

L'IMPIEGO DEL LASER SCANNER TERRESTRE NEL RILEVAMENTO GEOLOGICO - TECNICO: DALLO STUDIO DELL'AMMASSO ROCCIOSO AL MONITORAGGIO DELLE ATTIVITA' ESTRATTIVE

Michelangelo RAVELLI (*), Alberto CLERICI (*), Matteo SGRENZAROLI (**),
Giorgio VASSENA (*)

(*) Università degli Studi di Brescia, Dipartimento di Ingegneria Civile, via Branze, 38 – 25125 Brescia,
e-mail: michelangelo.ravelli@unibs.it, alberto.clerici@unibs.it; giorgio.vassena@unibs.it
(**) Consorzio Inn. Tec., via Branze, 38 – 25125 Brescia, - e-mail: sgrenzaroli@topotek.it

Riassunto

Le applicazioni di tipo ambientale della tecnologia laser scanner terrestre sono attualmente in via di sviluppo e sperimentazione. Questa recente metodologia permette di rilevare in tempi notevolmente contenuti la geometria di porzioni territoriali abbastanza estese. Considerando la possibilità di associare all'informazione geometrica anche l'immagine fotografica si può ottenere un modello virtuale che rappresenti in modo fedele la realtà: ciò permette di indagare le principali caratteristiche geo-morfologiche attraverso strumenti informatici e, sempre attraverso questi ultimi, di monitorare le variazioni geometriche occorse. Si vuole, in questo testo, presentare un esempio di applicazione di questa metodologia di rilevamento ad una cava di marmo della quale sono state individuate le principali caratteristiche morfologiche dell'ammasso roccioso e ne sono state calcolate le variazioni volumetriche a seguito delle attività estrattive.

Il rilevamento geometrico è stato realizzato mediante l'utilizzo di laser scanner terrestre, le scansioni georiferite rispetto ad un sistema di riferimento invariante nel tempo. L'estrazione delle informazioni geometriche è avvenuta mediante l'utilizzo di software dedicati, in grado di gestire la nuvola di punti e di effettuare calcoli di superfici e volumi. Dal modello digitale tridimensionale sono state estratte le principali caratteristiche geo-meccaniche dell'ammasso roccioso, come la posizione nello spazio dei piani di giacitura delle discontinuità, sono state calcolate le variazioni in termini volumetrici, legate all'attività estrattiva del marmo.

Abstract

Environmental applications of the Terrestrial Laser Scanning technique are currently developing. This methodology allows to collect in short time the geometry of extended territorial portions. Considering also the possibility to associate the photographic image to the geometrical information, a virtual model that represent the reality can be obtained: this allows to investigate the principal geo-morphological characteristics through computer tools and, also through these last, to monitoring the geometrical variations. We wants, in this paper, to introduce an applicative example of this surveying methodology, adopted in a marble quarry extraction activity where the rock mass morphological characteristics has been individualized.

From the three-dimensional digital model we have been drawn out the principal geo-mechanical characteristics of the rock mass, like the position in the space of discontinuity plans and the variations were been calculated in volumetric terms, in relationship with the marble extraction activity.

Introduzione

Ottenere informazioni geo-morfologiche dell'ammasso roccioso attraverso tecniche di rilevamento classiche come la fotogrammetria cosiddetta dei vicini o attraverso l'utilizzo della Stazione Totale, è un approccio metodologico percorribile ormai da tempo. La tecnica del Laser Scanning Terrestre, sviluppatasi in questi ultimi anni, permette un approccio alternativo, con il vantaggio di poter fornire istantaneamente un modello geometrico tridimensionale dell'oggetto considerato, con una densità di dati molto elevata, ed una notevole accuratezza sul posizionamento dei punti costituenti la "nuvola" che lo rappresenta. L'impiego della tecnologia laser nell'ambito del rilievo geologico – tecnico è diretto a semplificare ed a rendere più accurata l'acquisizione dei parametri morfologici caratterizzanti l'ammasso roccioso: questo è reso possibile sia dalle prestazioni elevate della macchina in termini di risoluzione ed accuratezza, sia dalla possibilità di indagare il modello digitale così ottenuto con strumenti informatici che automatizzano l'elaborazione matematica e quindi l'estrapolazione dei dati numerici relativi alle caratteristiche geometriche dell'ammasso roccioso stesso. In particolare, nel lavoro effettuato, sono state eseguite sul modello digitale, derivato dalle scansioni, delle operazioni di misura relative all'individuazione dei parametri spaziali dei piani di discontinuità, ovvero giacitura, persistenza e spaziatura. I risultati sono stati poi confrontati con quelli ottenuti tramite misure effettuate con tecniche tradizionali.

