

# Rapporti tecnici

# INGV

**Il laser scanner Optech ILRIS LR:  
nuove specifiche per applicazioni su  
lunga distanza**

# 194



## **Direttore**

Enzo Boschi

## **Editorial Board**

Raffaele Azzaro (CT)

Sara Barsotti (PI)

Mario Castellano (NA)

Viviana Castelli (BO)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Luigi Cucci (RM1)

Mauro Di Vito (NA)

Marcello Liotta (PA)

Simona Masina (BO)

Mario Mattia (CT)

Nicola Pagliuca (RM1)

Umberto Sciacca (RM1)

Salvatore Stramondo (CNT)

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (RM1)

Aldo Winkler (RM2)

Gaetano Zonno (MI)

## **Segreteria di Redazione**

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860055

Fax +39 06 36915617

[redazionecen@ingv.it](mailto:redazionecen@ingv.it)



# Rapporti tecnici INGV

## IL LASER SCANNER OPTECH ILRIS LR: NUOVE SPECIFICHE PER APPLICAZIONI SU LUNGA DISTANZA

Arianna Pesci<sup>1</sup>, Giuseppe Casula<sup>1</sup>, Elena Bonali<sup>2</sup> e Enzo Boschi<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna)

<sup>2</sup>Università degli Studi di Bologna (Dipartimento di Architettura e Pianificazione Territoriale)

<sup>3</sup>INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia)

<sup>4</sup>Università degli Studi di Bologna (Dipartimento di Fisica, Settore Geofisica)

# 194



## **Indice**

Premessa	5
Introduzione	5
1. ILRIS: ER vs LR	5
2. L'area di frana	7
3. Il rilievo TLS: ILRIS LR	8
3.1 Il punto di stazione	8
3.2 Le scansioni LR	9
4. Simulazione e misure	12
Conclusioni	13
Ringraziamenti	14
Bibliografia	14



## Premessa

Il presente rapporto tecnico è stato realizzato per mostrare le caratteristiche del nuovo laser scanner Optech ILRIS 3D LR e per sottolineare le maggiori possibilità offerte nell'ambito del rilievo ad alta precisione su lunghe distanze. Superando i limiti imposti dalle strumentazioni precedenti, il nuovo scanner apre nuove possibilità nel controllo del territorio e dei movimenti superficiali del terreno, di particolare interesse per applicazioni in aree vulcaniche e interessate da dissesto idrogeologico.

## Introduzione

I sistemi laser a scansione terrestre sono oggi ampiamente utilizzati nel monitoraggio del territorio. Lo strumento ILRIS 3D ER, acquistato dall'INGV nel 2008, ha consentito di realizzare interessanti studi in merito alla morfologia delle superfici fisiche osservate sia in ambiente vulcanico che in ambito architettonico. Mediante le campagne di misura effettuate nel 2009 e 2010, per esempio, è stato possibile monitorare le variazioni superficiali nel cratere del Vesuvio [Pesci et al., 2011a], identificare le pareti maggiormente interessate da fenomeni franosi e valutare con buona precisione i volumi di roccia crollati. Si è operato nello stesso modo iniziando il lavoro di monitoraggio legato alle aree in frana sull'Isola di Vulcano dove, seppur il risultato sia ancora preliminare, è stato possibile valutare effetti di movimenti superficiali di alcuni centimetri all'anno, nonché di osservare il crollo di alcuni elementi rocciosi alla sommità della Forgia Vecchia [Pesci et al., 2011b]. Le altre attività legate al controllo delle aree vulcaniche, hanno permesso di ottenere dei modelli iniziali di riferimento e di testare la metodologia di rilevamento anche in presenza di attività fumarolica e in aree caratterizzate da elementi a bassa riflettività. Inoltre, grazie agli incoraggianti risultati ottenuti in seguito a specifici esperimenti [Pesci et al., 2011c] realizzati per valutare le reali risoluzioni di un rilievo laser scanner nelle medie distanze (100 m) è stato possibile verificarne l'idoneità anche per il rilievo architettonico. In questo ambito, successivamente, è stato realizzato un interessante studio morfologico delle Due Torri di Bologna (costruzioni medievali) che ha messo in evidenza particolari correlabili con l'affaticamento delle murature e con gli eventi atmosferici e sismici occorsi nei secoli [Pesci et al., 2011d]. Il dato interessante che è emerso da queste ultime esperienze è senza dubbio la possibilità di applicare tale metodologia laser per lo studio di edifici lesionati in seguito alle scosse di terremoto, con ovvi risvolti positivi per finalità e scopi di protezione civile.

