

Rivoluzione tecnologica negli scanner laser 3d Terrestri ed Aviotrasportati

Simone Orlandini (*), Leandro Bornaz (**), Riegl (***)

(*) Microgeo s.r.l., via Petrarca, 42 Campi Bisenzio (Firenze),
(**) SIR, Soluzioni Innovative per il Rilevamento s.r.l. spin-off del Politecnico di Torino
Corso Castelfidardo 30/A 10129 Torino
(***) Riegl, Laser Measurement Systems
(*) info@microgeo.it, (**) leandro.bornaz@sir.to.it,

Riassunto

Con l'introduzione sul mercato della tecnica di misura dei target multipli sullo stesso raggio laser sviluppata da RIEGL, è oggi possibile ottenere dati laser scanner con maggior definizione e con maggiori informazioni in ogni settore applicativo.

In ambito Architettonico, è possibile ottenere maggior dettaglio e precisione riducendo i punti in ombra, mentre, in applicazioni territoriali, è possibile migliorare notevolmente il filtraggio della vegetazione.

Il Riegl VZ-400 è inoltre il primo laser scanner terrestre ad oggi sul mercato dotato di un sensore Gps ed un Inclinometro integrati, utili alla georeferenziazione diretta ed all'allineamento di prima approssimazione delle scansioni. La nuova serie di scanner Riegl è inoltre stata progettata per poter eseguire scansioni da fermo e/o in movimento. Tutti i sensori nascono infatti con dispositivi integrati per l'interfacciamento con sensori di moto quali IMU/GPS.

In questo articolo sono analizzate la nuova tecnologia di acquisizione e sono evidenziati i primi risultati dell'analisi.

Abstract

The new *RIEGL VZ-400* is the first terrestrial instrument using a full wave form analysis. Echo digitization and online waveform analysis allows achieving superior measurement capability even under adverse atmospheric conditions and the evaluation of multiple target echoes.

In this paper the new measurement system is evaluate and some first results are show.

Introduzione

I laser scanner hanno rappresentato in questi ultimi anni una innovazione tecnologica impetuosa nel settore della geomatica. Questo tipo di sensore ha infatti trasformato e ancora sta rivoluzionando il metodo di rilevamento e monitoraggio di oggetti in tutti quegli ambiti in cui è fondamentale la conoscenza dimensionale o del contesto nel quale esso si inserisce. In particolare, questi strumenti di acquisizione, hanno permesso a ricercatori e professionisti del campo geomatico di ottenere da un lato molte informazioni di interesse in modo più semplice ed agevole, dall'altro di sviluppare nuove procedure e nuovi prodotti che valorizzano il lavoro effettuato.

Gli ambiti in cui maggiormente ha avuto sviluppo il laser scanner sono l'ingegneria civile, nel monitoraggio dei manufatti e delle grandi opere, nel campo degli studi ambientali di stabilità dei pendii e delle pareti rocciose o della pianificazione territoriale, nel campo dell'architettura, dell'archeologia, delle costruzioni navali e ancora in molti altri campi.

Oggi, con l'inserimento sul mercato del nuovo sensore Riegl VZ-400, ci troviamo di fronte ad una ulteriore innovazione tecnologica che ha luogo all'interno del settore del rilevamento laser, in particolare nel campo dei sensori laser scanner terrestri (TLS). Innovazione tecnologica che dimostra

come questo settore sia in continua espansione e possa offrire al campo della ricerca scientifica, sempre nuovi spunti e possibilità.

Il sensore RiegI VZ-400

Il sensore RiegI VZ-400 è un laser scanner a tempo di volo che rispetto ai sensori della stessa categoria introduce una interessante innovazione. A differenza dei sensori laser scanner tradizionali, che misurano la distanza mediante analisi del segnale di tipo analogico, il nuovo VZ-400 è dotato di un analizzatore di forma d'onda digitale.