Attraverso l'elaborazione del dato numerico è poi possibile estrapolare dal modello informazioni geometriche generali, come una mappatura in scala di colori relativa alla direzione delle normali alle superfici locali, ed una rappresentazione geometrica con associata la mappatura fotografica. Proprio questa ultima fase permette di ottenere un modello, sul quale possono essere fatte analisi più legate all'aspetto cromatico della roccia, indispensabile caratteristica che completa la rappresentazione geometrica.

Un altro aspetto fondamentale può essere considerato il fatto che, rilevando comunque la totalità degli elementi, si ha la possibilità di estrarre qualsiasi tipo di informazione geometrica e geomeccanica a posteriori.

Operativamente, dopo una fase di pianificazione dei punti di scansione, in funzione del risultato da ottenere e delle caratteristiche tecniche dello strumento impiegato, devono essere studiati il tipo e la posizione dei targets necessari alla unione e georeferenziazione delle varie scansioni. Vengono studiate inoltre a tavolino le soluzioni a difficoltà tecniche dovute alla inagibilità di alcune zone, e spesso all'assenza totale di rete elettrica. Eseguite quindi le scansioni e realizzata la rete di georeferenziazione dei targets, i dati acquisiti vanno elaborati mediante software specifici che permettono di gestire il dato e di renderlo utilizzabile per l'estrazione delle informazioni geometriche richieste.

Caso di studio

Il caso di studio si riferisce al rilievo geomeccanico ed al monitoraggio del volume di estrazione relativo ad una cava di marmo situata nel Comune di Botticino, nelle immediate vicinanze della Città di Brescia, situata quindi nell'estremità meridionale della fascia prealpina e pedemontana. Le unità litostratigrafiche presenti nell'ampio intorno dell'area interessata dal presente studio sono prevalentemente carbonatiche, nel particolare il giacimento rilevato è riferibile alla formazione della Corna. Essendo il sito dedicato all'attività estrattiva, il fronte di cava si presenta con una struttura a gradoni, l'estrazione avviene a "cielo aperto", ovvero estraendo la pietra in modo progressivo e discendente direttamente dai banchi.



Figura 1: Il fronte di cava oggetto di studio

Strumentazione utilizzata

Le esigenze, determinate dal risultato che si vuole ottenere, conducono alla scelta di un determinato tipo di strumentazione per il rilievo e la post elaborazione dei dati.

-Laser Scanner

Per le scansioni si è utilizzato lo scanner Riegl LMS-Z420i, che è uno scanner a medio/lungo raggio (800 metri), caratterizzato da buona accuratezza e velocità di scansione (fino a 12,000 punti/sec.) e da un campo visivo di 80x360 gradi.

-Stazione totale

La georeferenziazione dei target è stata effettuata utilizzando la stazione totale Leica TCRA 1100.

-Hardware e Software

L'elaborazione dei dati è stata effettuata mediante l'utilizzo del software Reconstructor JRC, il Personal Computer utilizzato dotato di processore con frequenza 2,0 GHz, 1 GB di memoria RAM, 128 MB di memoria video dedicata.

Progetto ed esecuzione delle scansioni

In funzione dei risultati richiesti, della morfologia dell'oggetto da scansionare e delle caratteristiche tecniche dello scanner laser sono stati pianificati i punti di presa.