Nei paragrafi seguenti saranno brevemente riportate le peculiarità dello scanner ILRIS 3D ER e confrontate con le nuove prestazioni dello strumento ILRIS LR. Sarà inoltre mostrato il rilievo effettuato nel Marzo 2011 in un'area di frana dell'Appennino toscano e realizzata una simulazione utilizzando le nuvole di punti ottenute a distanze nettamente superiori a 1.5 km.

## 1. ILRIS: 3D ER vs LR

Il laser scanner terrestre in dotazione all'INGV è lo strumento Optech ILRIS 3D ER, caratterizzato principalmente dai seguenti parametri: lunghezza d'onda  $\lambda = 1535$  nm; apertura angolare  $\theta = 170$   $\mu$ rad; limite di diffrazione  $d = 12$  mm; passo angolare;  $\alpha = 20$   $\mu$ rad; velocità di acquisizione (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), cioè l'effettiva impronta del segnale sulla superficie osservata, è data dalla semplice relazione  $D$  (mm) =  $0.17 \cdot R$  (m) + 12, in cui entrano in gioco l'apertura angolare ( $\theta$ ), 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 grandezza del foro<sup>1</sup> (diametro) da cui viene inviato il segnale di una determinata lunghezza d'onda; in questo caso si può calcolare come  $d_f$  (mm) =  $2.44 \cdot \lambda / (12 \cdot 10^{-3}) \cong 0.3$  mm [Balstavius, 1999].

Il passo angolare ( $\alpha$ ) 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

---

<sup>1</sup> 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.

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.

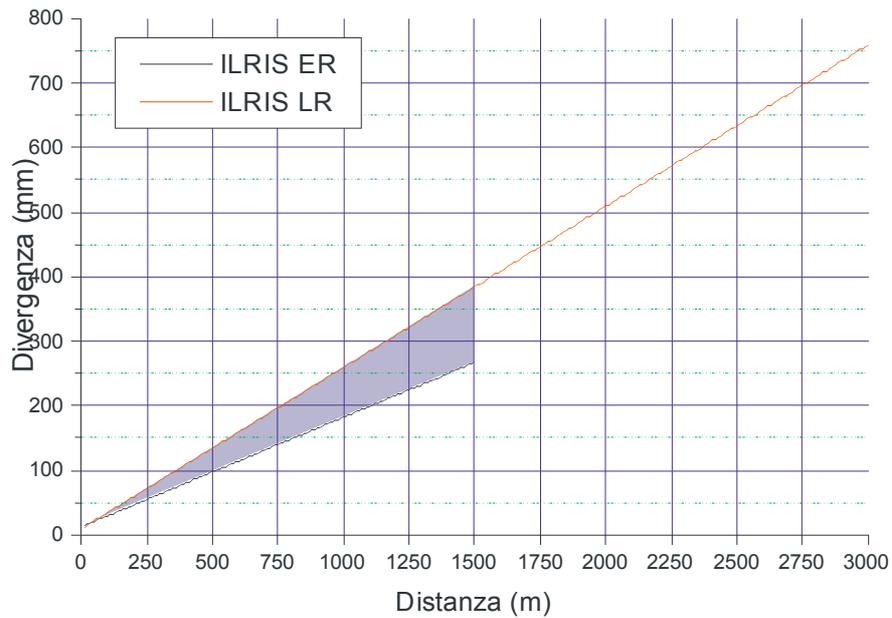
Oltre alle caratteristiche geometriche e fisiche che influiscono sulla precisione e sulla risoluzione delle scansioni ottenute, un parametro fondamentale è la portata dello strumento, cioè la massima distanza di lavoro possibile  $maxR$ . Tale valore dipende prevalentemente dalla riflettività degli elementi 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 3D 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%).

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. Le nuove specifiche sono riportate in figura 1, nella brochure ufficiale di Optech (<http://www.optech.ca>).

