

VERIFICA DELLE PRESTAZIONI DI DIVERSI LASER SCANNER A LUNGA DISTANZA

Giordano TEZA (*), Arianna PESCI (**), Massimo FABRIS (***),
Fabiana LODDO (**), Nicola ZALTRON (****)

(*) Dipartimento di Geologia, Paleontologia e Geofisica, Università di Padova, Via Giotto, 1 – 35122 Padova,
e-mail: giordano.teza@unipd.it

(**) INGV – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Via di Vigna Murata, 605 – 00143 Roma

(***) Dipartimento di Fisica – Settore Geofisica, Università di Bologna, Viale Berti Pichat, 8 – 40127 Bologna

(****) Dipartimento di Architettura, Università di Ferrara, Via Quartieri 8 – 44100 Ferrara

Riassunto

Il laser a scansione terrestre (TLS) permette di rilevare con altissima risoluzione e precisione intere superfici fisiche superando, in termini di completezza dell'informazione e continuità spaziale, i rilievi topografici tradizionali effettuati mediante stazioni totali o GPS. Anche se la diffusione dei TLS negli ultimi anni si è notevolmente estesa, non vi è adeguata chiarezza nelle "brochure" dei costruttori riguardo alle reali prestazioni in termini di portata, precisione e risoluzione. Tale eterogeneità rende difficile la valutazione delle reali prestazioni da parte di un potenziale utente, che potrebbe non essere in grado di operare la scelta più adatta per soddisfare le proprie esigenze. Nell'ambito di una collaborazione tra vari Istituti di ricerca, e grazie alla disponibilità delle Società Codevintec e MicroGeo, è stata effettuata una prova comparativa tra due diversi TLS al fine di confrontarne le prestazioni e verificarne le potenzialità nominali nell'acquisizione di bersagli a lunga distanza. Il test è stato effettuato utilizzando bersagli artificiali realizzati per testare precisione e risoluzione e verificare l'effetto di materiali a diversa riflettività.

Abstract

The Terrestrial Laser Scanner (TLS) permits to survey physical surfaces with high accuracy and resolution; in this way limits due to classical measurement methods, as total station and GPS, may be overcome, providing a more complete and spatially continuous information. Despite the large last years diffusion of such instruments, it is not available a standard documentation related to instrument performances; each manufacture adopts different criteria to define instrument characteristics as precision, accuracy, resolution and range. Users can be misled by this heterogeneity choosing an instrument not suitable to its real requirements. Within a solid collaboration between different research Institutes and with the support of Codevintec and MicroGeo societies, on March 2005 a comparative test was executed in Bologna (Italy). Artificial targets were realized and measured providing the real instrument performances.

Introduzione

Il laser scanner terrestre (TLS) è una tecnica di telerilevamento introdotta recentemente ma ormai entrata nella pratica del rilievo geologico, architettonico, industriale, come molti lavori pubblicati negli ultimi anni possono testimoniare. Mediante il TLS è possibile acquisire in modo semplice e veloce dati relativi alla geometria tridimensionale della superficie di un oggetto, da cui la generazione di modelli accurati che forniscono una precisa descrizione del reale. Ad esempio, nel caso del monitoraggio di un versante instabile, è possibile generare un modello digitale del terreno (DTM) con una griglia di base con lato pari a 3÷5 cm pur eseguendo il rilievo da una distanza media di 200 m, rendendo possibile l'analisi accurata del comportamento della frana. Il TLS permette dunque

l'acquisizione di dati spazialmente continui di intere superfici, con una precisione analoga a quella offerta da tecniche come il GPS che, per loro natura, devono limitarsi all'identificazione delle posizioni di una esigua quantità di punti discreti. Attualmente sono disponibili numerosi modelli di TLS, caratterizzati da prestazioni e tecniche di acquisizione diverse, dalla triangolazione, utilizzata negli strumenti a piccolissima portata concepiti per il rilievo di precisione di elementi meccanici, al tempo di volo, tipica degli strumenti a media/lunga portata per il rilievo architettonico e geologico. Ciascun costruttore presenta le prestazioni dichiarate dei propri strumenti nel modo che ritiene più opportuno, anche perché, ad oggi, non esiste una normativa di riferimento da osservare. Ad esempio, il diametro del *footprint*, cioè del piede del fascio laser sul bersaglio, può essere fornito sotto forma di relazione valida in un certo intervallo di distanze, di grafico o anche di un singolo valore valido per una certa distanza, e solo per quella. Inoltre, non sempre è chiaro che la portata (*range*) dipende dalle caratteristiche della superficie osservata. Il possibile utente può dunque trovarsi ad essere fuorviato e scegliere uno strumento poco adatto alle sue esigenze; questo è discusso, ad esempio, in Boehler et al. 2003.

