

Monitoraggio dell'evoluzione di una frana tramite Laser Scanning

Maurizio Barbarella (*), Margherita Fiani (**), Pasquale Pistillo (**)

(*) DISTART, Università di Bologna, Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna, +39(0)512093106, +39(0)512093106
maurizio.barbarella@mail.ing.unibo.it

(**) DICIV, Università di Salerno, Via Ponte Don Melillo, 1, 84084 Fisciano (SA), +39(0)89964128, +39(0)89964045,
m.fiani@unisa.it

Riassunto

In questa nota si descrive una applicazione della tecnica laser scanning terrestre al rilievo di una area di vaste proporzioni interessata da un fenomeno franoso di tipo lento. L'area interessata copre circa dieci ettari ed è attualmente monitorata con tecniche tradizionali. Utilizzando un sistema laser scanner di tipo long-range, sono stati effettuati diversi rilievi test per studiare la migliore metodologia da adottare. Per avere tutti i rilievi nel medesimo sistema di riferimento esterno e confrontarli nel tempo, non è stato possibile realizzare sul corpo di frana un frame di riferimento stabile nel tempo e i target sono stati ricollocati a ogni rilievo. E' comunque possibile individuare vertici esterni alla frana materializzati stabilmente rispetto i quali rilevare con GPS punti di controllo ai quali riferire il rilievo laser. Per ogni rilievo sono state necessarie diverse nuvole di punti, ciascuna inizialmente riferita a un sistema strumentale, successivamente georeferenziate tramite target di forma sferica, riconoscibili nelle scansioni, i cui centro-sfera sono misurati con GPS rispetto a punti stabili esterni. In tal modo in ogni rilievo si possono ottenere DTM del corpo di frana riferiti a un sistema assoluto.

Abstract

In this note we describe the use of terrestrial laser scanning to survey a large area interested by a slow landslide activity. The relevant area covers ten hectares and is systematically monitored by traditional techniques. We have used a long-range laser scanner, and we have used a number of test surveys to determine the best available approach. It was impossible to superimpose to the bulk of the landslide a reference frame stable in time, that would have allowed to have all surveys in the same reference frame and to perform a direct comparison of surveys taken at different times. We had instead to select a different location for the targets of each survey, and to use vertexes located in a region external to the landslide that were stable in space and time and that we could use as references for control points to which we referenced the laser survey. In each survey we have used many laser point clouds. Each cloud was initially referred to an instrumental system, and we eventually geo-referenced them by using spherical targets, that one can see in the scans: the positions of the centres of the spheres are measured with GPS in reference to the stable external points. This has allowed each survey to produce a DTM of the landslide body referenced with respect to an absolute reference system.

Introduzione

In Italia sono presenti numerose aree soggette a eventi franosi per le quali è richiesto un costante monitoraggio. Si sente pertanto l'esigenza di sperimentare nuove tecniche di rilievo che consentano di restituire l'intero corpo di frana in un dato sistema di riferimento a cadenze periodiche, così da avere non solo informazioni di tipo puntuale ma anche nel continuo, senza inoltre dover direttamente avere accesso all'interno della zona da monitorare.

Attualmente, per effettuare rilievi di aree in frana con precisioni elevate, dell'ordine dei 5 mm, sono utilizzate Total Station motorizzate che rilevano con cadenza regolare, in maniera sequenziale e automatica, serie di mire posizionate direttamente sul versante in frana oppure sistemi GPS incapsulati in gusci di protezione e inseriti nel corpo franoso così da muoversi in maniera solidale con esso. Tali metodi tuttavia, pur presentando notevoli vantaggi che derivano dall'essere oramai ben noti dal punto di vista operativo e di elaborazione e di conseguenza di precisione nota, oltre che di facile gestione una volta installati, consentono di ottenere solo dati di tipo puntuale dai quali estrapolare, mediante algoritmi di interpolazione, l'andamento complessivo del corpo franoso.

E' inoltre necessario potere accedere liberamente all'area di interesse, cosa che non è sempre possibile per ragioni di sicurezza e di impervietà del terreno. L'accuratezza e l'attendibilità dei risultati ottenuti, quindi, non sono solo funzione della precisione dello strumento utilizzato ma anche della locale distribuzione delle mire nel primo caso e delle antenne GPS nel secondo.

