jadaproductions.net/hardware/detail2.php?v=all> (ultimo accesso: 29/08/2008).
- Provincia Autonoma di Bolzano (2008), "Modello Digitale di Terreno". Disponibile online all'indirizzo: <http://www.provincia.bz.it/urbanistica/cartografia/modello-digitale.asp> (ultimo accesso: 01/09/2008).
- Slob S., van Knapen B., Hack R., Turner K., Kemeny J. (2005), "A method for automated discontinuity analysis of rock slopes with 3D laser scanning". *Transportation Research Record*, 193 (1): 187-208.
- Riegl (2008), "Laser scanner Riegl LMS-Z420i technical data". Disponibile online all'indirizzo: <http://www.riegl.com/terrestrialscanners/lms-z420i/420i11.htm> (ultimo accesso: 29/08/2008).
- Teza G., Galgaro A., Zaltron N., Genevois, R. (2007), "Terrestrial laser scanner to detect landslide displacement fields: a new approach", *International Journal of Remote Sensing*, 28 (16): 3425-3446
- Teza G., Pesci A., Genevois R., Galgaro A. (2008), "Characterization of landslide ground surface kinematics from terrestrial laser scanning and strain field computation", *Geomorphology*, 93 (3-4): 424-437.