Poiché era previsto l'acquisto di un laser scanner a lunga portata da parte del Dipartimento di Geologia, Paleontologia e Geofisica dell'Università di Padova, al fine di individuare lo strumento più adatto, sono stati confrontati due TLS, entrambi con laser in classe 1 (quindi *eyesafe* in ogni condizione di utilizzo), vale a dire Optech ILRIS-3D (strumento di serie) e Riegl LMS-Z420i (prototipo migliorato rispetto alla macchina di serie). Nel presente lavoro sono riportati i risultati di tale confronto. Si precisa che sono stati considerati solo questi due strumenti perché altre macchine a lungo *range*, pur validissime, operavano in classe II o III, mentre altri strumenti, anche se più precisi fino a distanze di 100-200 m, avevano *range* incompatibili con quelli necessari per il rilievo geologico, in particolare di versanti instabili.

Descrizione dei bersagli utilizzati

Il confronto tra i due strumenti è stato effettuato utilizzando bersagli artificiali appositamente concepiti per enfatizzarne le capacità in termini di precisione e risoluzione; essi sono i seguenti:

1. Box, realizzato a cura dell'Università di Bologna, Dipartimento di Fisica, Settore Geofisica (figura 1): è stato costruito con legno verniciato e presenta una serie di aperture circolari (diametri di 1, 2 e 4 cm) e quadrate (lati di 10 e 20 cm), come pure due cerchi sporgenti (diametro 2.8 cm, sporgenza 1 cm) e tre rettangoli sporgenti (dimensioni 20x3, 20x5 e 20x9 cm, sporgenza 1.6 cm). I lati del box sono di 80 cm e 40 cm, con una distanza tra le pareti anteriore e posteriore di 20.5 cm. Il box è concepito per i test di precisione e risoluzione. In particolare, la risoluzione in distanza può essere studiata considerando gli elementi sporgenti, i cui piani possono modellarsi mediante specifico software; inoltre, il rumore e quindi la precisione possono essere facilmente valutati. Sulla parte superiore del box sono stati fissati alcuni elementi ad alta riflettività, prodotti da *Rotbucher Systeme* (RS), al fine di sperimentarne l'influenza sulle osservazioni laser. Inoltre, per garantire la stabilità del box, la dotazione è stata completata da opportuni sistemi di controventamento (alla distanza più bassa, cioè 25 m, si è resa necessaria la verifica del fissaggio).
2. Lo stesso box, nella parte posteriore, mostra una superficie planare e non verniciata (figura 2). Al fine di verificare se gli strumenti sono effettivamente in grado di acquisire superfici planari quale che sia il materiale e il colore (si ricorda che la riflettività è parametro molto importante nella definizione delle prestazioni di un TLS), su tale supporto sono stati applicati fogli di carta colorata e di plastica in formato A4, come pure alcuni *target* ad alta riflettività RS.
3. Un telaio in alluminio 80x80 cm realizzato all'Università di Padova, nel seguito, per brevità, chiamato "arpa", visibile sia in figura 1, sia in figura 2. Esso presenta un tubo in plastica del diametro di 3 cm, un tubo in plastica del diametro di 1 cm, un filo in rame del diametro di 2 mm (completo di rivestimento in gomma) e due fili nudi in rame da 0.1 mm e posti alla distanza di 2.5 cm. Il passo del telaio è mediamente 16 cm; l'obiettivo è il test di risoluzione spaziale in direzione ortogonale a quella del fascio laser. Il box (faccia anteriore) e l'arpa sono sempre stati acquisiti con un'unica scansione.

