

RIEGL LPM-321 UNO STRUMENTO LASER SCANNER A LUNGA PORTATA PER I RILIEVI AMBIENTALI

Leandro BORNAZ (*), Davide MARENCHINO (*),
Francesco NEX (*), Fulvio RINAUDO (*)

(*) DITAG – Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell' Ambiente e delle Geotecnologie, Politecnico di Torino
C.so Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino. – (leandro.bornaz, davide.marenchino, francesco.nex,
fulvio.rinaudo)@polito.it

RIASSUNTO

Le tecniche di acquisizione Laser sono sempre più utilizzate in applicazioni ambientali a grande scala. L'elevata automazione e la rapidità delle operazioni di misura permettono di utilizzare questa tecnica per operazioni di monitoraggio ambientale, in particolare di frane e ghiacciai. D'altra parte la portata dello strumento è un parametro vincolante per l'esecuzione dei rilievi in termini economici, di durata (necessità di eseguire più posizioni di scansione) e di accessibilità in condizioni di sicurezza. A tal proposito le case produttrici stanno realizzando strumenti in grado di eseguire misure automatiche di distanza (tempo di volo) fino a 6000 m.

In questo articolo sono presentati i primi test applicativi eseguiti dal gruppo di ricerca del DITAG (Politecnico di Torino) su uno strumento di questo genere, con l'intento di valutarne le potenzialità ed i limiti nel rilevamento ambientale.

ABSTRACT

LIDAR techniques have been widely used also in environmental applications. The automation of these instruments and their quickness in the points cloud generation have permitted their use in the landslide and glacier monitoring. However, the maximum measurement range of laser scanners in this application field changes the cost of the survey, its duration and its safety conditions. For this reason, instrument producers have developed new laser scanners able to measure long distances (up to 6000 m).

In this paper first tests of the Research Group of the DITAG (Polytechnic of Torino) on a long range laser profile measuring system (Riegl LPM-321) are presented, in order to evaluate the potentiality of these instruments in the environmental survey.

INTRODUZIONE

Nel corso degli ultimi 10 anni lo sviluppo delle tecniche di acquisizione laser ha subito un'incessante crescita. I continui miglioramenti in termini di velocità di acquisizione e di accuratezza, oltre che l'integrazione con le tecniche della fotogrammetria digitale, hanno permesso l'uso dei laser scanner in molteplici campi applicativi. In ambito terrestre sono stati saldamente testati sistemi laser per il rilievo industriale (Pfeifer ed al., 2004) ed archeologico (Girardi ed al., 2007), mentre i sistemi LIDAR aviotrasportati sono comunemente utilizzati per i rilievi ambientali.

Ponendo l'attenzione sul rilievo ambientale a grande scala, si può affermare che finora le tecniche LIDAR aeree non sono state in grado di soddisfare le esigenze richieste da operazioni di monitoraggio locale di ghiacciai o di versanti in frana. Del resto data la complessità, le forti pendenze, l'instabilità ed il continuo mutamento dei versanti, qualsiasi altra applicazione aerea (fotogrammetria, remote sensing, SAR) non è stata in grado finora di fornire un rilievo completo dei fronti da monitorare (Bauer ed al., 2003). La necessità di modelli digitali del terreno (DEM) che

rappresentino in modo preciso e completo zone soggette a monitoraggio, quali seracchi o nicchie di distacco roccioso, ha quindi spinto le tecniche di acquisizione laser scanner terrestre ad un rapido sviluppo. Numerose ricerche e test applicativi sono stati svolti in questo campo (Ewert, Maas ed al., 2008; Abellan, Vilaplana ed al., 2006), in particolare con l'uso di sistemi laser scanner *long range* (lunga portata), in grado di misurare distanze superiori a 1000 m. A differenza dei laser terrestri classici, questi sistemi riducono il vincolo di portata massima dello strumento, permettendo di incrementare la produttività del rilievo in termini economici, di durata (necessità di eseguire più posizioni di scansione) e di accessibilità in condizioni di sicurezza.

