

Utilizzo intensivo di tecniche laser scanning terrestre per il monitoraggio di versanti in roccia

E. Agosto^(*), A. Biasion^(**), S. Sartini^(***)

^(*) S.I.R. S.r.l. Via P.C. Boggio 61/A 10138 Torino

e-mail: eros.agosto@sir.to.it

^(**) DITAG – Politecnico di Torino C.so Duca degli Abruzzi 24 10128 Torino

e-mail: andrea.biasion@polito.it

^(***) Georender S.r.l. Corso Trapani 106 10141 Torino

e-mail: ssartini@georender.it

Riassunto

La progettazione, la costruzione e la gestione di infrastrutture che presentano un'elevata interazione con il territorio, quali gallerie, viadotti, infrastrutture di comunicazione, richiedono la descrizione metricamente corretta del contesto in cui queste si inseriscono; tale operazione è utile a fornire dati ed informazioni alle diverse figure professionali coinvolte nei processi decisionali. Uno dei contesti a maggior livello di criticità è quello che presenta l'interazione fra infrastrutture viarie e pareti in roccia, data l'alterazione meccanica indotta dalle operazioni di costruzione delle prime che finiscono inevitabilmente per influire sulla stabilità delle seconde.

Il gruppo di ricerca di Geomatica del Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie (DITAG) del Politecnico di Torino ha negli anni testato una metodologia basata sull'utilizzo integrato di laser scanner e fotogrammetria terrestre per la creazione di prodotti proficuamente utilizzabili nella determinazione dei parametri geo-meccanici degli ammassi rocciosi e per il monitoraggio di pareti in roccia soggette a fenomeni franosi [Biasion et alii, 2004].

La SIR- Soluzioni Innovative per il Rilevamento S.r.l., società *spin-off* del Politecnico di Torino, applica commercialmente tale metodologia; il presente articolo intende illustrarne l'applicazione pratica ad un caso complesso ed in contesti ambientali difficili al fine dell'ottenimento di parametri geo-meccanici di ammassi rocciosi insistenti su autostrade malesi al fine della valutazione del rischio e della pianificazione di opportuni interventi.

Abstract

Metrically correct surveys are needed to describe the context in which infrastructures are built, both in the planning phase, both in the managing one. Geomatics research group of the Land, Environment and Geo-Engineering Department, LEGEnD at the Politecnico di Torino has been testing for the last years a methodology which is able to accurately describe rock slopes and obtain geomechanical rock parameters. Interesting research results were gained by an integrated use of terrestrial laser scanner (LIDAR) and digital photogrammetry. SIR, Innovative Survey Resources, is a Politecnico di Torino spin-off company that commercially uses the developed methodology. The article describes a practical experience in a environmentally difficult context. The objective of the work was the geomechanical and geometric descriptions of rock slopes along Malaysian highways in order to carry out a risk assessment analysis and to plan appropriate interventions.

Introduzione

Oggetto del rilievo sono 11 scarpate di roccia in Malesia, risultate dalla costruzione di tratti autostradali e immediatamente adiacenti ad essa. Si tratta di fronti rocciosi costituiti da granito intensamente fratturato che determinano un elevato rischio per l'integrità della infrastruttura viaria e

per gli utenti. La pericolosità di tali pareti è dimostrata dai successivi interventi storicamente attuati dal gestore della rete, come la posa di reti paramassi. La carreggiata è direttamente minacciata da eventuali cadute di materiale roccioso, dal momento che è separata da queste da una trincea paramassi di limitate dimensioni (variabili, dell'ordine di 2-3 metri) a fronte di un'altezza anche di 140 metri del fronte; le dimensioni dei fronti rocciosi sono piuttosto variabili, con lunghezze comprese tra 70 e 750 m, e altezze tra 40 e 140 m. La necessità di uno studio sistematico per la valutazione della reale pericolosità di tali pareti e la scelta di opportuni interventi coinvolge la SIR s.r.l., che viene incaricata della creazione della base geometrica; la SIR S.r.l. attua i rilievi sul campo in collaborazione con la Georender S.r.l..



Figura 1 - Esempio di una delle 12 pareti di roccia rilevate

Metodologia utilizzata

Per prima cosa si è posta l'esigenza della scelta del sistema di riferimento per il lavoro. I siti interessati sono localizzabili in due macrozone, distanti circa 200 km, una di raggio chilometrico e l'altra di raggio di circa una decina di chilometri. Sussiste inoltre da parte del team deputato all'analisi geo-meccanica l'esigenza di utilizzare un sistema di riferimento in cui sia facilmente individuabile la direzione del nord per una corretta determinazione dei parametri geo-strutturali dell'ammasso.