Da queste considerazioni nasce l'esigenza di sperimentare nuove tecniche che consentano di restituire l'intero corpo di frana in un dato sistema di riferimento a cadenze periodiche, così da avere non più informazioni solo di carattere puntuale ma anche nel continuo, senza inoltre dover direttamente avere accesso all'interno della zona da monitorare.

Una delle tecniche che possono essere sperimentate è quella LiDAR, che consente di acquisire dati su vaste aree di territorio in tempi relativamente brevi e ricostruire a partire da essi un modello tridimensionale della zona movimentata. Il vantaggio della tecnica di misura LiDAR terrestre è che essa può fornire una nuvola di punti estremamente fitta (passo minimo di scansione, sia verticale che orizzontale, dipendente dalle caratteristiche dello strumento impiegato, dell'ordine del millesimo di grado) in breve tempo, che descrive "con continuità" la morfologia del terreno. Altri metodi topografici, quali il rilievo con Stazione Totale motorizzata della posizione di alcuni punti, materializzati sul terreno, o il rilievo GPS, se pur maggiormente collaudati, permettono di monitorare gli spostamenti di un numero molto più esiguo di punti.

Caso di studio e progettazione dei rilievi

Per sperimentare l'applicazione della tecnica laser scanning al rilievo di una frana è stata scelta un'area situata in località Pisciotta (SA) nella costiera cilentana, interessata da un fenomeno franoso di tipo lento di vaste proporzioni (figura 1). L'area interessata copre circa dieci ettari ed è attualmente monitorata dal Centro Iside S.r.l. che sta eseguendo un monitoraggio con rilievi di tipo tradizionale, con Stazione Totale e GPS, su singoli punti appositamente ripristinati in occasione dei rilievi. Si ipotizzano campagne di misura mensili della durata di un giorno (vista la velocità degli spostamenti, non è possibile ipotizzare vari giorni di misura).

Il rilievo laser richiede la visibilità diretta della zona rilevata. Nel caso in esame la vastità dell'area da monitorare impone l'impiego di più punti di stazione per garantire la visibilità sull'intero corpo di frana di interesse. Per garantire la possibilità di allineare le scansioni prese da più punti di stazione, si sono usati dei target sferici di materiale riflettente il raggio laser, posti a varie distanze intorno ai punti di stazione. Le dimensioni delle sfere usate e appositamente costruite variavano da 10 a 20 cm di diametro, collocate secondo la distanza dai target.

Quando il fine delle misure è un monitoraggio, si richiede anche la disponibilità di punti fissi stabili nel tempo per poter confrontare i rilievi e valutare eventuali variazioni di forma dell'oggetto rilevato. Il frame di punti auspicabilmente stabili potrebbe essere costituito dai punti sui quali viene collocato il laser e dagli altri punti sui quali vengono collocati i *target* durante i rilievi.

Vista la configurazione dell'area e la sostanziale libera visibilità del cielo, la posizione di tutti i punti può essere rilevata tramite ricevitori GPS. Non è presente al momento nell'area una "copertura" da parte di reti NRTK per cui, anche per ragioni di precisione, si è previsto di eseguire l'inquadramento GPS in modalità statica, con stazionamenti prolungati, misurando le basi rispetto a punti posti in aree non influenzate dal fenomeno in studio.

Il contesto nel quale ci si trova a operare mette a disposizione una coppia di pilastrini, materializzati dal Centro ISIDE, che si sono dimostrati stabili nel tempo; purtroppo però i due pilastrini, se da un

lato possono costituire un elemento stabile nel tempo, dall'altro non sono risultati adatti, per posizione e caratteristiche costruttive, a fungere da punti di stazione laser.