La scansione del fronte di cava è stata condotta in modo da conciliare le esigenze di rapidità e di esecuzione, in modo da mantenere il più possibile omogenea la risoluzione della nuvola. Lo scanner è stato posizionato lungo un asse parallelo al fronte di cava, posto ad una distanza di circa un centinaio di metri ed eseguendo 3 acquisizioni in modo tale da rilevare buona parte della geometria, riducendo le zone d'ombra e garantendo una notevole percentuale di reciproca sovrapposizione.

Geo-referenziazione delle nuvole di punti acquisite

La georeferenziazione delle nuvole di punti e la loro conseguente unione è stata realizzata inizialmente mediante l'utilizzo di target, dei quali sono state determinate le coordinate con metodologie classiche rispetto ad una rete topografica già realizzata ed utilizzata in cava e, successivamente, affinata con l'utilizzo dell'algoritmo ICP. Per la loro realizzazione si sono utilizzati dei supporti cartacei stampabili uniti ad un supporto rigido e fissati al fronte mediante collante a presa rapida. Le dimensioni e la forma del target sono stati studiati per garantirne la facile collimabilità del centro mediante la stazione totale, ed allo stesso tempo un preciso riconoscimento

nella nuvola di punti. Sono stati inoltre numerati per renderli facilmente distinguibili e per rendere univoca l'associazione alle coordinate rilevate.

Il posizionamento dei targets è avvenuto in modo tale che in ogni scansione ne fossero riconoscibili tra i cinque ed i sei, quindi che dal punto di scansione non si presentassero troppo di scorcio o particolarmente lontani, e che fossero ben distribuiti nello spazio.

I targets sono stati rilevati mediante stazione totale, e le loro coordinate riferite ad un sistema locale, già materializzato ed utilizzato per il monitoraggio con strumentazione classica..

Queste coordinate sono state assegnate nel software Reconstructor JRC ai punti omologhi individuati nelle nuvole di punti, ottenendo degli scarti intorno ai cinque centimetri.

Ottenuto un modello georiferito delle nuvole di punti che si trovano così posizionate correttamente nello spazio, si è sfruttata la zona di sovrapposizione reciproca tra le scansioni per affinarne l'unione mediante l'algoritmo ICP (Iterative Closest Point): mantenendo fissa una scansione di riferimento, le altre sono state roto-traslate in base all'analisi delle geometrie associate alle zone comuni, realizzandone la continuità. L'analisi geometrica è stata impostata utilizzando 5000 punti di controllo per coppia di nuvole di punti, lo scarto ottenuto dopo mediamente 50 iterazioni si è assestato attorno ai 40 mm

Elaborazione dei dati

Oltre alla loro georeferenziazione, e quindi alla reciproca registrazione, le nuvole di punti sono state processate dal software mediante le operazioni seguenti:

1. Calcolo delle normali: vengono computate le normali alle superfici locali.
2. Calcolo dei punteggi di qualità del dato: viene calcolato un punteggio relativo all'attendibilità del dato acquisito.
3. Estrazione di linee di discontinuità:
4. Riduzione del rumore: riduce, mediante l'utilizzo di filtri, la presenza di rumore nelle scansioni.
5. Data Clustering: consiste nella creazione di strutture gerarchiche per la gestione dei dati.
6. Integrazione: durante il processo di integrazione viene rimossa la ridondanza di dati presente nelle zone di sovrapposizione delle scansioni.
7. Meshing: la nuvola di punti viene convertita in una superficie triangolata.
8. Texture Processing: il modello tridimensionale può essere integrato con immagini digitali bidimensionali



Figura 2: Modello digitale del fronte di cava

Estrazione delle informazioni geometriche

Ottenuto il modello completo del fronte di cava, e terminata la fase di processamento dei dati, mediante il modulo Surveyor del software Reconstructor sono state estratte le informazioni necessarie alle indagini geometriche

- Giacitura dei piani di discontinuità

Mediante analisi geometrica del modello digitale, gli angoli di immersione ed inclinazione relativi alle principali famiglie di discontinuità possono essere facilmente ricavati utilizzando le informazioni numeriche fornite dal software. Una volta infatti georiferite le scansioni rispetto ad un sistema di riferimento correttamente orientato, si ottengono dei parametri descrittivi delle entità geometriche

Tramite semplici relazioni trigonometriche, ad esempio, è possibile determinare una volta definitone il piano che meglio le approssima, gli angoli relativi all'orientamento delle discontinuità, deducendoli dai parametri geometrici del piano stesso. Questi angoli, determinati per ogni singola famiglia di giunti, vanno a definirne la disposizione spaziale e, successivamente diagrammati, è possibile valutare la stabilità degli eventuali cunei presenti nell'ammasso roccioso.

