

Rilievo laser scanning a lunga distanza su frana mediante **ILRIS LR**

di Arianna Pesci, Giuseppe Casula, Elena Bonali ed Enzo Boschi

I sistemi laser a scansione terrestre caratterizzati da una lunga portata, cioè capaci di rilevare su distanze fino a 3 km, sono oggi sempre più utilizzati nel monitoraggio del territorio e nel controllo del dissesto o, in generale, delle variazioni morfologiche.

Fin dal 2005 l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha operato in ambiente vulcanico grazie alle interessanti prestazioni degli scanner ILRIS 3D e ILRIS ER (Optech). La precisione e l'alta densità delle misure ottenute, insieme alla potenza dei sistemi di allineamento delle immagini hanno reso possibile, tra le tante esperienze, il monitoraggio delle variazioni superficiali nel cratere del Vesuvio, l'identificazione delle pareti maggiormente interessate da fenomeni franosi e la valutazione, con buona precisione, dei volumi di roccia crollati [Pesci et al., 2011a].

Oggi, le nuove potenzialità offerte dallo sviluppo della tecnologia laser a scansione terrestre, principalmente concentrate nel ridurre i tempi di lavoro e aumentare la portata della misura, senza tuttavia alterarne sensibilmente la precisione, aprono senz'altro una nuova prospettiva nel controllo del territorio. In questo lavoro, oltre al confronto tra le caratteristiche tecniche degli scanner utilizzati, viene descritta l'esperienza di rilievo effettuata nel Marzo 2011 in un'area di frana dell'Appennino toscano di grandi dimensioni, densamente abitata, mediante il nuovo modello ILRIS LR (Optech), cortesemente messo a disposizione da Codevintec Italiana.

Lo strumento ILRIS ER

Il laser scanner terrestre ILRIS ER (Optech), in dotazione all'INGV è caratterizzato principalmente dai seguenti parametri: lunghezza d'onda $\lambda = 1535$ nm; apertura angolare $\theta = 170$ μ rad; limite di diffrazione $d = 12$ mm; passo angolare $\alpha = 20$ μ rad; velocità di acquisizione 2500-3500 punti/s. Va notato che il segnale, a questa lunghezza d'onda, viene quasi completamente assorbito in presenza di acqua (o neve).

La divergenza del fascio laser (in mm), che impatta l'effettiva impronta del segnale sulla superficie osservata (in direzione normale), è data dalla semplice relazione D (mm) = $0.17 \cdot R$ (m) + 12, in cui entrano in gioco l'apertura angolare (θ), limite di diffrazione (d) ed R , che esprime (in metri) la distanza dal punto di osservazione all'elemento illuminato della superficie. Il limite di diffrazione viene calcolato in base alla diametro del foro da cui viene inviato il segnale di una determinata lunghezza d'onda (il termine "foro" viene qui utilizzato per indicare in maniera semplice l'elemento semitrasparente che compone parte del sistema laser e dal quale la luce amplificata si irradia all'esterno);

in questo caso si può calcolare come d_r (mm) = $2.44 \cdot \lambda / (12 \cdot 10^{-3}) \approx 0.3$ mm [Balstavias, 1999].

Il passo angolare (α) è il parametro che determina il passo di campionamento sulla linea di scansione, che viene calcolato come: ss (mm) = $0.02 \cdot R$ (m). Si nota quindi da queste semplici formule che è possibile raggiungere un buon livello di overlapping scegliendo opportunamente il passo di campionamento in base alla distanza di lavoro. Inoltre, sopra a distanze dell'ordine di 100 m, si può sempre raggiungere il rapporto $D/ss = 10$. In merito alla velocità di acquisizione, lo scanner ILRIS 3D ER è in grado di misurare alla frequenza di 2.5 kHz.

Oltre alle caratteristiche geometriche e fisiche che influenzano sulla precisione e sulla risoluzione delle scansioni ottenute, un parametro fondamentale è la portata dello strumento, cioè la massima distanza di lavoro possibile $maxR$. Tale valore dipende prevalentemente dalla riflettività degli elementi illuminati, cioè dalla loro capacità di diffondere il segnale ricevuto, ed è strettamente correlato alla rugosità del materiale ed alla lunghezza d'onda del raggio laser. In condizioni normali, lo strumento ILRIS ER è in grado di operare su distanze di alcune centinaia di metri in presenza di materiali con scarsissima riflettività ($< 10\%$), raggiunge generalmente distanze comprese tra 500 m e 1000 m su materiali a media riflettività ($10\% < x < 40\%$) e supera 1 km, raggiungendo distanze anche maggiori di 1.5 km, nei casi migliori (80/90%).