Per avere massima possibilità di scelta dei punti di stazione (non solo dal punto di vista dell'indispensabile visibilità, ma anche della collocazione della stazione e dei target prossimi su aree stabili) si è deciso di utilizzare un laser a lunga portata. Il Laser previsto per monitorare l'evoluzione nel tempo della superficie della frana, è un Optech ILRIS 3D, la cui portata è indicata in 1000 m con riflettività del terreno pari a 0.3 e 1500 m con riflettività pari a 0.8, con accuratezza minima angolare nominale di 0.0029° (1σ), dotato di base rotante motorizzata per permettere scansioni a 360° sia in orizzontale che in verticale. Il passo minimo di scansione sia verticale che orizzontale indicato dalle specifiche strumentali è pari a 0.00115° .



Figura 1 – Area interessata dalla frana (quadrato grande in azzurro tutta l'area, quadrato piccolo in viola l'area di maggior deformazione) e alcune vedute dell'area in frana

Esecuzione dei rilievi

I sopralluoghi e alcune campagne di rilievo test, effettuate nel luglio e nell'ottobre del 2008, hanno permesso di mettere a punto la metodologia. In questa fase sono stati individuati possibili punti di stazione, ubicati in aree non interessate dal movimento franoso.

Nella prima campagna di rilievo è stato scelto un punto di stazione ubicato nei pressi di un casotto da cacciatore, in posizione frontale rispetto alla galleria ferroviaria interna rispetto al mare, in direzione Salerno-Reggio Calabria. Sono stati posizionati sei target sferici che risultano visibili in tutte le scansioni laser effettuate. Dal punto di stazione sono state effettuate tre scansioni: una "alta", per coprire la sommità dell'area in frana, e due "basse" a diverso passo di scansione (10 e 15 cm) per rilevare la parte inferiore (dalla strada provinciale fino alla vallata sottostante dove sono situate le due gallerie ferroviarie). In figura 5 sono visibili l'ubicazione del punto di stazione (in basso a destra nella figura di sinistra), dei due pilastri del centro Iside (in alto a sinistra nella stessa figura) e dei target. Solo la terza scansione, effettuata a distanza media di 175 m dal terreno e passo di scansione impostato a 15 cm è stata elaborata. La copertura è visibile in figura 2 (immagini dalla fotocamera incorporata al laser scanner). Sono stati acquisiti 4395572 punti.

Il rilievo effettuato a luglio, pur inquadrando complessivamente l'area di interesse, non era abbastanza dettagliato per descrivere e monitorare l'evoluzione del piccolo acquitrino che si era formato a monte delle due gallerie. I detriti accumulatisi sul letto del torrente avevano infatti ristretto l'alveo e favorito la nascita di uno sbarramento naturale che rendeva molto più lento e accidentato lo scorrere delle acque. A tale scopo, nel corso di un sopralluogo, si era individuato un altro punto di stazione per rilevare l'area relativa all'alveo del torrente e la sponda interessata dal movimento franoso (area contornata con il quadrato piccolo in viola in figura 1). Si era pertanto deciso di posizionare il laser sulla sommità della galleria ferroviaria più interna (cioè più lontana dal mare), accessibile tramite una strada sterrata resa praticabile dai lavori di manutenzione effettuati periodicamente dalle Ferrovie dello Stato.



Figura 2 – Copertura del rilievo di luglio (terza scansione)

La situazione riscontrata sul posto al momento del rilievo di ottobre è risultata invece ancora una volta completamente variata a causa dei lavori di sbancamento effettuati nel corso dell'estate. E' stato perciò necessario rivedere il progetto e scegliere altri due punti di stazione.

Il primo punto è stato collocato sopra il tetto della galleria II (interna, in direzione Salerno-Reggio Calabria) e da esso è stata effettuata una singola scansione, di ampiezza 180° in azimutale, tilt 0° , a distanza media di 50 m dal terreno e passo di scansione impostato a 4 cm. La durata della scansione è stata di 30' e sono stati acquisiti 3770528 punti. Sul laser scanner è stata montata un'antenna GPS e un'altra antenna è stata montata su un pilastro del Centro Iside (Iside 200). Prima della scansione sono stati posizionati sul terreno otto target sferici di diametro 10, 15 e 20 cm, la cui ubicazione è visibile in figura 5. In figura 3 si vede la posizione del punto stazione rispetto alla galleria, rispettivamente ripresa da sud verso nord (a sinistra) e da nord verso sud (al centro) e in figura 4 la copertura dell'area interessata dalla scansione (in alto).