Range (distanza massima misurabile)	Fino a 500 m (Laser Class 1)
Precisione	5 mm
Velocità di misurazione	> 125.000 misure/s
Campo di acquisizione	100° x 360°
Velocità di acquisizione	verticale: 3 – 120 linee / sec orizzontale: 0°/sec - 60°/sec
Memoria	interna 8 GByte <i>flash memory</i>
Peso	9.8 kg

Consideriamo un singolo impulso laser che viene emesso dal sensore al tempo t . L'impulso si propaga nello spazio fino a quando, giunto a contatto con la superficie dell'oggetto rilevato, viene in parte riflesso verso il sensore, dove sopraggiunge dopo un tempo Δt . A causa della diffusione provocata dalla superficie impattante e dall'assorbimento della radiazione provocata dall'atmosfera durante il tempo di volo Δt , l'impulso in ingresso rilevato dal sensore, avrà una intensità minore di quella dell'impulso emesso.

Nel caso di segnale analogico la misura di distanza viene effettuata solo se il segnale entrante ha una intensità superiore ad una soglia minima. La misura di distanza viene calcolata misurando, mediante un convertitore tempo tensione, il tempo di volo dell'impulso per percorrere in andata e ritorno la distanza tra sensore e segnale.

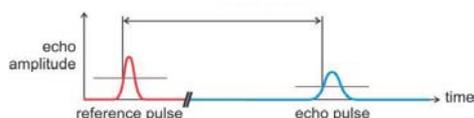


Figura 1 – Misura analogica della distanza

La misura analogica della distanza è quindi affetta da due problemi: la presenza di una soglia minima sulla misura, che potrebbe provocare la perdita di informazioni importanti (ad esempio oggetti lontani che, a causa dell'assorbimento del raggio laser nell'atmosfera, sono caratterizzati da un segnale in ingresso con valore massimo minore del valore di soglia) e la necessità di un tempo minimo per effettuare la misura, che corrisponde alla velocità di carica del convertitore analogico.

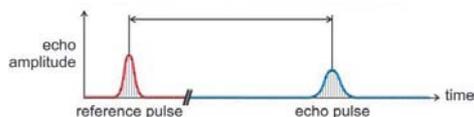
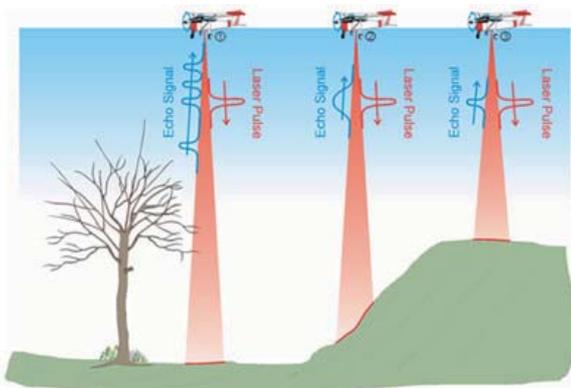


Figura 2 – Misura digitale della distanza

Nel caso dell'analisi di segnale digitale la situazione è sensibilmente differente. L'onda emessa e quella riflessa sono digitalizzate e quindi anche l'analisi del segnale può essere effettuata in modo numerico con algoritmi specifici. Questo significa che non è necessario stabilire una soglia minima come nel caso analogico permettendo così di individuare anche impulsi entranti molto deboli. Inoltre l'analisi matematica del raggio laser è molto più veloce di quella analogica, permettendo così il raggiungimento di velocità di acquisizione decisamente più elevate (fino a 20.000 punti al secondo misurati con sensori analogici. Fino a 125.000 con nuovo sensore Riegl).



L'analisi digitale del raggio laser permette inoltre di ampliare il concetto di misura al concetto di misura di target multipli. Il tutto è funzione del concetto di divergenza del raggio laser. Dal punto di vista applicativo un impulso laser è una radiazione elettromagnetica monocromatica, dotata di coerenza spaziale e temporale, ovvero un fascio puntiforme che si propaga nello spazio. Nella realtà dei casi la coerenza spaziale non è raggiungibile ed i laser sono affetti da divergenza angolare. Dal punto di vista pratico questo significa che, man mano che il fascio