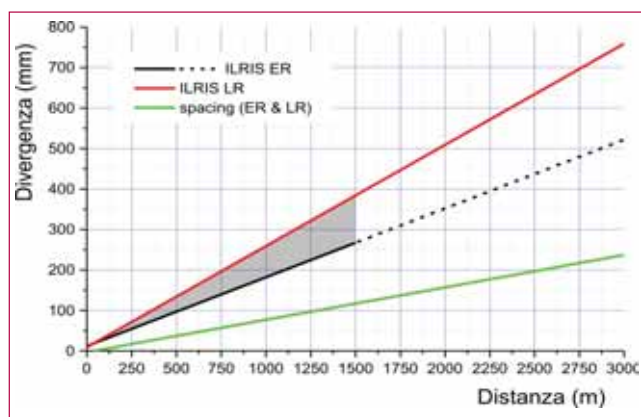


Fig. 1 – Grafico comparativo tra la divergenza di ILRIS 3D ER e ILRIS LR; è rappresentata anche la funzione dello spot (minimo) che rimane invariato su entrambi i modelli.

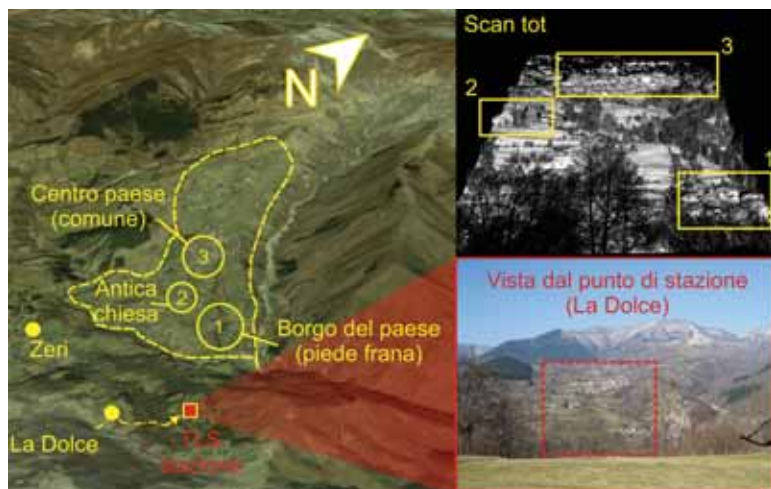


Fig. 2 - a) La frana di Patigno ed il punto di stazione TLS in località La Dolce (mappa da Google Earth); b) la vista di Patigno dal punto di stazione; c) la nuvola di punti totale e le sottoaree delle scansioni successive.