Parameter	ILRIS-3D	ILRIS-3D-ER	ILRIS-LR
Range 80% reflectivity	1200 m	1700 m	3000 m
Range 10% reflectivity	400 m	650 m	1330 m
Minimum range			
Laser repetition rate (peak and effective PRF) <sup>1</sup>	2500 to 3500 Hz		10,000 Hz
Efficiency (effective PRF/peak PRF)	100%		
Raw range accuracy <sup>2,3</sup>			
Raw range accuracy (averaged) <sup>3,4</sup>	n/a		4 mm @ 100 m
Raw angular accuracy			
<b>Scanner Performance</b>			
Field of view	40° x 40°		
Minimum step size <sup>5</sup>	0.001146° (20 μrad)	0.001146° (20 μrad)	
Maximum density (point-to-point spacing)	2 cm @ 1000 m		2 cm @ 1000 m
Rotational speed			
Rotational step size (minimum)			
Beam diameter (1/e <sup>2</sup> )	22 mm @ 100 m		27 mm @ 100 m
Beam divergence	0.009740° (170 μrad)		0.014324° (250 μrad)
Laser wavelength	1535 nm		1064 nm
Laser class <sup>6,7</sup>	1 or 1M		3

**Figura 1.** Caratteristiche dei laser scanner ILRIS.

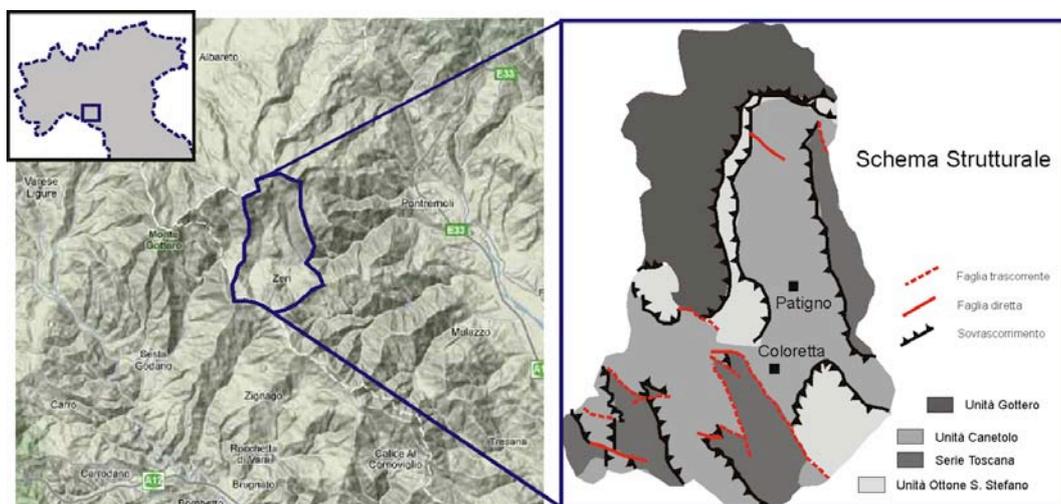
La lunghezza d’onda ora utilizzata, pari a  $\lambda_{LR} = 1064$  nm, permette il rilievo in presenza di superfici bagnate o innevate. Inoltre, il segnale attualmente è più potente: si tratta infatti di un laser classe 3 che raggiunge il livello 1M solo oltre i 114 m (maggiori dettagli sulla classificazione dei laser scanner sono ben illustrati alla pagina internet “Laser Safety Guide”: <http://www.sciencebuddies.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 3D 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  $\theta = 170$  μrad a  $\theta_{LR} = 250$  μrad. Tenendo in considerazione la stessa dimensione del foro di emissione degli impulsi laser, precedentemente calcolato, si ottiene la semplice relazione per il calcolo della divergenza:  $D_{LR}(\text{mm}) \approx 0.25 \cdot R(\text{m}) + 9$ , 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).



**Figura 2.** Grafico comparativo tra la divergenza di ILRIS 3D ER e ILRIS LR. Nel primo caso (linea nera) ci si è limitati a rappresentare il rapporto distanza-divergenza nel range 0-1500 m.

## 2. L'area di frana

Nel presente capitolo si descrive il rilievo effettuato 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 km<sup>2</sup>, 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. L'area studiata ricade nella porzione più a monte del bacino del Torrente Gordana, proprio a sud dello spartiacque principale dell'Appennino Settentrionale, ad est dello spartiacque con il Fiume Vara ed a nord della dorsale di Monte Vaio. Procedendo da ovest verso est si possono distinguere formazioni riferibili a quattro diverse unità tettoniche [Giuntini, 2005], appartenenti al Dominio Ligure (interno ed esterno), al Dominio Subligure e al Dominio Toscano (figura 3).



**Figura 3.** Localizzazione e schema strutturale dell'area di frana considerata (n.b. la mappa è stata ricostruita dalle informazioni e figure contenute nei lavori già citati in bibliografia).