Si decide pertanto di riferirsi ad un sistema UTM-WGS84 fuso 47 N. In ciascun sito vengono pertanto materializzati un certo numero di vertici (minimo 3) che vengono pertanto occupati con ricevitori geodetici GPS. A tali vertici è possibile riferire tutte le misure terrestri effettuate, in modo da consentire un corretto allineamento e georeferenziazione dei dati acquisiti.



Figura 2 - Ricevitore GPS Trimble 4000ssi



Figura 3 - Ricevitore GPS Trimble 4600



Figura 4 - Stazione Totale Leica 1105



Figura 5 - Riegl LMS-Z420i

Si procede quindi all'acquisizione da differenti punti delle pareti mediante laser scanner e fotocamera digitale integrata, al fine dell'ottenimento di un modello di forma della parete ed una serie di immagini digitali orientate per un loro impiego nell'ottenimento dei parametri geo-meccanici della parete stessa.

Logicamente quindi si procede a:

- materializzare, monografare e rilevare una rete di inquadramento mediante strumentazione GPS;
- effettuare un rilievo topografico terrestre di mire riflettenti poste sulla parete ed attorno ad essa;
- collegare il rilievo topografico alla rete creata;
- effettuare l'acquisizione del dato laser e fotografico.

Operazioni di misura

Per ciascun sito viene istituita una rete locale mediante l'ausilio di una coppia di ricevitori GPS Trimble, uno a doppia e l'altro a singola frequenza (figura 2 e 3): il primo consente un affidabile collegamento con le stazioni GPS permanenti (la più vicina distante una quindicina di chilometri), inserite nella rete Malaysia Active GPS System (MASS), mentre il secondo viene utilizzato per la realizzazione di basi locali nei singoli siti. La buona configurazione satellitare che si riscontra nelle zone equatoriali non pone particolari problemi nella conduzione della campagna.

Al fine dell'allineamento delle diverse scansioni e della loro georeferenziazione vengono posizionati target retro-riflettenti sulla parete ed alla base della stessa mediante l'ausilio di un rocciatore; le dimensioni dei target vengono pianificate in base alla distanza dello strumento dalla parete (lati da 3 a 15 cm di lato). Tali segnali vengono collimati e misurati mediante stazione totale Leica (figura 4) a partire da stazioni libere collegate alla rete di inquadramento.

Il rilievo laser viene eseguito con un laser scanner Riegl LMS-Z420i attrezzato per le riprese fotografiche con una fotocamera digitale calibrata Nikon D70 (figura 5). Per ridurre al minimo le zone nascoste, per ogni scarpata sono state necessarie un numero di posizioni di scansione variabile (minimo 3). Per ogni fronte roccioso vengono realizzate scansioni con due differenti gradi di risoluzione: le prime, aventi una griglia di acquisizione sub-decimetrica (3-5 cm), finalizzate alla descrizione topografica globale; le seconde, focalizzate su porzioni limitate dei fronti rocciosi nelle quali sono presenti domini geo-strutturali significativi individuati da geologi in situ, con risoluzione centimetrica, per l'esecuzione di analisi geo-strutturali.

La mappatura fotografica viene realizzata utilizzando un obiettivo avente focale di 20 mm e uno con focale 85 mm per il rilievo rispettivamente a minor e maggiore dettaglio.

Le principali problematiche affrontate nell'esecuzione del rilievo sono legate da una parte alle caratteristiche delle pareti in roccia, e dall'altra agli stretti vincoli ambientali imposti nella scelta delle posizioni di ripresa. Le scarpate si presentano infatti con locali addensamenti della vegetazione (figura 9), in particolare sulle berme, e frequentemente con superfici rocciose umide o addirittura con acqua scolante (figura 7). In alcune zone inoltre la visuale è disturbata per la presenza di strutture di protezione costituite da reti metalliche (figura 8).

Le maggiori difficoltà di conduzione del rilievo, che inevitabilmente condizionano i conseguenti risultati, sono tuttavia da attribuire all'ubicazione del sito e alla sua conformazione morfologica derivante da un taglio del pendio a mezza costa sul quale si sviluppa la strada, con alte e acclivi scarpate a monte e a valle. L'impossibilità di distanziarsi dalle carreggiate o di elevarsi naturalmente rispetto ad esse, vincola le posizioni di ripresa in punti con visuale non ottimale, soprattutto per il rilievo della parte superiore delle scarpate; le distanze di presa dalla base della scarpate sono dell'ordine dei 30-50 metri, e in taluni casi si deve operare direttamente dalla carreggiata. Si cerca di limitare tale inconveniente operando alcune scansioni da una piattaforma aerea articolata montata su gru, al fine del completamento della descrizione delle pareti.