Lo strumento ILRIS LR

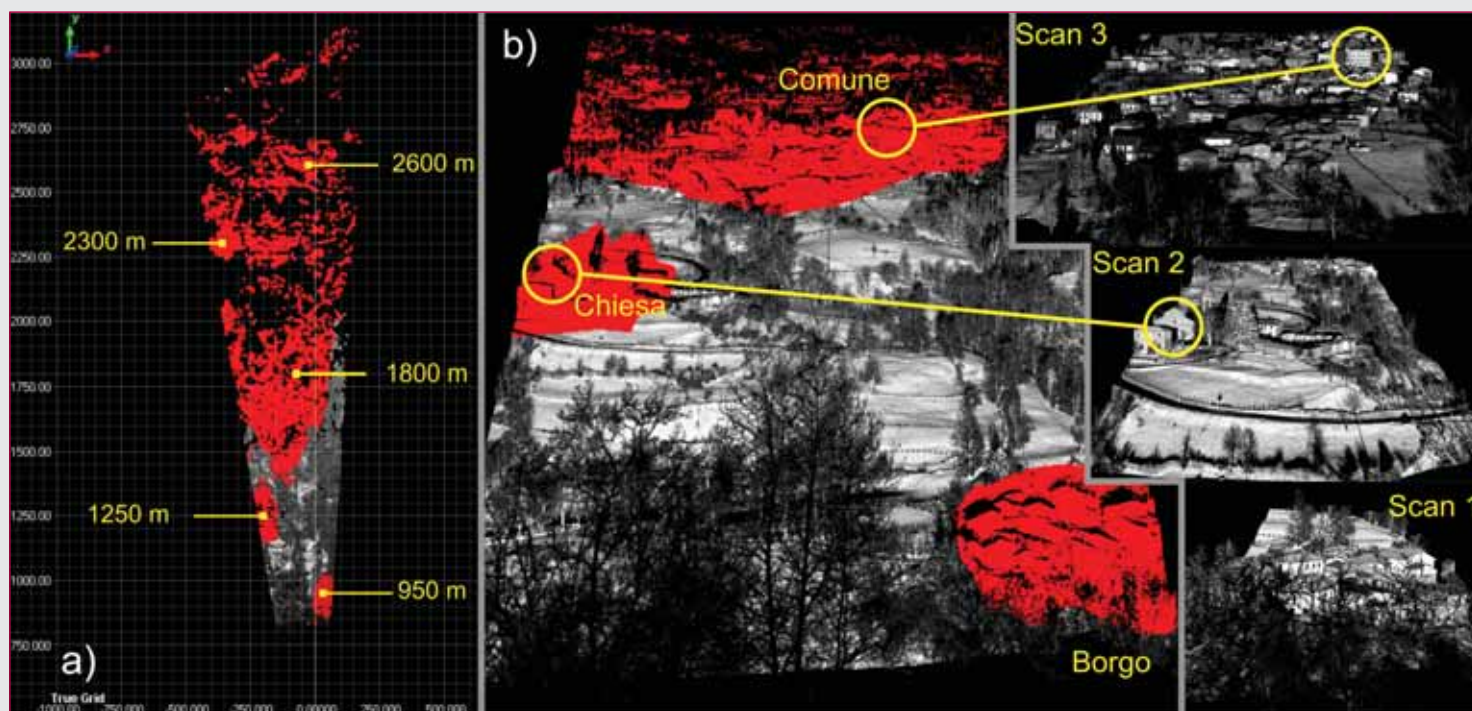
Il nuovo strumento ILRIS LR è stato sviluppato per mantenere quasi inalterate le caratteristiche del modello precedente ma sono stati introdotti alcuni cambiamenti significativi al fine di migliorarne le prestazioni. La lunghezza d'onda $\lambda_{LR} = 1064 \text{ nm}$ permette il rilievo in presenza di superfici bagnate o innevate. Inoltre, il segnale attualmente è più potente: si tratta infatti di un laser classe 3 che raggiunge il livello 1M solo oltre i 114 m (<http://www.sciencibuddies.org>). Per questo motivo una maggiore cautela in fase di utilizzo è consigliabile agli operatori. La nota più interessante è la possibilità di raggiungere distanze assai maggiori rispetto allo scanner ILRIS ER: infatti, la portata garantita in presenza di materiale a bassa riflettività è di oltre 1 km ed in presenza di materiali più riflettenti si raggiungono i 3 km. A parte la nuova portata, le caratteristiche geometriche di rilievo sono rimaste abbastanza simili. Il passo di campionamento è rimasto lo stesso e la divergenza è solo leggermente maggiore. In particolare, si è passati da $\theta = 170 \text{ }\mu\text{rad}$ a $\theta_{LR} = 250 \text{ }\mu\text{rad}$.

Tenendo in considerazione la stessa dimensione del foro di emissione degli impulsi laser, relativa al sistema ILRIS ER, si ottiene la semplice relazione per il calcolo della divergenza: $D_{LR} \text{ (mm)} = 0.25 \cdot R \text{ (m)} + 9$, dove R indica la distanza ed è espressa in metri. Infine, è da considerare la maggiore velocità di rilievo: il nuovo ILRIS LR, infatti, acquisisce i punti ad una frequenza di 10 kHz (quattro volte più veloce del modello precedente). In figura 1 sono riportate le funzioni della divergenza e del passo di campionamento con la distanza per entrambi i modelli.