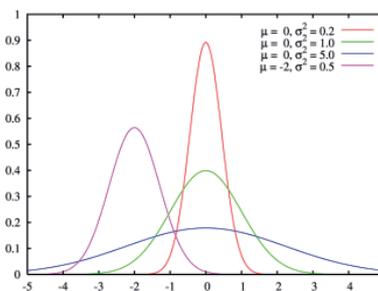
di luce laser si allontana dal punto di emissione, si espande. Espandendosi è possibile che, durante la sua propagazione, l'impulso laser colpisca più oggetti e che quindi venga riflesso più volte provocando più fasci di luce laser riflessi. Questo accade classicamente in vicinanza dei bordi degli oggetti, in presenza di vegetazione e di vetri.

I distanziometri analogici installati sui sensori laser classici, a causa del tempo minimo necessario alla misurazione ed al valore minimo di soglia, non sono in grado di discriminare tutti gli impulsi entranti. Generalmente permettono la sola misurazione del primo o dell'ultimo impulso entrante. Solo nel caso di laser aviotrasportati è possibile misurare primo, secondo, terzo ed ultimo impulso. Tra questi deve però intercorrere un intervallo di tempo minimo, per quando detto in precedenza, che corrisponde quindi ad una minima distanza discriminabile tra un impulso entrante ed il successivo lungo la stessa direzione.

Per acquisizioni terrestri l'operatore è quindi obbligato a scegliere a priori se misurare il primo o l'ultimo impulso, dovendo così rinunciare a informazioni che potrebbero risultare importanti durante l'elaborazione dei dati.

Nel caso del sensore ad analisi digitale questo concetto viene letteralmente stravolto. L'analisi della forma d'onda completa permette infatti di discriminare tutti i singoli impulsi entranti e permette di memorizzare tutti gli impulsi entranti arricchendo notevolmente il dato acquisito.

L'analisi completa di forma d'onda permette inoltre di stabilire matematicamente la struttura di ogni singolo impulso in ingresso in termini di dispersione del segnale attorno al valore medio dell'onda riflessa. Questa diffusione, per quanto spiegato in precedenza, dipende dalla zona di impatto tra fascio ed oggetto e dall'angolo di incidenza del raggio sulla superficie rilevata. L'analisi digitale del segnale permette di discriminare le onde entranti in funzione della loro dispersione e di eliminare, qualora ritenuto necessario, le onde riflesse caratterizzate da una forma d'onda molto dispersa e che potrebbero rappresentare punti nello spazio acquisiti con precisione inferiore a quella dello strumento.



Oltre a questo aspetto, questo nuovo sistema di analisi della forma d'onda, permette di ottenere informazioni aggiuntive rispetto a quelle ottenute con sensori analogici. Finora, i sensori del laser 3D permettevano di misurare, oltre alla posizione 3D di un singolo punto, un valore chiamato generalmente riflettività o ampiezza per ogni impulso ricevuto in termini di % di raggio riflesso. Questo valore veniva salvato come numero (0-255). Per come viene definito il valore % di raggio riflesso non ha però alcun significato fisico. Consideriamo l'acquisizione con sensore analogico di un segnale riflettente al 100% l'impulso laser. Se il target viene posizionato a 50 m dal sensore, il segnale entrante non è 100% di quello uscente ma leggermente inferiore a causa dell'assorbimento dell'atmosfera. Se lo stesso segnale lo si posiziona a 100 m il segnale entrante ha una intensità 4 volte inferiore che nel caso precedente. Nonostante il segnale sia lo stesso e la riflettività del segnale sia esattamente la stessa, per effetto dell'atmosfera, la riflettività dei due punti misurati è differente. Questo dimostra come il valore di riflettività o ampiezza misurati dai sensori laser analogici, essendo dipendente dalla distanza acquisita, non abbia alcun significato fisico.

Questo limite viene superato con l'introduzione del nuovo sensore Riegl VZ-400. Col nuovo sensore il valore di riflettività ed ampiezza assumono un significato differente.

Il valore di ampiezza corrisponde esattamente a quello misurato dai sensori analogici, quindi come % entrante del raggio emesso.