4. Tre dischi in alluminio, del diametro di 50 cm ciascuno, forniti da IRPI-CNR di Padova e concepiti per un test di modellazione planare ad una distanza di 270 m.
5. Materiale roccioso, con riflettività molto diverse trattandosi di rocce laviche ed arenarie, direttamente appoggiate al suolo.



Figura 1 – Il box (lato anteriore) e l'arpa



Figura 2 – Il box (lato posteriore)

Modalità di esecuzione del test

Gli strumenti sono stati gestiti direttamente dai team di presentazione, vale a dire:

- Optech e relativo importatore italiano, ossia Codevintec Italiana s.r.l., via Labus, 13 - 20147 Milano, Tel +39 02 48302175 , Fax +39 02 48302169;
- Riegl e relativo importatore italiano, ossia MicroGeo s.r.l., via Pasolini, 28 - 50013 Campi Bisenzio (FI), Tel. +39 055 8954766.

Le prestazioni dichiarate possono desumersi in Optech 2005 e Riegl 2005. Quelle principali sono riassunte in tabella 1.

Dato	Unità	Optech ILRIS 3-D	Riegl LMS Z-420i
Lunghezza d'onda	nm	1535	Vicino Infrarosso
Range (riflettanza 80%)	m	1500	1000
Range (riflettanza 20%)	m	800	350
Divergenza del fascio laser	mrad	0.17	0.25
Diametro dello spot	mm	$0.17R+12$ (R in m)	27 per $R = 100$ m
Precisione in distanza	mm	4	5
Risoluzione in profondità	mm	4	10
Minima spaziatura dello spot a 100 m	mm	2.6	7
Risoluzione a 100 m di distanza	mm	29	25

Tabella 1 – Riepilogo delle prestazioni degli strumenti. Si noti come Optech fornisca il diametro dello spot in funzione della distanza, mentre invece Riegl assegni un valore per un'unica distanza

Il TLS Optech ILRIS 3-D acquisisce 2000 pt/s. Il Riegl LMS-Z420i può operare con velocità di scansione tra 8000 e 12000 pt/s, ma è meno preciso del concorrente nella singola acquisizione. Esso può tuttavia operare con il *repeated scan mode*, in cui due o più scansioni della stessa superficie vengono mediate al fine di migliorare la precisione: la media di N scansioni con deviazione standard s permette infatti di giungere alla deviazione standard s / \sqrt{N} (in generale, si considerano

fino a 9 scansioni sovrapposte). E' chiaro che il tempo necessario per eseguire una singola acquisizione a 2000 pt/s è pari a quello relativo a sei scansioni a 12000 pt/s.

Per tenere conto di ciò, la procedura operativa è stata la seguente:

- Scansione con TLS Optech, con tempo di osservazione scelto dall'operatore;
- Scansione con TLS Riegl, eseguita con modalità ripetuta e impostando lo stesso tempo complessivo di esecuzione scelto dal tema di Optech in b). In questo modo è possibile confrontare i risultati di osservazioni eseguite in tempi eguali.

Ancora riguardo l'esecuzione di scansioni ripetute da mediare, tale procedura può essere considerata anche nel caso dell'Optech; tuttavia in questo modo non si tratta di un processo automatizzato offerto dallo strumento ed eseguito in fase di campagna, ma di un'attività da eseguirsi in fase di elaborazione dati. Le distanze considerate per le unità box-arpa sono state di 25 m, 100 m, 200 m e 380 m dagli strumenti. Per ogni distanza, è stata eseguita prima la scansione della faccia anteriore del box (insieme all'arpa) secondo le modalità viste sopra, e poi quella della faccia posteriore. I tre bersagli per il test di modellazione planare sono stati posti alla distanza di 270 m. Tale prova è stata articolata in due fasi: una prima ed una seconda in cui il disco di sinistra è stato spostato di 8.8 cm e quello di destra di 12.3 cm (componenti orizzontali, misurate mediante stazione integrata). Il disco centrale è stato mantenuto fermo.