Studi basati su analisi di fotogrammetria digitale e sismica a riflessione nei pressi dell'abitato di Patigno, hanno permesso di ricostruire un modello interpretativo della frana e di monitorarne il lento movimento. In particolare, le conclusioni ottenute da [Raiti et. al, 2006] descrivono un substrato articolato su cui scorre lentamente, lungo una serie di superfici localmente interrotte, un livello intermedio fortemente alterato e deformato ascrivibile alla formazione delle Argille e calcari; al tetto di questo lento movimento si impostano una serie di piccole frane superficiali che evolvono secondo varie tipologie (colamenti, traslazioni, crolli). Il confronto tra i modelli digitali (DTM) ottenuti dalle analisi stereoscopiche ed i metodi di analisi applicati mediante i sistemi di "ricollocazione" mediante ortofoto ha messo in evidenza complessi cinematismi di natura eterogenee nelle varie zone della frana, stimati tra il 1976 ed il 1999.

Studi più recenti, pubblicati da [Baldi et al., 2006] e organizzati mediante analisi integrate tra dati GPS di stazioni semipermanenti e immagini di fotogrammetria aerea relative agli anni 1975, 1987 e 2004, hanno mostrato anche ad oggi 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. La stazione permanente GPS installata sull'edificio del Comune e attiva dal 2004, ha permesso di ottenere la serie temporale delle coordinate e di stimare un preciso valore di velocità di "scivolamento" di circa 3.5 cm/a, in accordo con le analisi di fotogrammetria digitale. Inoltre, la disponibilità di un dato temporalmente denso quale le serie GPS ha permesso di ottenere un chiaro indizio della correlazione tra i movimenti franosi e gli eventi atmosferici, o meglio le precipitazioni.

### **3. Il rilievo TLS: ILRIS LR**

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, hanno aperto una nuova prospettiva nel controllo del territorio. Infatti, non essendo pensabile, fino a ieri, l'impiego di questa tecnologia in casi come quello del controllo dell'area in frana di Patigno, le uniche possibilità erano i rilievi aerei, notevolmente costosi e di non facile ripetizione.

Il contenuto di questo capitolo mostra l'esperimento eseguito nel marzo 2011 al fine di capire le reali prestazioni dello strumento ILRIS LR nei rilievi a grande distanza ( $\gg 1$  km), anche in condizioni geometriche non perfettamente adeguate.

#### **3.1 Il punto di stazione**

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 4 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 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 e vi è anche la sede del Comune.



**Figura 4.** La frana di Patigno ed il punto di stazione TLS in località La Dolce. Nel riquadro, la vista di Patigno dal punto di stazione (mappa da Google Earth).

### 3.2 Le scansioni LR

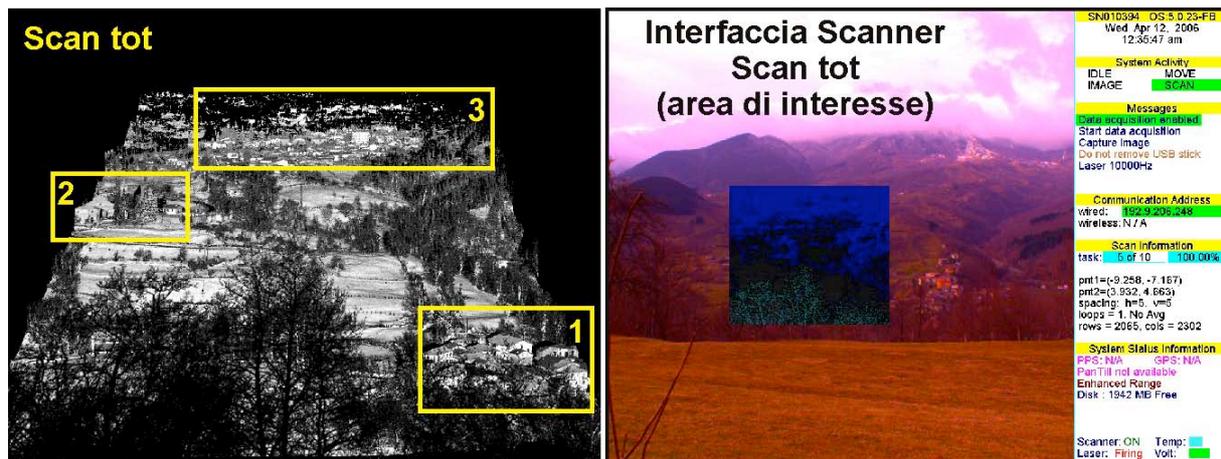
Dal punto di stazione dello scanner, evidenziato in figura 4, sono state effettuate inizialmente 4 scansioni. La scansione iniziale (Scan tot) è stata realizzata selezionando l'intera area del paese e in seguito sono state realizzate 3 scansioni per zoomare le aree 1, 2 e 3 descritte nella figura precedente. La tabella 1 riassume le caratteristiche delle scansioni effettuate in termini di: numero totale di punti acquisiti; il numero delle linee di scansione; il numero di punti contenuti in ogni linea di scansione; la distanza media dei punti misurati dal centro dello strumento; il passo di campionamento utilizzato (multiplo del minimo passo possibile e il corrispondente in mm alla distanza media di misura).