Nel seguente lavoro sono presentati i primi test applicativi svolti dal gruppo di ricerca del DITAG con il laser LPM-321, messo in commercio dall'azienda austriaca *Riegl* e in grado di misurare distanze fino a 6000 m. Lo strumento è stato utilizzato in diverse aree test in Val d'Aosta al fine di valutarne le potenzialità in applicazioni ambientali a grande scala. In particolare l'elaborazione dei dati acquisiti ha permesso di realizzare un modello digitale del terreno (DEM) di una parte del ghiacciaio della Brenva (Courmayeur) e di un versante in frana nei pressi dell'abitato di La Saxe (Courmayeur).

LPM-321

Il profilometro laser LPM-321, commercializzato dall'azienda produttrice austriaca *Riegl*, è tuttora l'unico strumento LIDAR in grado di misurare distanze in automatico fino a 6000 m (Figura 1-2). La modalità di misura è a "tempo di volo". Per ogni misura il distanziometro invia centinaia di impulsi laser (Classe 1M). I raggi riflessi sono analizzati da un apposito microprocessore (*DSP: Digital Signal Processor*), in grado di fornire un unico valore di distanza. Il numero di impulsi Laser inviato è funzione del *rate* di misura, che varia tra 10 e 1000 Hz. Grazie al *DSP*, in grado di registrare gli echi multipli di ritorno, il distanziometro è in grado di fornire tre differenti tipologie di misura ("*first pulse*", "*last pulse*", "*strongest pulse*"). La portata massima di misura è funzione del *rate*, della riflettività del materiale e dalle condizioni atmosferiche. In particolare le superfici esposte al sole riducono l'intensità del raggio riflesso con conseguente riduzione del massimo *range* di acquisizione.

Il distanziometro è montato su un'unità motorizzata simile all'alidada di un teodolite, dotata di un cannocchiale. Il passo minimo di scansione angolare è di 0.02 gon. Lo strumento può essere integrato con una camera digitale opportunamente calibrata ed orientata rispetto al sistema di riferimento strumentale. In questo modo è possibile effettuare scatti automatici al fine di colorare le nuvole acquisite.

L'interfaccia dello strumento è garantita dal software "*Riprofile*" di proprietà *Riegl*, che permette inoltre il trattamento dei dati acquisiti.

RILIEVI SU AREE TEST

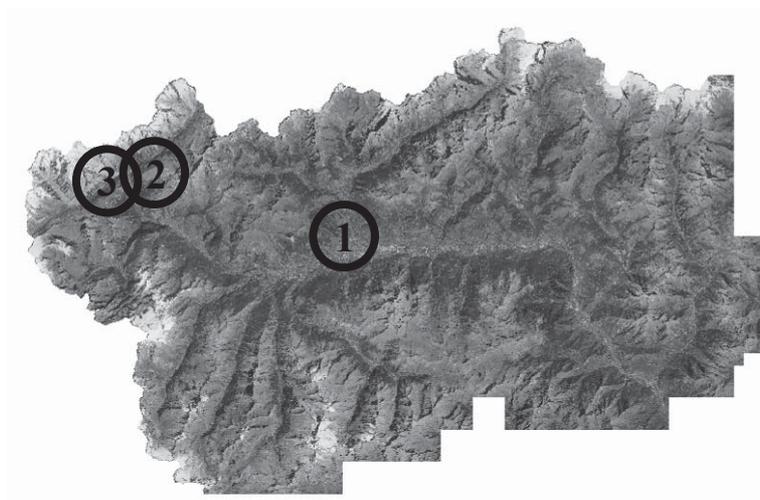
Al fine di valutare le potenzialità del laser scanner LPM-321 è stata condotta una campagna di rilievi su tre aree test in Valle d'Aosta (Figura 3). Le prove sono state eseguite in ambienti completamente differenti. La prima prova è stata eseguita in notturna presso la frazione Palud di Sarre, dalla quale si domina l'intero abitato di Aosta. Un secondo rilievo è stato eseguito in località La Saxe (Courmayeur) ed ha avuto come oggetto un versante in frana. L'ultima campagna di acquisizione è stata invece svolta ai piedi del ghiacciaio della Brenva, nel massiccio del monte Bianco (Courmayeur). In particolare questo ultimo rilievo è stato condotto in collaborazione con l'ente "Fondazione Montagna Sicura" (Aosta), con il quale il dipartimento DITAG del Politecnico di Torino ha instaurato un rapporto di cooperazione per il rilievo e il monitoraggio di diversi ghiacciai valdostani (il ghiacciaio del Timorion in Valgrisange ed il ghiacciaio del Pré de Bard in Val Ferret).