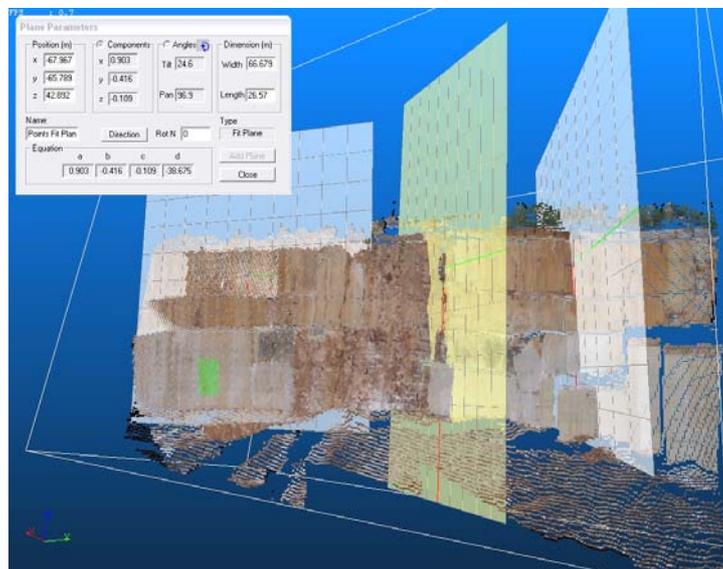


Figura 3: Definizione dei piani nel modello digitale del fronte di cava

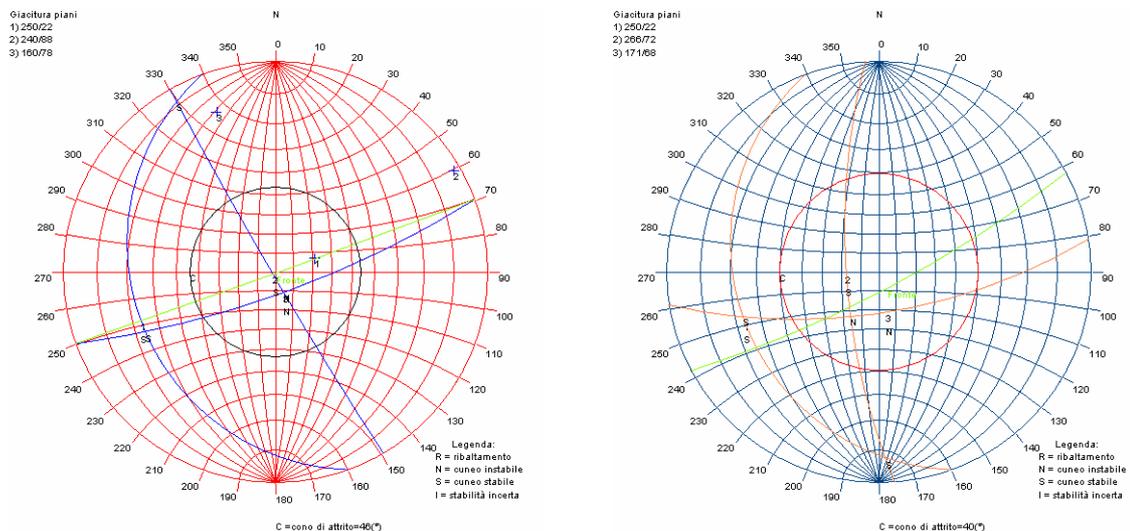


Figura 4: Rappresentazione equiangolare di Wulff dei dati ottenuti in modalità classica (sinistra) e dal modello Laser (destra).