L'esperienza in frana

Il rilievo effettuato si trova in una interessante area di frana, in provincia di Massa Carrara e, precisamente, ci si riferisce alla frana di Patigno (comune di Zeri, MS). Tale frana, si sviluppa in direzione NW-SE per una lunghezza massima pari a circa 2.5 km e una larghezza di circa 1 km al piede, per una superficie complessiva di circa 1.4 km², su un versante debolmente inclinato, i cui tratti morfologici essenziali, idrografici e orografici, sono fortemente condizionati dall'assetto geologico-tettonico dell'area dell' Appennino settentrionale. Studi recenti, organizzati mediante analisi integrate tra dati GPS di stazioni semipermanenti e immagini da fotogrammetria aerea mostrano un continuo e lento movimento differenziale nelle parti del versante franoso, dal piede alla parte sommitale (nicchia) con valori di abbassamento variabili tra 3 e 6 cm annui [Baldi et al., 2006]. Il punto di stazione per l'esperimento è stato scelto dopo un accurato sopralluogo nel paese di Patigno e nelle aree limitrofe. In particolare, la ricerca si è concentrata nella zona del versante opposto, negli snodi sterrati che passano per il paese La Dolce e portano ai campi coltivati, dove la copertura di alberi e boscaglia è assente. In figura 2 è mostrato il punto di stazione, e sono evidenziate tre zone del paese caratterizzate da movimenti differenziali di scivolamento lungo il versante. In particolare, la zona 1 identifica la borgata di

Fig. 3 - a) La scansione totale in vista aerea a mostrare le distanze planimetriche dal punto di scansione; b) Le scansioni successive inquadrare sulla nuvola di punti totale e l'individuazione di due punti di interesse: palazzo comunale e chiesa.



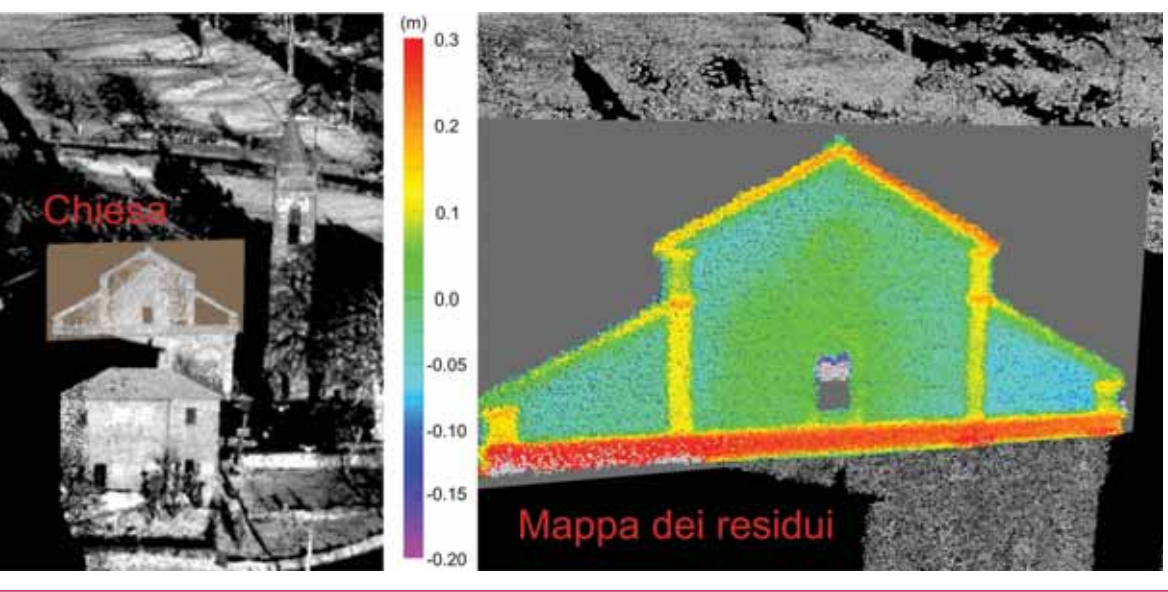



Fig. 4 – Scan 2: il piano interpolatore della parte alta della chiesa. La mappa dei residui mostra sia l'alta densità dei punti misurati sia la precisione della misura.