RIEGL LPM-321 Caratteristiche tecniche			
Massima distanza/rate	1000 Hz	100 Hz	10 Hz
Target naturali ($\rho > 0.8$)	>1500 m	>2500 m	6000 m
Target naturali ($\rho > 0.1$)	>500 m	>850 m	>1500 m
Accuratezza (distanza)	25 mm		
Accuratezza (angolare)	0.01 gon		
Divergenza raggio Laser	0.8 mrad		
Lunghezza d'onda Laser	Infrarosso vicino		
Rate di misura	10:1000 punti/s		
Peso	16 kg		

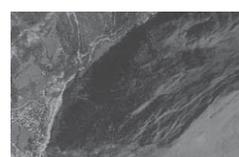
Figura 1 – Caratteristiche tecniche Laser LPM-321



Figura 2 – Laser LPM-321



1. Aosta



2. La saxe



3. Brenva

Figura 3 – Carta della Valle d'Aosta con indicazione delle aree test

Per il ghiacciaio della Brenva le operazioni di rilievo sono state pianificate al fine di produrre un modello digitale del terreno (DEM). La necessità di ottenere un prodotto georiferito da utilizzare in successive analisi temporali, ha richiesto la materializzazione di una rete di inquadramento per l'orientamento delle scansioni, costituita da marker riflettenti, ben visibili e di posizione facilmente determinabile per sensori a tempo di volo.

Parallelamente alle acquisizioni laser sono quindi stati svolti dei rilievi GPS con una coppia di ricevitori Leica 1200 doppia frequenza al fine di ottenere 2 punti noti nel sistema WGS84, e dei rilievi topografici con la stazione totale Leica SmartStation per permettere l'inquadramento dei marker utilizzati nel sistema di riferimento finale.

Per quanto riguarda il rilievo di Aosta, non sono state eseguite operazioni di georeferenziazione delle nuvole di punti, ma delle semplici analisi sulle prestazioni dello strumento.

Acquisizioni Laser

La prova notturna eseguita in frazione Palud nel comune di Sarre è consistita in una scansione dell'intero abitato di Aosta (Figura 4).

L'acquisizione è avvenuta con un *rate* di 10 Hz, passo di scansione di 0.063 deg e registrazione dell'ultimo impulso (Figura 5). Lavorando di notte, il Laser ha acquisito ad una distanza massima di 5998 m, valore del tutto conforme alle specifiche dichiarate dalla Riegl. La misura di 175000 punti è avvenuta in circa 8 ore. Ciò dimostra che lo strumento è grado di raggiungere portate molto elevate a discapito della velocità di acquisizione.

Sul versante in frana di La Saxe è stata eseguita un'unica scansione dal versante opposto a quello in esame (distanza media di 2 km) con *rate* di acquisizione di 100 Hz, passo di scansione di 0.072 deg e registrazione dell'ultimo impulso (Figura 6-7).



Figure 4-5 – L'abitato di Aosta dalla e scansione con LPM-321

Lo scopo dell'acquisizione era la creazione di un DEM del versante. Per questo durante la scansione è stato registrato l'ultimo impulso ed in fase di elaborazione è stato adottato un algoritmo di filtratura sviluppato dagli stessi autori (presentato al Convegno Nazionale ASITA 2006) per la rimozione della vegetazione sul versante.



Figure 6-7 – Acquisizione Laser e operazioni topografiche sul versante di La Saxe

Tuttavia, il ridotto passo di scansione, che a 2 km di distanza si traduce in un punto ogni 2.5 m, e la massiccia presenza di vegetazione a copertura del versante hanno inizialmente inficiato sulla qualità del DEM. In questo caso sarebbe comunque necessario utilizzare la massima definizione possibile dello strumento (passo di scansione minimo), sacrificando la rapidità di esecuzione, ed effettuare più riprese da punti di vista differenti per migliorare la completezza del modello del versante.