Scansioni Marzo 2011	Scan tot	Scan 1	Scan 2	Scan 3
Punti totali	4753630	2282850	5184270	4213972
Linee scansione	2065	1425	1899	1246
Punti per linea	2302	1602	2730	3382
Distanza media <sup>2</sup> (m)	1040	901	1297	1612
x/y passo campionamento (unità/mm)	5/104.0	2/36.0	2/51.9	2/64.5

**Tabella 1.** Le caratteristiche delle scansioni effettuate dal punto di stazione sul versante di fronte al paese (Patigno): località La Dolce.

Il risultato della prima scansione, cioè la nuvola di punti totale (Scan tot) che contiene tutto il paese, è mostrata in figura 5: sono evidenziate le 3 aree rilevate in dettaglio dalle successive tre scansioni, come indicato in tabella 1.

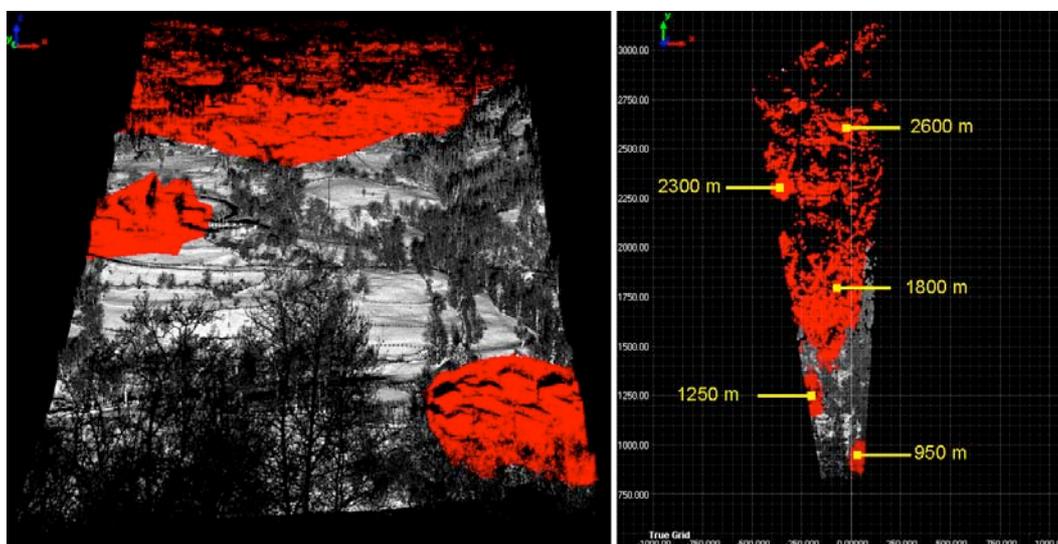
<sup>2</sup> È importante notare che la distanza media viene effettivamente calcolata come media delle distanze rilevate su ogni punto. Per questo motivo il valore è spesso una sottostima in quanto la densità dei punti diminuisce sempre con la distanza.