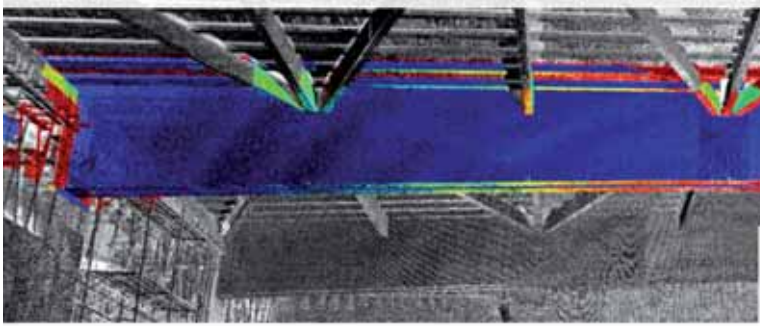
case costruite al piede della frana; la zona 2 è posta nella parte inferiore del paese e contiene la chiesa storica ed il cimitero; la zona 3 racchiude la maggior concentrazione degli edifici di Patigno compresa la sede del Comune. Dal punto di stazione sono state effettuate 4 scansioni. La scansione iniziale (Scan tot) è stata realizzata selezionando l'intera area del paese con un passo di campionamento pari a 10 cm alla distanza di 1 km. In seguito sono state realizzate 3 scansioni più fitte per zoomare le aree 1, 2 e 3 descritte nella figura precedente.

Le nuvole di punti, in vista prospettica secondo la linea di acquisizione ed in vista aerea sono meglio descritte nella figura 3: è facile verificare una portata di 3 km ed un rilievo completo nelle zone erbose e vegetate fino a 2 km. La figura 4 mostra un dettaglio della scansione Scan 2: in particolare, i punti che giacciono sulla chiesa (nella parte alta) sono stati interpolati con un piano e, successivamente, le distanze tra i punti ed il piano sono state misurate lungo la normale allo stesso. I dettagli della procedura per l'analisi dei dati non verrà qui descritta rimandando




JRC 3D Reconstructor


COMPATIBILE CON I DATI DI TUTTI I PRINCIPALI SENSORI LASER SCANNER TERRESTRI | MOBILI | AEREI



- Software di trattamento dati laser scanner, ideale per applicazioni di ingegneria civile, costruzioni e disaster management
- Collaudi e controlli "as built" di edifici, monitoraggi, rilevamento del fuori piombo di costruzioni
- Mappatura di fessurazioni superficiali di ponti, dighe, viadotti e strutture in calcestruzzo
- Gestione di grandi moli di dati (versione 64bit)
- Tecnologia nata nel Centro Comune di Ricerca (JRC) di Ispra della Commissione Europea

CONTATTATECI per Ulteriori informazioni . Specifiche tecniche . Videoconferenza e Versione demo . Offerte commerciali ed educational . Contratti di noleggio





www.gexcel.it | sales@gexcel.it
 Telefono (+39) 030 65 95 001

i lettori alla vasta manualistica (<http://facility.unavco.org>). La mappa delle differenze mostra i dettagli architettonici della chiesa, quali le cornici, la finestra ed il rosone centrale. È da notare che dettagli dell'ordine di 5 cm sono rilevati ad una distanza di 1250 m circa, confermando la qualità della scansione.

Simulazione e misure

L'ultima fase dell'esperimento è una simulazione, mirata a dimostrare l'utilità di uno strumento laser a scansione terrestre nel controllo del territorio afflitto da dissesto idrogeologico.

La scansione Scan 3 è stata utilizzata per creare una finta deformazione nell'area del paese; in particolare si è deciso di simulare un movimento di rototraslazione del solo palazzo comunale, identificato in figura 5.