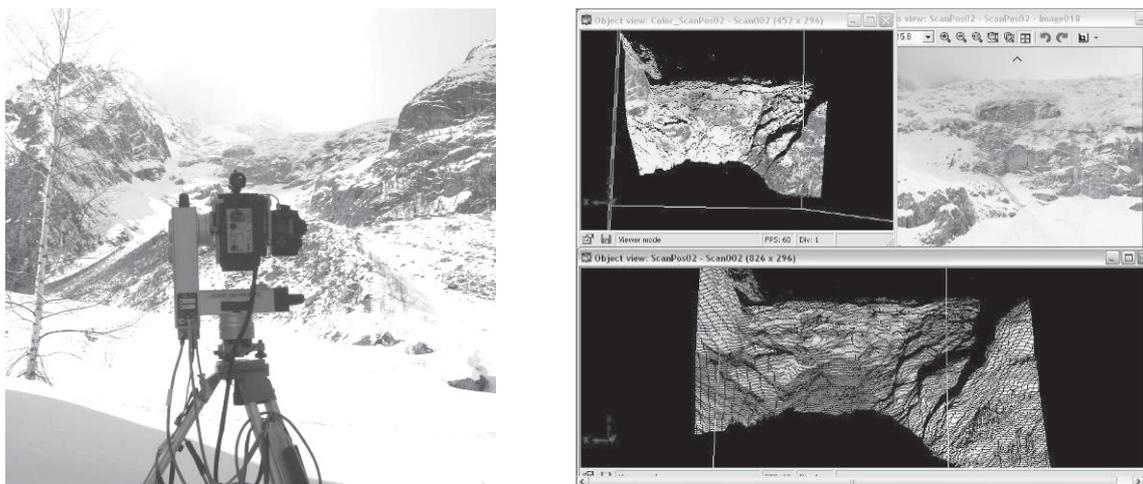


Figure 8-9 – Scansione sul ghiacciaio della Brenva e visualizzazione dei dati acquisiti

Una situazione diversa è stata affrontata per l'acquisizione della lingua valliva del ghiacciaio della Brenva dove sono state sfruttate appieno le potenzialità del laser scanner. Il fronte di interesse, che si sviluppa per più di 600 m in quota, è difficilmente accessibile e l'utilizzo di un laser scanner di media portata richiederebbe un elevato numero di posizioni di scansione su terreno poco sicuro. Con LPM-321 sono state eseguite due scansioni ad una distanza media dal fronte di 2500 m, lungo una pista che risale il versante opposto del ghiacciaio e accessibile con motoslitte. Le scansioni (rate 10Hz, passo = 0.072 deg) hanno permesso di misurare punti su ghiaccio alla massima distanza di 3200 m (Figura 8), permettendo l'acquisizione completa del fronte di interesse.

TRATTAMENTO DEI DATI

GPS/Topografia

La rete di vertici materializzata è stata misurata con un rilievo GPS con posizionamento relativo e approccio alle doppie differenze di fase. Uno dei vertici della rete è stato posizionato relativamente alle stazioni permanenti GPS della rete delle Regione Piemonte (Torino, Lago Agnel, Biella). Tale vertice è stato impiegato successivamente per il posizionamento relativo degli altri vertici della rete. Il processamento delle *baselines* ha condotto alla soluzione delle stesse con fissaggio dell'ambiguità di fase e determinazione dei coefficienti della matrice di varianza covarianza per ognuna delle baseline. La rete di inquadramento topografica è stata realizzata con lo scopo di determinare la posizione dei punti presegnalizzati (*marker*). I vertici GPS sono stati utilizzati per l'orientamento della rete topografica. La rete è stata compensata con procedimento ai minimi quadrati con software topografico Starnet, utilizzando come capisaldi i vertici della rete GPS.

Laser Scanner

Con elaborazione dei dati laser scanner, si intende l'insieme delle operazioni che consente di ottenere, a partire da una o più nuvole di punti acquisite, un prodotto finale che possa essere utile ad un utente per l'estrazione di informazioni di interesse (modello 3D a colori, immagine solida, ortofoto di precisione, ecc.).

Le operazioni tipiche del trattamento dei dati laser sono la ricerca di punti presegnalizzati all'interno della scansione laser (*marker* o entità geometriche di vario tipo, ad esempio sfere di dimensione nota), la filtratura della nuvola di punti per l'eliminazione degli errori di acquisizione (*outliers* e *gross errors*) e del rumore presenti, l'eliminazione dei punti non contestualmente legati all'oggetto (ad es. punti di sfondo o di primo piano), l'allineamento automatico di modelli tridimensionali adiacenti e la georeferenziazione delle nuvole di punti in un sistema di riferimento esterno noto a priori.