Risultati

Tutti i risultati nel seguito descritti si riferiscono alla singola scansione Optech e alla media di scansioni ripetute Riegl. I confronti quantitativi sono stati eseguiti con il software Leica *Cyclone* (Leica, 2005) del Dipartimento di Architettura dell'Università di Ferrara. In figura 3 e 4 sono mostrati alcuni particolari relativi alla modellazione geometrica e ai valori di intensità relativi a differenti materiali.

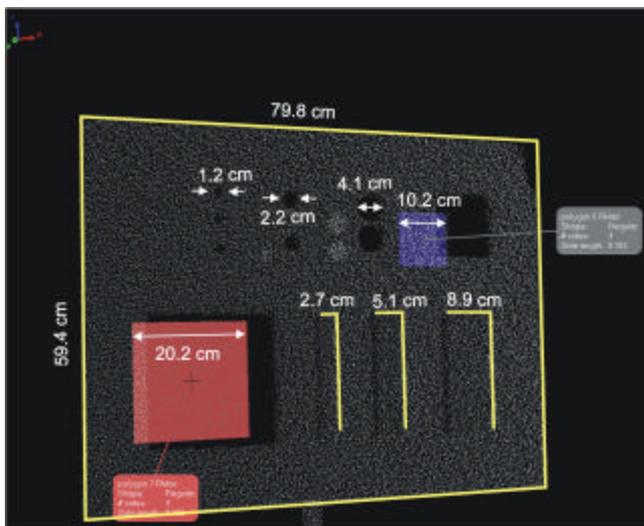


Figura 3 - Modellazione geometrica

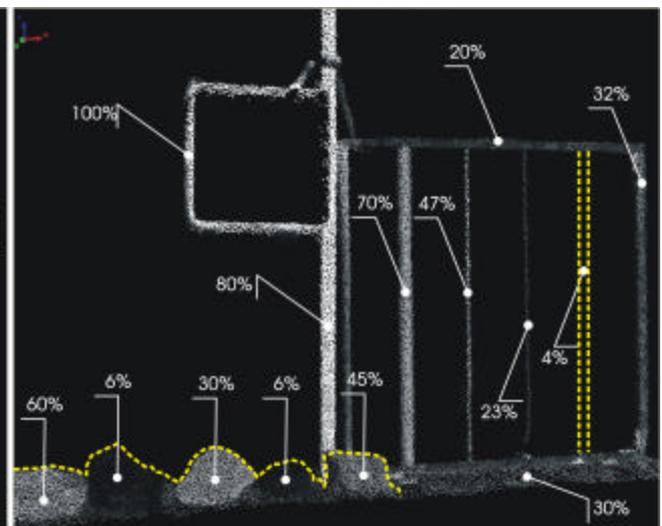


Figura 4 - Stime intensità

I risultati salienti sono:

$d = 25 \text{ m}$ Le prestazioni sono sostanzialmente le stesse, con un piccolo prevalere dello strumento Optech. I rumori sono confrontabili e le risoluzioni in distanza dichiarate sono confermate. I risultati particolareggiati sono i seguenti:

Box:

- Optech: tutti i piani possono essere facilmente modellati. I dati metrici sembrano migliori rispetto all'altro strumento. La profondità misurata delle sporgenze è 1.4 cm (valore di riferimento: 1.6 cm). La distanza tra le due pareti del box è 20.7 cm (riferimento: 21.0 cm). Deviazione standard della distribuzione dei punti attorno ad un piano: 4 mm.

- Riegl: i piani di grande estensione sono buoni e complanari, ma la modellazione diretta dei rettangoli sporgenti non fornisce piani complanari; il problema può essere superato utilizzando una modellazione basata sull'analisi volumetrica, nel qual caso le profondità misurate sono comprese tra 1.5 e 1.6 cm. La profondità misurata del box è di 20.4 cm, mentre la deviazione standard della distribuzione dei punti attorno ad un piano modellato è di 3 mm.