Il valore di riflettività assume invece nuovo significato. La riflettività viene considerata come il rapporto tra l'ampiezza entrante e l'ampiezza che avrebbe il raggio se l'oggetto misurato fosse un segnale bianco riflettente al 100% l'impulso laser che si trova alla stessa distanza del punto misurato. Questo tipo di informazione, benché vengano ipotizzati come superficie di confronto una superficie riflettente al 100% la specifica lunghezza d'onda del laser ed un angolo di incidenza pari a 90°, si avvicina maggiormente al significato fisico di riflettanza del materiale e permette da un lato una ricerca più accurata e agevole dei marker riflettenti posizionati all'interno della scena acquisita per l'allineamento tra le scansioni, dall'altro apre nuovi orizzonti per la lettura dell'oggetto acquisito, in termini di discriminazione del materiale.

A queste innovazioni sono inoltre da sommare alcuni altri aspetti che, seppur non rappresentano una vera innovazione tecnologica, sono da considerarsi come aspetti importanti in quanto riguardano un avanzamento tecnologico importante per gli aspetti di precisione e logistica di utilizzo pratico. Questi aspetti sono :

1. la maggior accuratezza nella misura della distanza, quale conseguenza della metodologia di misurazione digitale;
2. la riduzione del peso e dell'ingombro del sensore;
3. la possibilità di gestire il laser scanner senza utilizzo di PC e possibilità di salvare i dati su chiavetta.

Primo test di acquisizione

A completamento di questa prima analisi in merito al sensore Riegl VZ-400 sono stati effettuati alcuni test di acquisizione per mettere in evidenza le caratteristiche dello strumento. I primi test hanno evidenziato le elevate prestazioni offerte da questo sensore in termini di velocità e qualità nella digitalizzazione degli oggetti. Lo strumento è inoltre più compatto e leggero dei suoi predecessori, permette di effettuare il centramento di un punto a terra e, grazie al nuovo sistema di gestione integrato, gestibile attraverso palmare, risulta operativamente più semplice da utilizzare e permette di ridurre drasticamente il tempo necessario per le operazioni di inzializzazione.

Le prime elaborazioni sono state effettuate coi software Riscan Pro, prodotto dalla casa costruttrice, e con Sir-IO, software sviluppato da SIR, Soluzioni Innovative per il Rilevamento. Si tratta di elaborazioni esaurienti per la sola conoscenza iniziale del nuovo tipo di dato fornito e che dovranno essere incrementate con studi più approfonditi e generalizzati. I dati acquisiti possono essere immediatamente classificabili per mezzo del software Riscan Pro, evidenziando e selezionando a piacere primo, impulso, ultimo impulso, impulsi singoli, altri impulsi. I filtri presenti nel software permettono di selezionare ed eliminare i punti che non sono di interesse (per esempio la vegetazione). Evi-

denti sono la capacità penetrativa del laser scanner alla vegetazione e la capacità di misurare sia la superficie di una vetrata che di alcuni punti che si trovano dietro di essa (qualora l'angolo di incidenza è superiore ad un certo limite non si ha penetrazione del raggio laser ma deviazione del raggio).



Figura 3 – Test di acquisizione del VZ-400 in presenza di vegetazione

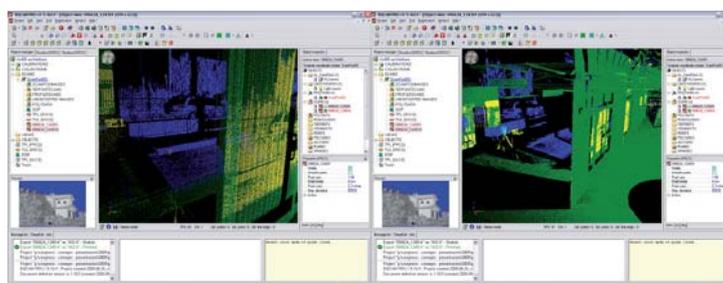
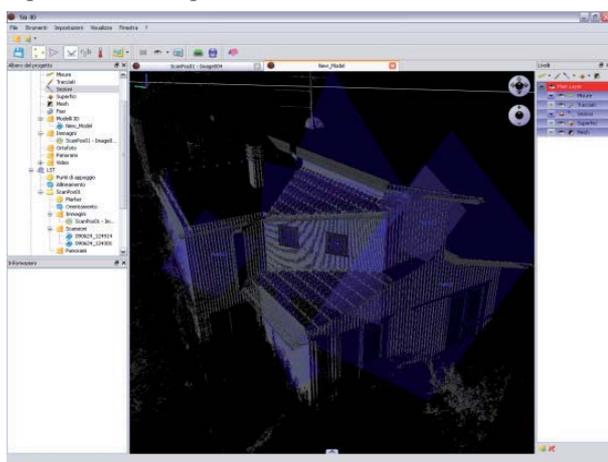