- Monitoraggio dei volumi di estrazione

Confrontando i dati geometrici tridimensionali ottenuti in intervalli temporali differenti, è naturalmente possibile valutarne le variazioni in termini lineari, superficiali o volumetrici. Nel monitoraggio dell'attività estrattiva di notevole interesse è proprio questa possibilità: la valutazione del volume estratto può essere fatta sovrapponendo i modelli superficiali del fronte di cava e calcolandone il volume tra essi compreso.

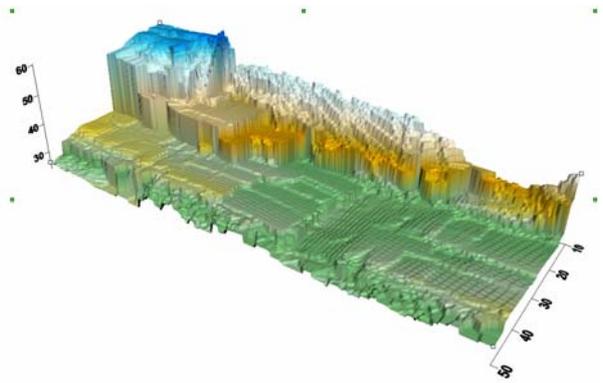


Figura 5: modello superficiale del fronte di cava

Conclusioni

In situazioni complesse, come può presentarsi la geometria di un fronte di cava, non potendo in molti casi bloccare l'attività estrattiva, acquisire il maggior numero di informazioni possibile in tempi brevi risulta essere fondamentale. Un rilevamento mediante laser scanner riduce notevolmente i tempi delle operazioni di campagna, garantendo, se condotto con opportuni criteri, l'acquisizione della quasi totalità delle caratteristiche geometriche con elevate accuratèzze, dando la possibilità inoltre, di associarle all'informazione visiva. Questo permette di essere operativi in campagna in tempi brevissimi: il vaglio delle informazioni da estrarre può essere fatto a posteriori, in fase di elaborazione dei dati acquisiti. Non secondaria è anche la possibilità di rilevare con rapidità e precisione anche la posizione e l'andamento di unità geologiche e strutturali, il cui rilievo con le tecniche tradizionali della Geologia Applicata e della Topografia risultano macchinose e forzatamente imprecise.

Bibliografia

- Cantoni R., Vassena G., Lanzi C. (2002); *Integrazione tra Laser Scanning e Metodologie di Rilievo Tradizionali nella Ricostruzione 3D*; Atti VI conferenza Nazionale ASITA GEOMATICA per l'Ambiente il Territorio ed il Patrimonio Culturale; Perugia.
- Drap P., Sgrenzaroli M., Canciani M., Cannata G., Seinturier J.(2003); *Laser Scanning and Close Range Photogrammetry: Towards a Single Measuring Tool Dedicated to Architecture and Archaeology*; CIPA XIXth International Symposium; Antalya, Turkey.
- Ravelli M., Clerici A., Gelmini M, Lanzi C. Riva P. Sgrenzaroli M. Vassena G. (2005); *A Laser Scanning Approach to Model and Survey Road Tunnel Damages Caused by an Earthquake*; Italy-Canada Workshop on 3D Digital Imaging and Modeling Application of: Heritage, Industry, Medicine and Land; Padua, Italy.
- Sgrenzaroli M., Wolfart E. (2002); *Accurate Texture-Mapped 3D Models for Documentation, Surveying and Presentation Purposes*; Close-Range Imaging, Long-Range Vision ISPRS Commission V, Symposium 2002, Corfu, Greece.
- Siefko S., Hack R., Turner A. (2002); *An Approach to Automate Discontinuity Measurements of Rock Faces Using Laser Scanner Techniques*; ISRM International Symposium on Rock Engineering for Mountainous Regions, 2002, Funchal, Portugal.
- Ringraziamenti:** Si ringraziano per la collaborazione il dott. Geol. Marco Luciani, e la Cooperativa Valverde di Botticino (BS).