Arpa: gli strumenti hanno fornito risultati del tutto analoghi. In particolare, entrambi hanno acquisito i due fili da 0.1 mm, distanti 2.5 cm, come elementi lineari distinti. Si è presentato qualche problema solo nell'acquisizione della parte inferiore del telaio, e ciò a causa della vicinanza al terreno (riflessioni multiple). Lo strumento canadese (Optech) ha perso la parte più bassa, mentre il Riegl ha mostrato profondità errate.

Target ad alta riflettanza RS: entrambi i TLS hanno avuto problemi nell'acquisizione di tali bersagli, da ascrivere però ai *target* e non agli strumenti. In particolare, nel caso di Optech la distanza misurata è completamente errata (circa 1.5 m rispetto alla posizione reale), anche se la dimensione del *target* è corretta (figura 5). Lo strumento Riegl ha potuto individuare la distanza corretta, ma è presente un fastidioso alone attorno alla nuvola di punti. Il diverso comportamento va associato alle diverse tecniche utilizzate dai due costruttori per l'individuazione dell'istante di arrivo dell'impulso. Il comportamento dei bersagli RS è confermato alle altre distanze considerate; se ne conclude pertanto che si tratta di materiale inadatto per l'utilizzo con laser scanner. Va tuttavia evidenziato che questi bersagli molto buoni per misure con stazione integrata: anche alla distanza di 200 m essi possono essere acquisiti senza dover ricorrere a prismi.

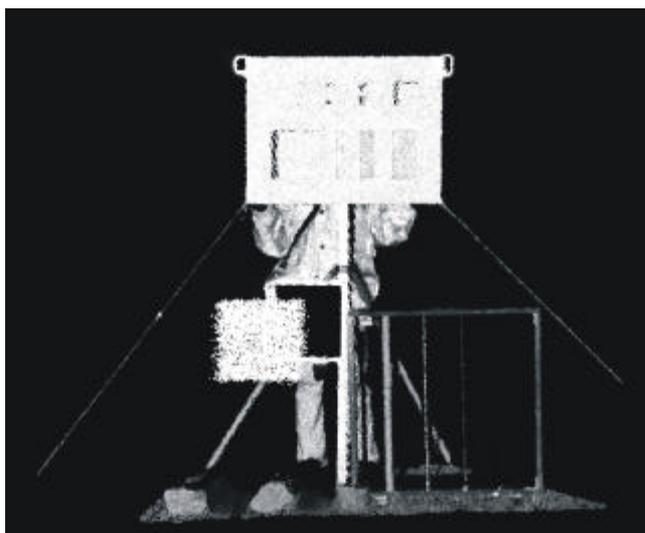


Figura 5 – Nuvola di punti acquisita con il TLS ILRIS 3D alla distanza di 25 m. L'intensità associata a ciascun punto è proporzionale alla sua riflettività. I dati presentati sono grezzi, non è stata eseguita alcuna modellazione. Si noti l'errato posizionamento del target riflettente RS 32 cm x 30 cm, causato dalla saturazione dell'impulso laser di ritorno.

$d = 100$ m. A questa distanza i dati Optech sono andati persi durante il trasferimento dallo strumento al PC (eseguito mediante penna USB); la scansione con questo strumento è stata pertanto eseguita in una sessione di misura separata a Ferrara, il 24-05-2005, nella quale è stato utilizzato il solo strumento canadese. I dati Riegl sono buoni; la parete posteriore dell'apertura maggiore del box è stata facilmente modellata anche in questo caso, mentre le pareti posteriori delle altre aperture e le superfici sporgenti non sono modellabili. I dati ottenuti con lo strumento Optech nella seconda sessione sono dello stesso livello.

$d = 200$ m. In questo caso vi è un prevalere dello strumento Riegl, ma la differenza è molto piccola ed associabile a mera messa a punto degli strumenti. La griglia di scansione Riegl è migliore, con maggiore regolarità, rispetto alla quella dell'Optech, ma ciò va messo in relazione al fatto che la nuvola di punti presentata da tale strumento è il risultato della media di scansioni multiple (si ricordi che Optech ha sempre operato con unica scansione).

$d = 380$ m. Prevalenza di Riegl su Optech, ma con piccola differenza. Le pareti posteriori di tutte le aperture non possono modellarsi per entrambi gli strumenti.