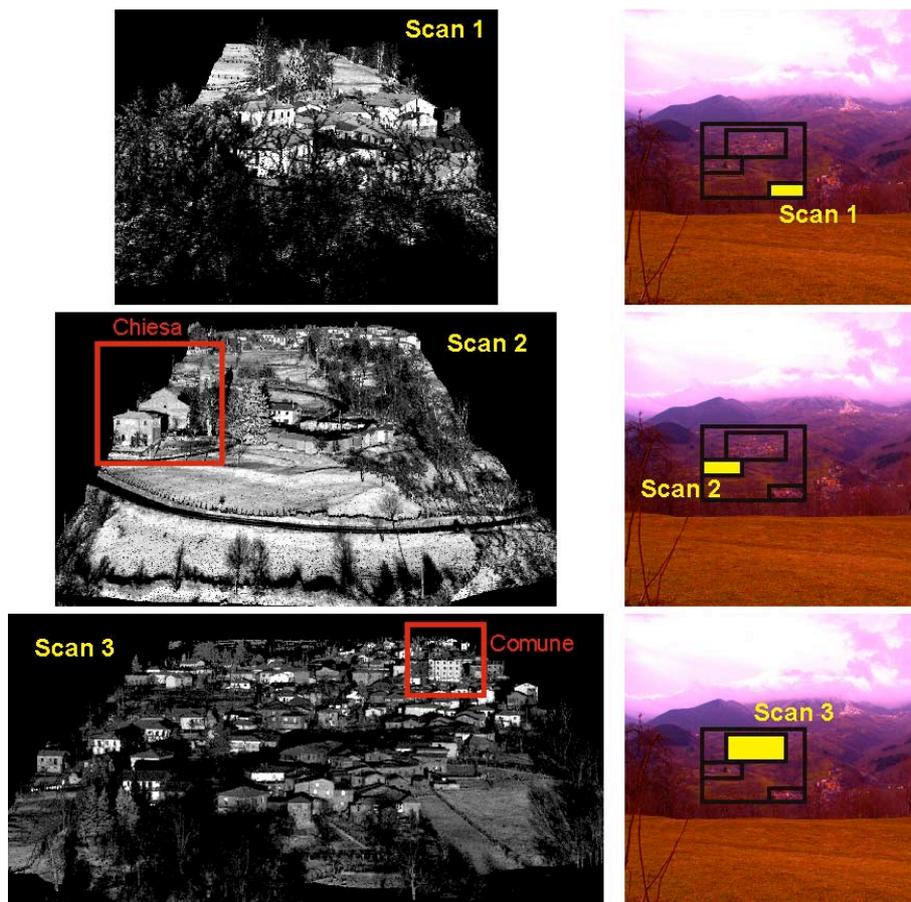
**Figura 5.** La scansione iniziale dell'intera area di interesse. I riquadri riguardano le aree rilevate con le scansioni successive. L'immagine a destra mostra l'interfaccia dello scanner nella quale si può seguire la progressione della misura e controllare i parametri dello scanner (per esempio, temperatura, stato delle batterie, percentuale di scansione eseguita, ecc.).

Le effettive distanze tra i punti rilevati e lo strumento sono messe in rilievo nella figura 6: la nuvola di punti totale è mostrata sia secondo la prospettiva del punto di osservazione sia in vista aerea. Le aree di interesse sono state selezionate in rosso e le distanze planimetriche sono riportate. È immediato notare come siano raggiunti i 3 km di distanza.

Le scansioni Scan 1, Scan 2 e Scan 3 sono mostrate in figura 6: il nome delle scansioni è stato scelto coerentemente con la numerazione delle 3 aree indicate nelle figure precedenti.

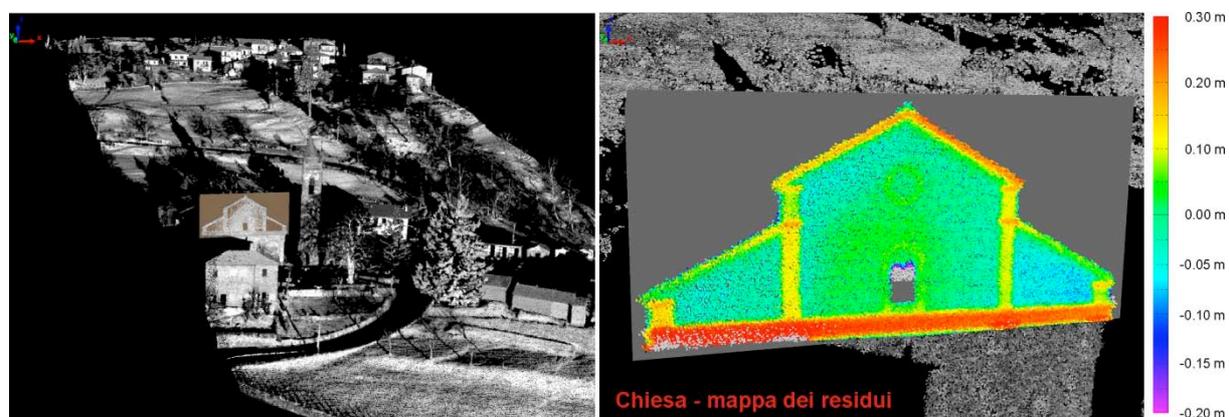


**Figura 6.** La nuvola di punti della scansione totale (Scan tot) viene mostrata sia secondo la prospettiva lungo la direzione y (planimetrica) che lungo la direzione z (vista aerea).