Figura 6 - Elevato traffico di mezzi pesanti sull'autostrada



Figura 7 - Estesa presenza di roccia bagnata



Figura 8 - Estesa presenza di elementi di protezione come reti metalliche



Figura 9 - Diffusa vegetazione nella parte superiore delle pareti



Figura 10 - Chiusura di una corsia

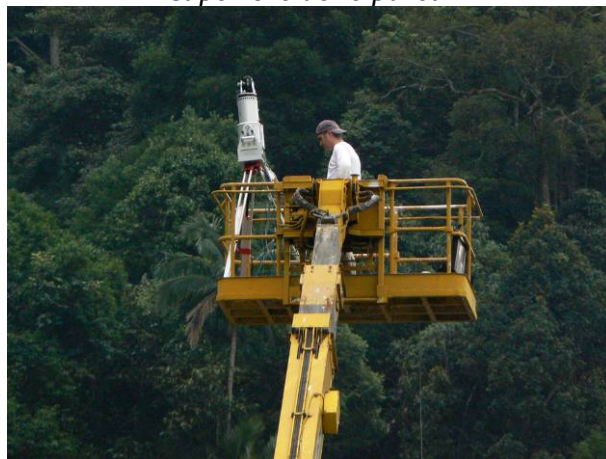


Figura 11 - Impiego di una piattaforma aerea

Tale soluzione, se da un alto consente di superare i problemi dovuti alla visuale di molte aree e di eliminare le interferenze con il traffico stradale, spesso molto intenso (figura 6), dall'altro produce un dato laser più rumoroso del normale, per effetto della vibrazione di fondo della piattaforma su cui è posizionato lo strumento, con conseguenti maggiori difficoltà di allineamento con le altre scansioni; se normalmente gli scarti riscontrati nell'allineamento di due scansioni è dell'ordine di 1-2 cm, nel caso di scansioni da piattaforma aerea si ottengono risultati variabili, a seconda delle condizioni in cui avviene la scansione (vibrazioni variabili indotte dal traffico e dal vento), con punte massime di 6-7 cm. A queste difficoltà sono inoltre da aggiungere le condizioni meteorologiche tipiche delle zone equatoriali di montagna caratterizzate da un clima caldo umido

tradotte nella pratica in ore mattutine talora con nebbia, ore centrali della giornata con temperature superiori a 40° C e possibilità di rovesci temporaleschi intensi ed improvvisi già dalle prime ore del pomeriggio. Le pareti sono inoltre caratterizzate dalla presenza di numerosi oggetti riflettenti di diversa natura, sia strumenti di protezione che di monitoraggio, rendendo inutilizzabile la funzionalità di ricerca automatica dei riflettori, con conseguente dilatazione dei tempi di acquisizione.

Trattamento dati

Il trattamento delle basi GPS porta ad un posizionamento con errori inferiori al centimetro dei punti della rete di riferimento; disponendo di punti di cui si conoscono le doppie coordinate nel sistema malese MRSO e UTM-WGS84 fuso 47N, si provvede ad attuare la conversione tra i sistemi mediante trasformazioni piane locali, per ragioni di formato per la consegna dei dati. Per un miglioramento della precisione del rilievo, e per verifica di una corretta misura della distanza, dal momento che spesso l'asse di collimazione attraversa zone di intenso traffico, viene adottata una misura sistematica in entrambi i cerchi di lettura dei punti collimati. La precisione ottenuta nel rilievo dei riflettori si rivela centimetrica (1-2 cm). Per quanto riguarda il trattamento della nuvola di punti ottenuta dal laser, si procede innanzitutto ad una filtratura al fine dell'eliminazione del rumore insito nel dato laser; si procede inoltre al controllo dei certificati di calibrazione della posizione della camera fotografica sullo strumento laser, mediante collimazione sulle immagini digitali dei riflettori individuati nella nuvola punti. Segue poi la fase di allineamento e georeferenziazione, che consente di avere una completa descrizione della parete. Tutti i trattamenti vengono eseguiti mediante il software LSR2004 sviluppato dal DITAG del Politecnico di Torino.

Risultati

Il risultato è costituito da modelli geometrici tridimensionali delle pareti di roccia investigate, descritte mediante nuvola di punti 3D ed immagini digitali orientate. Il prodotto creato è caratterizzato da una duplice risoluzione: una per la descrizione generale delle geometrie dei pendii, ed una seconda centimetrica per l'attività di analisi geo-meccanica e determinazione dei principali parametri geo-strutturali caratterizzanti l'ammasso.