Il risultato che si ottiene dall'insieme delle operazioni elencate è una nuvola di punti complessa e completa dell'oggetto che rappresenta il corretto punto di partenza per la creazione di qualsiasi prodotto rivolto all'utilizzatore finale dei dati.

Uno dei problemi principali che è necessario risolvere nei rilievi laser scanner a scansione multi temporali degli apparati glaciali è la scelta del sistema di riferimento corretto. Ad esempio laser scanner eltrasportati e terrestri acquisiscono i dati secondo sistemi di riferimento differenti che non sono direttamente compatibili tra loro se non attraverso complesse procedure di conversione dei dati. Altra problematica da affrontare è il sistema di riferimento utilizzato dai glaciologi per le analisi territoriali, che generalmente è di tipo cartografico e che rende quindi necessario considerare la differenza tra distanze reali, misurate con i sensori laser, e le distanze cartografiche. Tale problema aumenta al crescere della quota alla quale si trova l'apparato glaciale e della sua estensione e quindi con sensori laser con elevate portate non può essere trascurato.

Per quanto descritto, solo un dato acquisito ed elaborato correttamente permette di effettuare analisi morfologiche multi temporali tridimensionali degli apparati glaciali anche derivanti da metodologie di rilevamento differenti e permette agli specialisti di effettuare analisi dimensionali e bilanci di massa con elevata precisione anche di superfici molto estese.

Per affrontare in modo corretto e rigoroso l'insieme delle operazioni di elaborazione elencate è stato utilizzato nelle fasi di elaborazione dei dati il software Sir-IO, software di elaborazione rigorosa e di gestione dei dati geomatici sviluppato da SIR, Soluzioni Innovative per il Rilevamento s.r.l. in collaborazione con il Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie.

Sir-IO permette di effettuare in modo rigoroso il trattamento dei dati laser scanner e, grazie alla calcolatrice geodetica rigorosa di cui è dotato, permette di gestire il modello digitale secondo il sistema topografico locale o secondo qualsiasi altro sistema di riferimento. In particolare nel caso in esame i dati sono il ghiacciaio è stato espressi in coordinate UTM ED50 e quota ortometrica.

CONCLUSIONI

Il Laser Scanner RIEGL LPM-321 ha dimostrato di essere all'altezza delle caratteristiche tecniche dichiarate dalla casa produttrice riuscendo ad acquisire senza particolari problematiche aree ed oggetti con portate fino a 6000 m. Con l'ingresso nel campo della geomatica di questi nuovi strumenti si rende però necessario affrontare una serie di problematiche finora in parte trascurate, problematiche che è necessario affrontare quando la teoria della geodesia lo richiede. Affinché le tecniche di acquisizione laser possano fornire risultati correttamente fruibili è necessario infatti elaborare correttamente i dati acquisiti con idonee procedure di allineamento e georeferenziazione delle scansioni. Tali operazioni non possono semplicemente essere effettuate utilizzando alcuni punti in coordinate cartografiche, ma devono considerare i più generici problemi geodetici relativi alla scelta ed al passaggio tra sistemi di riferimento e quelli legati alla curvatura terrestre.

BIBLIOGRAFIA

Ewert H., Dietrich R., Maas H-G., Schwalbe E., 2008, "Glacier velocity determination from multi temporal terrestriail long range laser scanner point clouds" *Proceedings of the XXI ISPRS congress*, Beijing, China

Girardi S., Cavulli F., Voltolini F., Rizzi A., Remondino F., Pedrotti A., Gonzo L., 2007,

"Laser scanner e Fotogrammetria digitale per la modellazione e l'analisi di siti archeologici: il caso studio del Riparo Gaban", *XI ASITA Conference, October 2007*, Torino, Italy

Abellan A., Martinez J., Vilaplana J.M., 2006, "Application of long-range Terrestrial Laser Scanner to a detailed rockfall study at Vall de Nùria (Eastern Pyrenees, Spain)", *Journal of Engineering Geology*, 88(2006) 136-148

Pfeifer, N., Lichti, D., 2004, "Terrestrial Laser scanning: Developments, Applications and Challenges", *GIM International*, December 2004

Bauer, A., Kaufmann, V., Paar, G., 2003, "Terrestrial Laser scanning for rock glacier monitoring", *Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost*, Zurich, Switzerland