**Figura 7.** Le tre scansioni (sottoscansioni della Scan tot).

La figura 8 mostra un dettaglio della scansione Scan 2: in particolare, i punti che giacciono sulla chiesa (nella parte alta) sono stati interpolati da un piano e, successivamente, le distanze tra i punti ed il piano sono state misurate lungo la normale allo stesso, nell'ambito dell'utilizzo del software Polyworks (modulo IMInspect). I dettagli della procedura per l'analisi dei dati non verrà qui descritta rimandando 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.

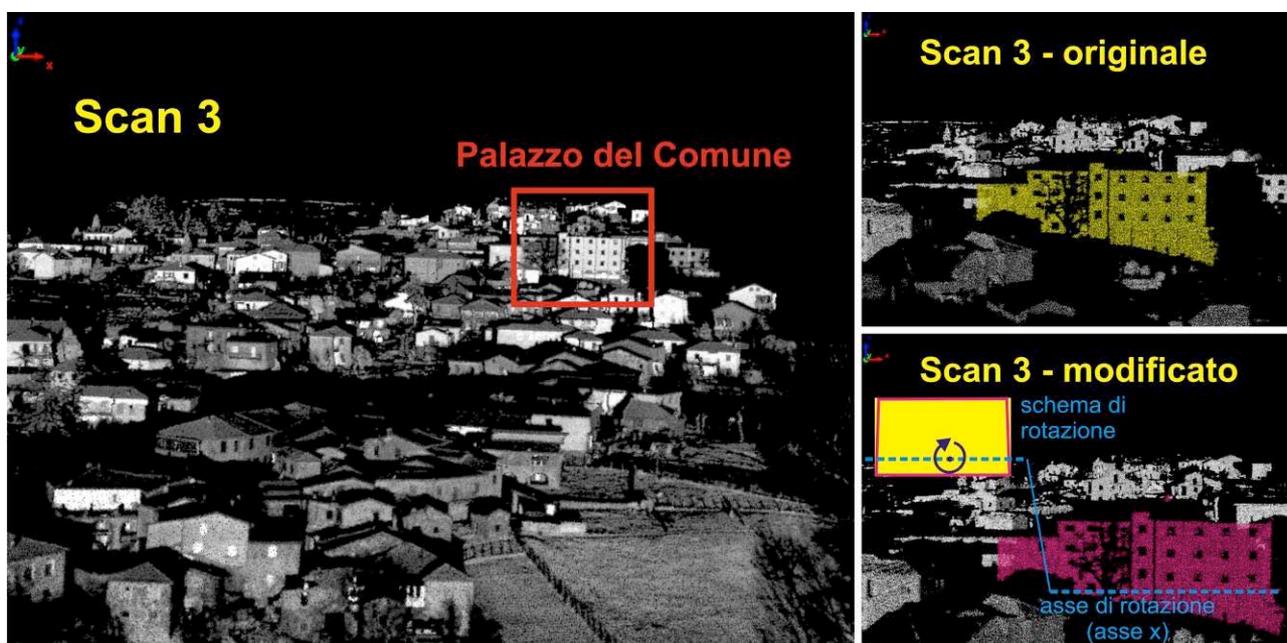


**Figura 8.** Scan 2: il piano interpolatore della parte alta della chiesa. La mappa dei residui mostra sia l'alta densità dei punti misurati sia la precisione della misura.

#### 4. Simulazione e misure

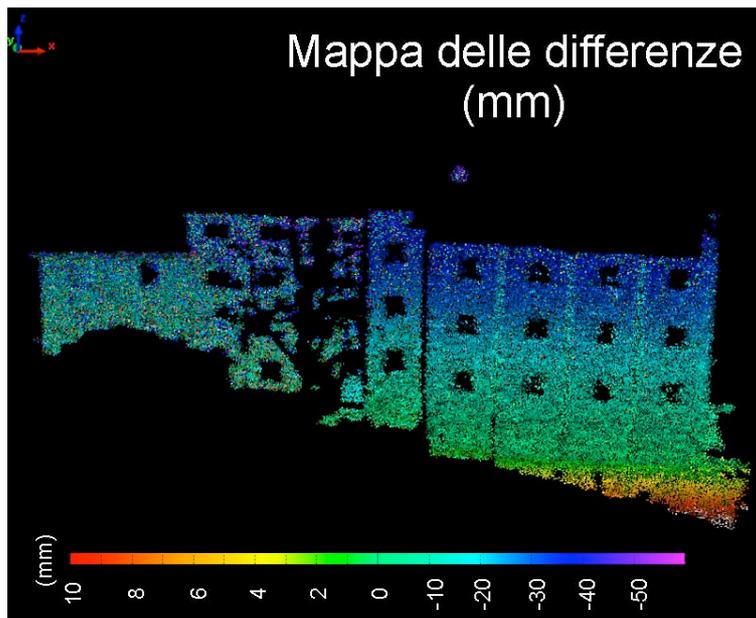
In questo capitolo, viene illustrato il risultato di una simulazione, mirata a dimostrare l'utilità di uno strumento laser a scansione terrestre nel controllo del territorio afflitto da dissesto idrogeologico.