$d = 270 \text{ m}$. Esperimento di modellazione di piani con tre bersagli circolari. I risultati ottenuti sono sostanzialmente gli stessi, anche se si osserva una prevalenza dello strumento Optech. In particolare, i risultati sono i seguenti:

- Optech: *target* sinistro: 8.3 cm (dato di riferimento: 8.8 cm); destro: 12.9 cm (riferimento: 12.3 cm). I *target* circolari in alluminio sono stati modellati correttamente, con diametri corretti.
- Riegl: *target* sinistro: 9.2 cm; destro: 12.7 cm. Anche se la griglia è migliore (dati mediati), i diametri dei dischi non sono stati modellati correttamente, verosimilmente a causa di problemi indotti dall'elevata riflettività dell'alluminio.

Conclusioni

Sulla base del test qui descritto, è possibile affermare che entrambi gli strumenti analizzati sono molto validi e che i dati dichiarati riguardo a precisione, risoluzione e portata sono almeno confermati, se non migliorati. Come accennato in precedenza, gli strumenti impiegati nel test sono stati un Optech ILRIS 3-D di serie e una versione prototipo, fortemente migliorata rispetto al modello commercializzato nel 2004 e almeno all'inizio del 2005, del Riegl LMS-Z420i. Va inoltre sottolineato che i dati ufficialmente dichiarati in internet per lo strumento Riegl si riferiscono ancor oggi (metà settembre 2005) al modello precedente con lo stesso nome.

Nella singola scansione, lo strumento Optech, come atteso, è nettamente più preciso: migliore risoluzione e minore rumore. Qualora venga invece utilizzato il *repeated scan mode*, modalità esecutiva direttamente disponibile e impostabile con Riegl (eseguibile anche con Optech ma solo in sede di analisi dei dati), è possibile osservare una piccola prevalenza di questo strumento ad ogni distanza, tranne che a 25 m e nell'esperimento di modellazione a tre bersagli (270 m), in cui i migliori risultati sono stati invece dati da Optech.

E' altresì importante sottolineare che, al momento della prova, il software (di ultima generazione) utilizzato nella gestione dell'acquisizione Optech era parzialmente incompleto e l'operatore non ha potuto sfruttare compiutamente le potenzialità dello strumento in termini di passo di scansione. Il software ora a disposizione permette di considerare passi di griglia minori, e quindi di migliorare il risultato, seppure a prezzo di un maggiore tempo di esposizione.

I risultati presentati si riferiscono alla singola scansione con lo strumento canadese confrontata con la media delle scansioni multiple dell'austriaco, peraltro con lo stesso tempo di acquisizione.

In sostanza, i due strumenti sono risultati non presentare differenze prestazionali rilevanti; nella scelta dello strumento interverranno dunque altre considerazioni; ad esempio, massa e ingombro, se il TLS viene utilizzato in zone difficili da raggiungere. L'ILRIS 3-D è molto compatto e leggero, anche se dotato della base basculante a 360°, e può essere comandato tramite pocket PC (palmare) mentre il Riegl è molto più ingombrante e richiede un PC portatile. Quest'ultimo strumento, tuttavia, è una stazione integrata a tutti gli effetti. L'esperienza maturata in questa prova comparativa ha evidenziato come sia opportuno, nel caso in cui si ritenga di eseguire test simili, introdurre un nuovo elemento di confronto, ossia la scansione con griglia fissata (angolare, oppure lineare e riferita ad un'assegnata distanza).

Bibliografia

Boehler, W., Bordas Vicent, M., Marbs, A. (2003), "Investigating laser scanner accuracy". *Atti del XIX CIPA symposium, Antalya, Turkey, 30 Sett – 4 Ott 2003*.

Leica (2005). Sito web <http://www.leica.loyola.com/products/hds/cyclone.html> (ultimo accesso: 22.08.05)

Optech (2005). Sito web <http://www.optech.ca>. (u.a.: 08.03.2005)

Riegl (2005). Sito web <http://www.riegl.com>. (u.a.: 08.03.2005)

Rotbucher (2005). Sito web <http://www.meterriss.de/> (u.a.: 08.03.2005)