Conclusioni

La metodologia si conferma di alta produttività, dal momento che gli 11 siti sono stati rilevati nell'arco di due settimane; tale *modus operandi* garantisce inoltre anche la sicurezza del rilievo, in quanto evita la presenza di operatori sulle berme, eliminando sia la possibilità che siano esposti al rischio di caduta di blocchi, che questi costituiscano accidentale fonte di rischio per gli utenti della strada, a causa di accidentale caduta di materiale provocata dal loro operare in parete. L'esperienza mostra ancora una volta l'esigenza di un momento di sensibilizzazione a quanto ottenibile con tale metodologia oltre di un lavoro di squadra al fine di metter assieme competenze e sensibilità ed esigenze differenti. L'apparente facilità di impiego della tecnica laser, rischia infatti di generare rilievi non attenti alle esigenze di chi tale rilievo deve utilizzare, o generare aspettative non realistiche, mentre l'obiettivo del rilevatore è ottenere un prodotto gestibile dall'utilizzatore finale e finalizzato alle sue esigenze. Se l'utilizzo della metodologia per l'ottenimento dei parametri geo-meccanici sulle zone dei domini significativi è efficace e trova la soddisfazione degli analisti geo-strutturali, il suo impiego non si presta realisticamente (per le dimensioni della pareti, i vincoli ambientali, i tempi di produzione, e la mole di dati generata) all'ottenimento di rappresentazioni tradizionali dei siti (es. tipo Autocad). Nel caso specifico se è agevole una descrizione mediante nuvola punti 3D opportunamente trattata delle pareti, una loro descrizione tradizionale mediante curve di livello (gestibile dai software di disegno di comune diffusione) è laboriosa e può risultare insoddisfacente, date le zone d'ombra imposte dai vincoli nelle posizioni di acquisizione ed il disturbo arrecato dalla vegetazione (di difficile rimozione) nella creazione del modello di superficie.

Il lavoro rinnova la possibilità o meglio l'esigenza di utilizzo di prodotti di nuova concezione come l'*Immagine Solida*, in grado di gestire in maniera ottimale moli di dati ottenuti da una metodologia di questo tipo, preservando la completezza ed il dettaglio delle informazioni insite in un modello di forma a passo di 3-5 cm (con zone a 1 cm) e quelle radiometriche delle immagini digitali orientate.

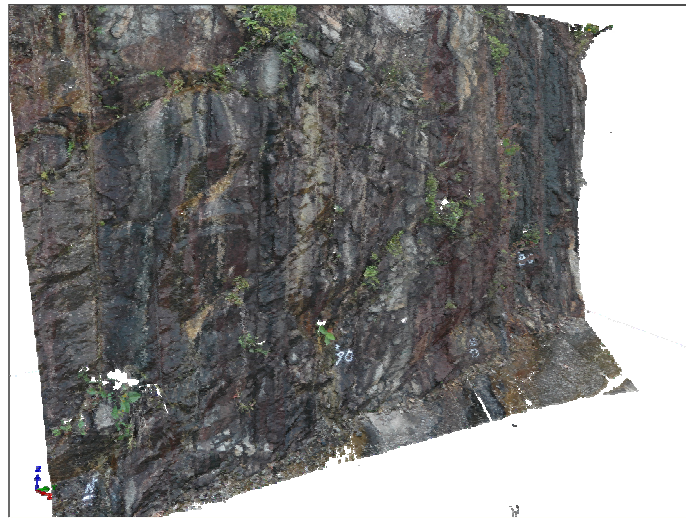


Figura 12 e 13 - Nuvola punti 3D colorata di una scansione di dettaglio (sopra) e generale (sotto)

Bibliografia

Feng Q., Sjöëgren P., Stephansson O., Jing L. (2001), "Measuring fracture orientation at exposed rock faces by using a non-reflector total station", *Engineering Geology* 59 (2001) 133±146.
Bornaz L., Lingua A., Rinaudo F.. (2002), "Il trattamento dei dati Laser Scanner nelle applicazioni terrestri", VI Conferenza nazionale ASITA, Perugia
Bornaz L., Dequal S. (2003), "L'immagine solida: un concetto innovativo e le sue applicazioni", VII Conferenza Nazionale Asita, Verona, 449-454
Biasion A., Bornaz L., Rinaudo F.. (2004), "Monitoraggio di eventi franosi in roccia con tecniche laser-scanner", Conferenza nazionale SIFET 2004, Chia (CA)

Ringraziamenti

Un particolare ringraziamento va alla guida alpina Anchieri Davide ed alla Geodata S.r.l. nelle persone della Dott.ssa Rabbi Elena e l'Ing. Ruga Nicola per la proficua collaborazione.