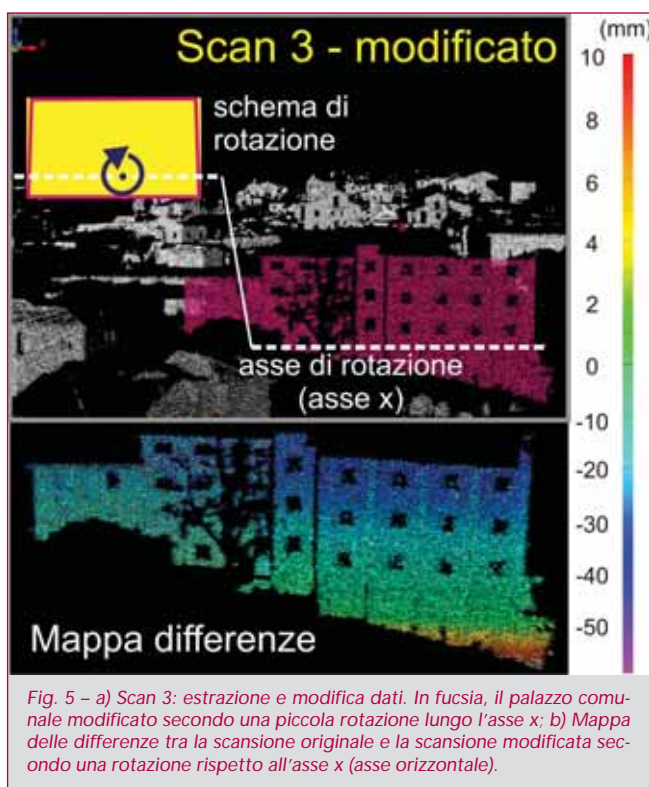


Fig. 5 – a) Scan 3: estrazione e modifica dati. In fucsia, il palazzo comunale modificato secondo una piccola rotazione lungo l'asse x; b) Mappa delle differenze tra la scansione originale e la scansione modificata secondo una rotazione rispetto all'asse x (asse orizzontale).

I punti relativi al palazzo di interesse sono stati estratti e modificati secondo una rotazione di 0.005° rispetto all'asse x (asse orizzontale). In seguito, la nuvola di punti modificata è stata creata incollando i nuovi punti relativi al palazzo nella scansione originale. La piccola deformazione, introdotta artificialmente nella nuvola di punti, consiste in circa 4 cm nella parte sommitale dell'edificio e di -1 cm circa nella parte bassa, poiché il fulcro della rotazione è stato scelto in un punto corrispondente al piano rialzato dello stabile. Alla distanza di circa 2 km, l'impronta laser è di circa 50 cm, mentre le deformazioni introdotte sono stimate in un intervallo di circa 5 cm. Il passo di campionamento, inoltre, è poco inferiore a 10 cm.

Conclusioni

Nel Marzo 2011 è stato possibile sperimentare il nuovo strumento laser a scansione terrestre della Optech, lo scanner ILRIS LR, una evoluzione della versione strumentale ILRIS ER, attualmente in dotazione all'INGV. L'esperimento è stato effettuato con lo scopo di rilevare l'intero abitato di un paese costruito su un versante in frana, caratterizzato da movimenti relativi differenziali di alcuni centimetri l'anno. Le scansioni sono state acquisite dal versante opposto (località La Dolce) ad una distanza (superficie-strumento) compresa tra 900 m e 3000 m.

Il nuovo scanner terrestre, nonostante sia caratterizzato da una divergenza più grande (diametro dell'impronta del fascio laser), possiede delle caratteristiche che lo rendono assai più efficiente nel rilievo a grande distanza, rispetto al modello precedente.

Un grande miglioramento, per esempio, è la portata, fino a più di 3 km (200% in più). Inoltre, è vincente sul piano della velocità di acquisizione: la possibilità di misurare 10000 punti al secondo, infatti, equivale al 400% in più, rispetto al ILRIS ER. Ciò significa poter eseguire rilievi a distanze generalmente acquisite solo mediante profilometri laser in tempi estremamente ridotti con una grande densità del modello finale. Una nuvola di punti completa e dettagliata viene cioè acquisita in una decina di minuti, rispetto ai quaranta minuti generalmente impiegati per ottenere alte risoluzioni.

Nelle situazioni in cui sia necessario controllare le zone abitate interessate da dissesto ed instabilità, spesso si ricorre alle analisi di immagini digitali aeree, oppure si ricor-

GEOGRA

Scansioni 3D (laser scanner) •

Stereofotogrammetria •

Fotogrammetria •

Topografia •

Batimetria •

Rilievi tradizionali •

Elaborazioni informatiche •

via Indipendenza, 106
46028 Sermide, Mantova
tel. +39 0386.62628
fax +39 0386.960248

info@geogra.it • www.geogra.it



re a precise misure, ma puntuali, mediante l'installazione di stazioni GPS permanenti o semi-permanenti. Nel primo caso, a parte il costo notevole per la realizzazione dei voli, l'analisi dei dati richiede un tempo abbastanza rilevante e, in genere, le risoluzioni spaziali sono dell'ordine del mezzo metro (o una ventina di centimetri) mentre quelle temporali dell'ordine di uno o qualche anno. Nel secondo caso, invece, le precisioni sono generalmente inferiori al centimetro ma l'informazione è relativa a soli pochi punti (a meno di non installare una fitta rete di stazioni, con costi elevati e la prospettiva di una complessa gestione delle stesse). Questa nuova tipologia di laser scanner, che ha superato i classici limiti di portata, potrebbe essere un elemento di integrazione e di congiunzione tra le due tecniche, aprendo nuove possibilità nel rilievo delle aree di frana.