Un secondo punto di stazione (visibile anch'esso in figura 3) è stato collocato sul crinale lungo la strada sterrata che porta a Est della galleria più a nord (lato treni in transito SA-RC), per inquadrare l'area di restringimento del torrente. Tale punto è stato scelto per rilevare l'area di accumulo di materiale che ha formato un "laghetto" a nord della strada ferrata. Anche da questo punto è stata effettuata una singola scansione, con tilt $-14^\circ.49$, a distanza media di 75 m dal terreno, con passo di scansione impostato a 6 cm. Sono stati acquisiti 3711568 punti. Nelle scansioni sono visibili solo quattro degli otto target posizionati. Sempre in figura 4 (in basso) è visibile l'area interessata dalla scansione.



Figura 3 – Punti di stazione del rilievo di ottobre (il 1° a sinistra e al centro, il 2° a destra)

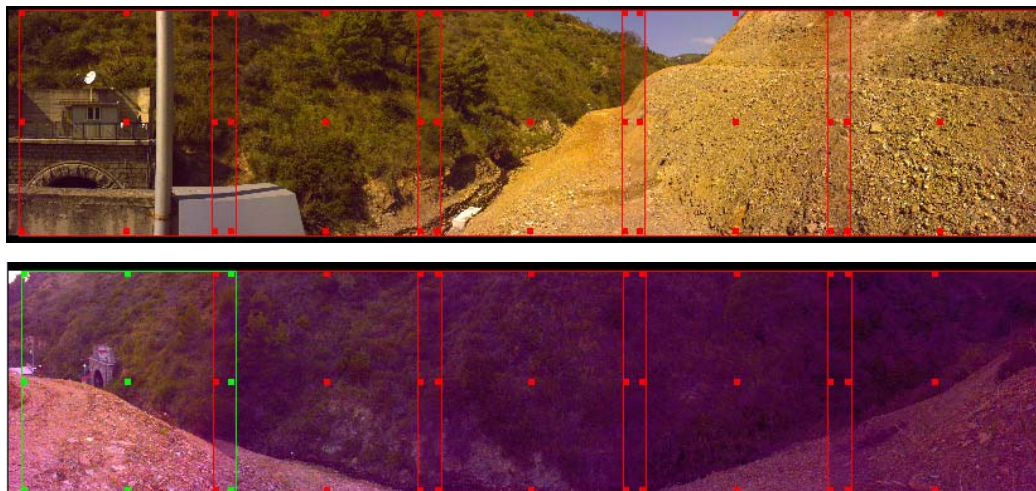


Figura 4 – Coperture dei rilievi di ottobre dai due punti di stazione

Rilievi di appoggio e elaborazione dei dati

Terminato ciascun rilievo laser, si sono effettuati i rilievi GPS per determinare la posizione dei punti di stazione e dei target e inquadrare le nuvole di punti in un frame di riferimento assoluto.

In figura 5 sono visibili gli schemi dei due rilievi GPS effettuati. Nel rilievo del luglio (a sinistra e al centro in figura) sono state misurate le basi dal pilastrino del Centro Iside (Iside 200) al punto di stazione laser e da questo ai sei target, distanti da esso circa 135 m. Nel rilievo di ottobre (a destra in figura) sono state misurate le basi sempre dal pilastrino Iside 200 ai due punti di stazione laser, in modalità statico con circa 40' di stazionamento per distanze di circa 200 m. Successivamente sono state eseguite le basi tra il punto di stazione laser e i singoli target, in modalità statico-rapido (tempo di stazionamento circa 15' per punto, distanze tra i 10 e i 50 m, rate di acquisizione 5Hz). Si ricorda che per tutta la durata delle scansioni laser le posizioni dei punti di stazione sono state misurate con l'antenna GPS montata sul laser scanner, per cui si dispone di lunghi stazionamenti per determinare la posizione del punto di stazione del laser rispetto al punto esterno.

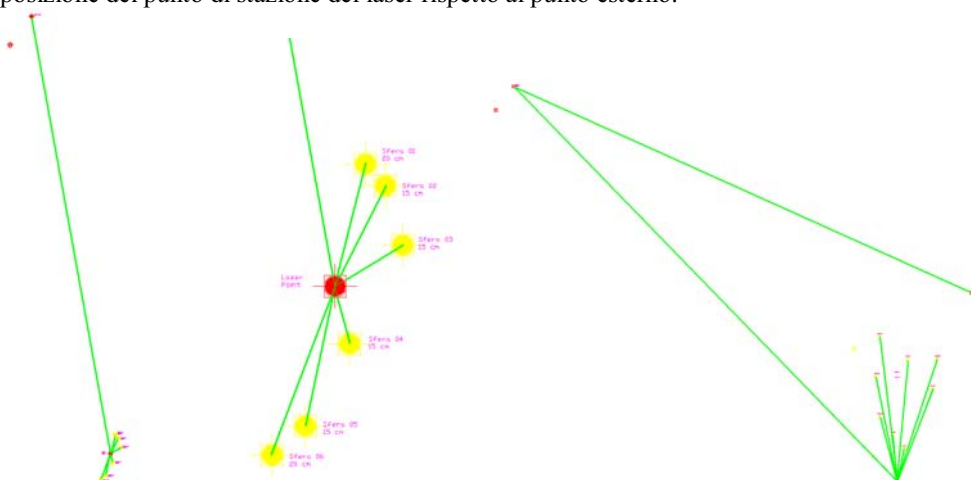


Figura 5 – Schemi dei rilievi GPS (di luglio a sinistra e al centro, di ottobre a destra)

Le scansioni laser provenienti da ogni campagna di misura sono state editate, allineate e trasformate nel sistema di riferimento materializzato dai target sferici in modo da fornire un'unica nuvola di punti che costituirà la base per la successiva costruzione dei DTM.

La prima fase dell'elaborazione è consistita nell'individuare i punti riflessi dai target e che appartengono a una porzione di sfera e ricostruire la sfera e quindi il suo baricentro, mediante opportuni algoritmi di matching, nel sistema di riferimento legato al laser.

Ciascuna nube laser può essere orientata tramite le coordinate del punto di stazione e dei target. I target costituiscono quindi i "punti doppi" necessari a riportare tutti i rilievi laser in un unico frame di riferimento cartografico. Eseguite queste operazioni si sono ottenute quindi le nuvole dei punti riflessi dal corpo di frana, riferiti a un sistema assoluto.

Le scansioni acquisite a luglio e ottobre 2008 sono state elaborate con il software Polyworks della Innovmetric. I dati sono stati georeferenziati sia nel sistema geocentrico WGS84 che nel sistema cartografico UTM, tramite le coordinate note dei target sferici. In figura 6 sono mostrate le nuvole di punti laser inserite nel sistema cartografico relativo alle due scansioni effettuate durante i rilievi di luglio da un unico punto di stazione (figura a sinistra, indicate con punti rossi) e di ottobre dai due punti di stazione (figura di destra, in celeste chiaro e in blu). nelle figure 7 e 8 sono invece riportate le nuvole totali di punti acquisite nei due rilievi e visualizzate in Polyworks.

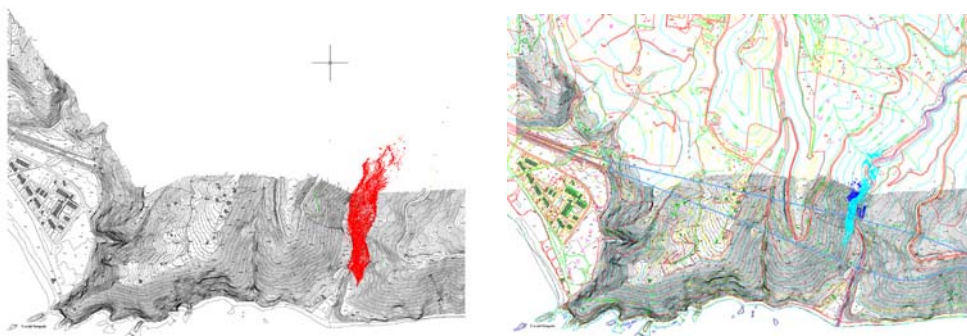


Figura 6 – Rilievi di luglio (a sinistra) e di ottobre (a destra) inseriti in riferimento alla cartografia

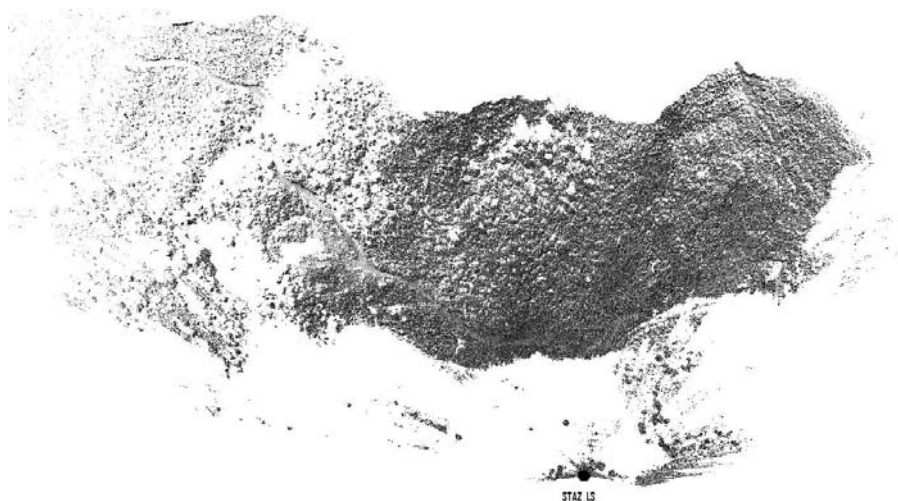


Figura 7 – Unione delle scansioni del rilievo di luglio

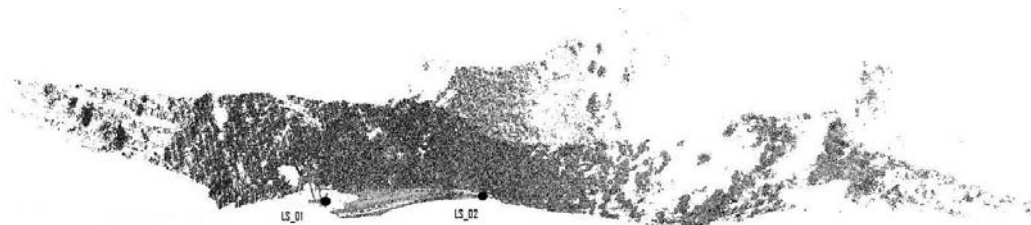


Figura 8 – Unione delle scansioni del rilievo di ottobre

Una volta effettuato l'inquadramento di ogni rilievo nello stesso frame, è possibile completare l'editing dei punti della nube e passare alla costruzione del relativo DTM, come TIN (Triangulated Irregular Network) o come GRID.

Nell'ipotesi di interpolare i punti delle nuvole su un grigliato con lo stesso passo nei due rilievi, la metodologia di confronto tra i DTM è ben nota e sperimentata e permette di ottenere in modo assai semplice il grigliato differenza e quindi di descrivere l'evoluzione della superficie studiata. Nel caso del monitoraggio di una frana con forti pendenze, morfologia articolata e larghi movimenti di masse tra i rilievi, il metodo presenta però forti limiti e la superficie "differenza" risulta difficilmente interpretabile. Sono in fase di studio tecniche di calcolo più raffinate, che utilizzano direttamente i punti rilevati senza interpolarli su grigliato.

Sviluppi futuri

Le campagne test fino a ora effettuate e le elaborazioni sui dati descritte sono servite per individuare le problematiche e mettere a punto la metodologia di rilievo e di trattamento dei dati.

E' da sottolineare che i continui macro cambiamenti della morfologia del terreno, per opera dell'uomo, rendono assai difficile una progettazione esecutiva delle campagne ed è di conseguenza necessario operare secondo criteri di flessibilità.

Un elemento da curare è l'istituzione di una rete costituita da almeno tre vertici situati in aree non interessate dal movimento franoso, collegati tramite basi GPS a stazioni permanenti: la Regione Campania sta realizzando una rete NRTK che potrà essere utilizzata (in post processamento). La posizione dei vertici verrà rimisurata a ogni ripetizione del rilievo per verificare la stabilità del sistema di riferimento. Dai tre vertici potranno essere collegati tutti i punti di controllo sui quali collocare i target, nonché i punti di stazione laser, in quanto l'antenna di un ricevitore GPS può essere montata in asse con lo strumento laser.

Per quanto riguarda i punti di stazione, sono state scelte tre posizioni ottimali per ragioni di visibilità, dalle quali è possibile rilevare l'intero corpo di frana. Si è deciso tuttavia di non materializzare tali punti a causa della necessità di cambiarne l'ubicazione per eventuali modifiche intervenute nella morfologia e non prevedibili a priori.

Si prevede di utilizzare come sistema di riferimento per i calcoli il sistema geodetico locale con origine in uno dei punti fissi prossimi. Il rilievo dei target e delle stazioni con GPS e quindi la conoscenza delle loro coordinate nel Sistema Geocentrico permetterà di connettere le varie nubi di punti che si rendessero necessarie per completare il rilievo; il software necessario è già stato realizzato e applicato nel test.

Un aspetto che richiederà approfondimenti è il delicato passaggio dalla nube al Modello Numerico per evitare di perdere informazioni nel passaggio. Per una prima valutazione, dopo aver realizzato un grigliato con una delle nubi di punti, sono stati calcolati i residui dei punti originali rispetto al grigliato da loro stessi generato: in uno dei due rilievi si è ottenuta una mediana di -4 cm (media 9 cm), ma nell'altra una mediana di ben 75 cm ! E questo a parità del passo del grigliato di 0.5 m.

Un altro aspetto che sarà studiato è la dimensione dei target sferici da impiegare in funzione delle distanze dallo strumento in modo che riceva un sufficiente numero di punti da rendere ben determinato il centro della sfera.

Si prevede di realizzare un software specifico per il fit della sfera per verificare i risultati del software. Analogamente verranno realizzati codici per il calcolo delle trasformazioni inserendo parametri statistici soprattutto per l'individuazione degli outlier e per l'indeterminazione delle stime dei parametri di rototraslazione e quindi dell'indeterminazione dei punti trasformati. Il software utilizzato per la gestione delle nubi di punti non prevede tali parametri.

Bibliografia

- Boehler W., Bordas Vicent M., Marbs A. (2003), "Investigating Laser scanner accuracy", CIPA 2003 XIXth International Symposium, 30 September – 04 October, 2003, Antalya, Turkey.
- Giussani A., Scaioni M. (2006), "Application of TLS to support landslides study: survey planning, operational issues and data processing", International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI - 8/W2.
- Gruen A., Akca D. (2005), "Least squares 3D surface and curve matching", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 59, 151-174.
- Monserat O., Crosetto M. (2008), "Deformation measurement using terrestrial laser scanning data and least squares 3D surface matching", submitted to the ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing (in press).
- Schmid T., Schack-Kirchner H., Hildebrand E. (2006), "A case study of terrestrial Laser scanning in erosion research: calculation of roughness and volume balance at a logged forest site", International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI - 8/W2.
- Wand M. (2007), "Reconstruction of Deforming Geometry from Time-Varying Point Clouds", Eurographics Symposium on Geometry Processing (2007).
- Wunderlich T. (2003), "Terrestrial Laser Scanners – an Important Step towards Construction Information", FIG Working Week 2003 Paris, France, April 13-17, 2003.

Ringraziamenti

Il lavoro presentato è stato svolto nell'ambito del PRIN 2008.

Si ringraziano: il Centro Iside per aver consentito l'utilizzo di un pilastrino di sua proprietà e averne fornito le coordinate nel sistema cartografico; il prof. Antonio Vettore dell'Università di Padova per averci prestato il software per l'elaborazione dei dati; l'ing. Salvatore Ottovoggio per aver partecipato ai rilievi.