Figura 4 – Test di acquisizione del VZ-400 in presenza di vetrate. Classificazione dei punti in funzione dell'impulso

Ancora nessun test è stato effettuato dagli autori per valutare la qualità dei punti acquisiti laddove l'impulso laser riesca ad oltrepassare la vegetazione e le vetrate. Questi test sono al momento in fase di realizzazione e serviranno per valutare da un lato gli effetti legati alla propagazione del laser all'interno della vegetazione, dall'altro per stabilire gli effetti della rifrazione cui il raggio è sottoposto qualora esso riesca a oltrepassare le vetrate. Molti sono quindi ancora i test da effettuare per capire l'effettiva qualità del dato.



Il primo test effettuato è consistito nell'acquisizione di una abitazione da una singola posizione di acquisizione. Della nuvola di punti ottenuta sono state selezionate un insieme di porzioni, corrispondenti ognuna ad una parete dell'abitazione. Per ognuna è stato calcolato il piano medio ed è stata misurata la distanza ortogonale media e mediana tra piano calcolato e punti misurati. I valori sono indicati nella tabella seguente ed oscillano tra un valore massimo di 5 mm ed uno minimo di 2 mm. Il risultato ottenuto con questa prima operazione convalida ampiamente, seppur in via approssimativa, la pre-

cisione dichiarata dello strumento ($\sigma_d = 5$ mm), anche per le superfici aventi, rispetto la direzione di digitalizzazione, un angolo di incidenza elevato.

ID	Nome	Live	Equi	DIP [deg]	DIP Direction [deg]	N. punti	Centro	Distanza media punti-piano [m]	Mediana distanze punti-piano [m]
Plan...	M...	0...	89.46713	132.13708	6242	x = ...	0.002	0.002	
Plan...	M...	0...	89.42054	132.35224	2281	x = ...	0.002	0.002	
Plan...	M...	0...	89.64210	42.42072	1312	x = ...	0.004	0.004	
Plan...	M...	0...	89.48436	97.33428	7146	x = ...	0.002	0.002	
Plan...	M...	0...	89.80156	42.37394	1189	x = ...	0.005	0.004	
Plan...	M...	0...	89.69790	42.44487	2096	x = ...	0.005	0.004	
Plan...	M...	0...	84.74623	131.98713	897	x = ...	0.003	0.003	

Figura 5 – Tabella dei piani medi determinati e indicazione di distanza media e mediana tra i punti ed i piani determinati

Lavorando con i dati del sensore Riegl VZ-400 ci si accorge immediatamente che si sta lavorando con uno strumento che fornisce un dato sostanzialmente nuovo rispetto ai sensori fino ad oggi presenti sul mercato. Questo aspetto porterà, secondo gli autori, da un lato potenziare le procedure già esistenti, dall'altro richiederà la definizione di nuove procedure ed algoritmi che non possono far altro che migliorare la qualità dei dati prodotti.

Conclusioni

Il Laser scanner VZ-400 prodotto e distribuito da Riegl rappresenta una importante novità nel settore dei laser scanner 3D. I primi test hanno dimostrato l'effettivo innalzamento qualitativo delle caratteristiche strumentali in termini di analisi del segnale, di portabilità dello strumento, di velocità di acquisizione e qualità e quantità di dati ottenuti.