Inoltre, la non necessità di monumentare un punto di stazione permette di organizzare e realizzare in maniera speditiva e libera le campagne di misura, fatto che contraddistingue da tempo i lavori effettuati mediante laser scanning.

I risultati dell'esperimento mostrano come sia stato possibile misurare piccole variazioni su distanze superiori a 2 km e come sia stato possibile, dalla elaborazione delle nuvole di punti, misurare i dettagli architettonici degli stabili (in questo caso la chiesa) a distanze maggiori di 1 km.

Sebbene l'esperienza di rilievo descritta in questo rapporto tecnico riguarda un'area in frana dell'Appennino parmense, i risultati vanno considerati nell'ottica del rilievo in aree vulcaniche, quali per esempio le zone crateriche dell'Etna o le aree di difficile misura quali la Sciara del Fuoco (Isola di Stromboli). Lo scanner ILRIS LR potrebbe essere la soluzione per il rilievo a grande distanza, anche in condizioni atmosferiche difficili per la presenza di neve o di terreno bagnato; infatti la differente lunghezza d'onda (attualmente 1064 nm) si allontana dal picco di assorbimento dell'acqua.

Ringraziamenti

Un grazie particolare a Marco Baccocchi e all'intero staff Codevintec per la possibilità data di utilizzare il nuovo strumento scanner ILRIS LR e per la partecipazione alla campagna di misura.

Bibliografia

- BALDI, P., CENNI, N., FABRIS, M., ZANUTTA, A. (2008), KINEMATICS OF A LANDSLIDE DERIVED FROM ARCHIVAL PHOTOGRAMMETRY AND GPS DATA, GEOMORPHOLOGY, VOL.102, PP.435-444.
- BALSAVIAS, E.P. (1999), AIRBORNE LASER SCANNING: BASIC RELATIONS AND FORMULAS, ISPRS JOURNAL OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, VOL.54, PP.199-214
- PESCI, A., TEZA, G., CASULA, G., LODDO, F., DE MARTINO, P., DOLCE, M., OBRIZZO, F., PINGUE, F. (2011A), MULTITEMPORAL LASER SCANNER-BASED OBSERVATION OF THE MT. VESUVIUS CRATER: CHARACTERIZATION OF OVERALL GEOMETRY AND RECOGNITION OF LANDSLIDE EVENTS, ISPRS JOURNAL OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, VOL.66, PP.327-336.
- ([HTTP://WWW.OPTECH.CA](http://www.optech.ca))

Parole chiave

LASER SCANNER TERRESTRE, MODELLAZIONE 3D, FRANE, MONITORAGGIO.

Abstract

Laser scanning survey of landslides by means of long distance ILRIS LR

Terrestrial laser scanning (TLS) is a remote sensing technique for high density acquisition of the physical surface of scanned, currently used in geologic surveys, engineering practice, cultural heritage, and mobile mapping. The very long range scanners, allow the acquisition from distances of the order of about 1 km with material characterized by medium/high reflecting properties. At present, the efforts in technological advancements are highly aimed at the extension of maximum range, at the reduction of acquisition time, and so on. The ILRIS LR laser scanner, provided by Optech, is used to survey a very dense populated landslide area in the Tuscany Apennines, in the frame of a scientific experiment planned by INGV to test its performances.

Autori

ARIANNA PESCI (ARIANNA.PESCI@BO.INGV.IT) E GIUSEPPE CASULA
ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA, SEZIONE DI BOLOGNA, V. CRETI 12, 40128 BOLOGNA

ELENA BONALI
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA, DAPT, V.LE RISORGIMENTO 2, 40136 BOLOGNA.

ENZO BOSCHI
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA, DIPARTIMENTO DI FISICA - GEOFISICA, V. LE PICHAT 8, 40127 BOLOGNA.