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 nel riquadro rosso nella figura 9. I punti relativi al palazzo di interesse sono stati estratti e modificati secondo una rotazione di  $0.005^\circ$  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.



**Figura 9.** Scan 3: estrazione e modifica dati. In giallo i punti del palazzo sede del Comune. In fucsia, il palazzo comunale modificato secondo una piccola rotazione lungo l'asse  $x$ .

Il confronto tra la nuvola di punti originale e la nuvola di punti modificata è stato eseguito mediante l'utilizzo del modulo IMInspect del software Plyworks (Innovmetrics). Le distanze tra i punte delle due scansioni sono state calcolate secondo la normale (locale) della scansione di riferimento che, in questo caso, è la scansione originale. Il risultato finale è illustrato in figura 10, mediante la mappa delle differenze. I valori ottenuti tornano molto bene con i valori attesi, mettendo anche in evidenza il pattern della deformazione.



**Figura 10.** Mappa delle differenze tra la scansione originale e la scansione modificata secondo una rotazione rispetto all'asse  $x$  (asse orizzontale).

## 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 3D ER 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 grande 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 3D 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 ricorre 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 dati richiede un tempo abbastanza rilevante e, in genere, le risoluzioni spaziali sono dell'ordine del mezzo metro (o una ventina di centimetri) e 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 riguardi 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. Grazie a Massimo Bacchetti, Fabiana Loddo, Nicola Cenni ed il Prof. Paolo Baldi dell'Università di Bologna per il supporto fornito nell'organizzazione del rilievo. Inoltre, un ringraziamento al revisore di questo lavoro per i suggerimenti che hanno permesso di migliorare il testo e rendere più immediata la lettura delle figure.

## Bibliografia

- Baldi, P., Cenni, N., Fabris, M., Zanutta, A., (2008). *Kinematics of a landslide derived from archival photogrammetry and GPS data*. *Geomorphology*, 102, 435-444.
- Baltsavias, E.P., (1999). *Airborne laser scanning: basic relations and formulas*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54, 199-214.
- Giuntini, D., (2005). *Nota preliminare sulla geomorfologia dell'alta val gordana (bacino del fiume magra)*. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Serie A*, 110, 31-41.
- Foreman, M.G.G. and Henry, R.F., (1989). *The harmonic analysis of tidal model time series*. *Adv. Water Resources*, Vol. 12, September 1989, pp. 109-120.
- 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*, 66, 327-336.
- Pesci, A., Bonforte, A., Casula, G., Puglisi, G., Aiesi, G., Amantia, A., Calvagna, F., Cantarero, M., Consoli, S., Consoli, O., Manni, M., Marturano, M., Saraceno, B., (2011b). *Esperienza di monitoraggio mediante laser scanner nell'Isola di Vulcano: rilievo multi temporale della Forgia Vecchia*. *Rapporti Tecnici INGV*, n.184.
- Pesci, A., Teza, G., Bonali, E., (2011c). *Terrestrial Laser Scanner Resolution: Numerical Simulations and Experiments on Spatial Sampling Optimization*. *Remote Sens.* 3, 167-184, doi:10.3390/rs3010167.
- Pesci, A., Casula, G., Boschi, E., (2011d). *Laser scanning the Garisenda and Asinelli towers in Bologna (Italy): detailed deformation patterns of two ancient leaning buildings*. *Journal of Cultural Heritage*, doi:10.1016/j.culher.2011.01.002.
- Raiti, R., Signanini, P., Torrese, P., Sammartino, P., (2006). *Il metodo della ricollocazione nella risoluzione di problematiche geologicoambientali: il caso di Zeri (Massa-Carrara)*. *Giornale di Geologia Applicata* 3, 213-220, doi: 10.1474/GGA.2006-03.0-28.0121.

**Coordinamento editoriale e impaginazione**

Centro Editoriale Nazionale | INGV

**Progetto grafico e redazionale**

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2011 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

**<http://www.ingv.it>**



**Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia**