

N° 6
2009

Rivista bimestrale - anno 13 - Numero 6/09 - Spacc. in abb. postale 7019 - Filiale di Pavia

GEO MEDIA

La prima rivista italiana di geomatica e geografia intelligente

► **Laser scanner: stato attuale e future applicazioni**

► **Le statue Moai dell'Isola di Pasqua ricostruite in 3D**

► **Mostra: Un tesoro ritrovato, dal rilievo alla rappresentazione**

► **Un report dalla Conferenza ASITA 2009**

► **OpenStreetMap: la rivoluzione delle mappe libere**

Il laser scanner nel panorama attuale della geomatica

di Fulvio Rinaudo

L'articolo offre una panoramica sull'attuale mercato del laser scanner; ultima nata nel settore della geomatica, questa tecnologia da alcuni anni ha conquistato un settore di rilevante importanza a causa delle sue modalità di acquisizione del dato. Esse si caratterizzano per un'altissima velocità e totale automazione del rilevamento, con particolare efficacia nella resa 3D dell'oggetto descritto e da una quantità immensa di punti che spesso supera anche l'ordine di grandezza oggi gestibile dai normali personal computer.

L'evoluzione della tecnologia laser avvenuta recentemente e il suo pieno recepimento da parte delle aziende produttrici di strumenti hanno portato notevoli vantaggi alle applicazioni di rilievo metrico aereo e terrestre.

In questi ultimi anni abbiamo assistito all'ingresso sul mercato di sensori in grado di differenziare ritorni distanziati nel tempo dello stesso impulso emesso, consentendo quindi la discriminazione automatica di oggetti a diversi livelli sopra il terreno. Ad esempio, nella scansione aerea di un terreno coperto parzialmente da vegetazione, si può capire se il punto rilevato appartiene o meno al terreno considerando i diversi tempi di ritorno di un impulso emesso: il segnale che ha impiegato più tempo per tornare rappresenta il terreno mentre i segnali che per primi hanno raggiunto il ricevitore rappresentano diversi livelli di vegetazione o più in generale ostacoli che, utilizzando la registrazione di un unico impulso di ritorno, avrebbero potuto oscurare il terreno stesso. Questa tecnica, basata sulla lettura contemporanea di una serie di impulsi in parallelo, non è nuova (già nel 1992 venne applicata con successo nelle tecniche radar); quello che ha rappresentato un grosso passo avanti è però la sua applicazione anche nei sensori laser.

La vera rivoluzione nel mondo della tecnologia laser è però sicuramente rappresentata dalla possibilità di digitalizzare e registrare tutto il segnale laser ricevuto, al fine di operare l'analisi della forma d'onda del segnale. Ciò consente non solo di aumentare le precisioni nella misura delle distanze e di individuare tutti gli impulsi ricevuti, ma anche di caratterizzare le tipologie di oggetti che hanno causato le diverse riflessioni del raggio laser inviato. Quest'ultima opportunità può essere sfruttata solo analizzando le forme d'onda di una *nuvola di punti*: prendiamo come esempio la scansione di un edificio da terra. I segnali che hanno colpito le pareti mostrano un'alta riflettività e definiscono un piano verticale, quel-

li che hanno colpito una falda del tetto definiscono un piano non verticale e hanno una riflettività di solito minore. Inserendo nell'analisi delle onde di una nuvola di punti alcuni filtri di *buon senso* (individuazione di piani, diversa riflettività, ecc.), è possibile discriminare automaticamente le componenti geometriche essenziali di una scansione laser, senza interventi *pesanti* da parte di un operatore.

Mentre nelle applicazioni aeree questo metodo richiede un post-processamento dei dati, nelle più recenti applicazioni su sensori terrestri statici, l'analisi dell'onda può essere compiuta quasi in tempo reale aumentando le potenzialità di interpretazione delle nuvole di punti. Chi conosce il paziente lavoro di interpretazione necessario per trasformare una nuvola di punti in un rilievo metrico sicuramente avrà apprezzato queste novità.

Evoluzione degli strumenti

Questa innovazione della tecnologia laser ha trovato immediate ripercussioni nello sviluppo degli strumenti di acquisizione sia aerea che terrestre. I sistemi LiDAR (*Light Detection and Ranging*) terrestri hanno goduto inoltre di notevoli miglioramenti operativi che tendono a integrare le diverse tecnologie di rilievo necessarie, in un'unica soluzione operativa. Oggi è facile trovare sul mercato strumenti terrestri che operano come delle vere



Leica Scan Station C10 l'ultima versione del primo strumento LiDAR terrestre che funziona come stazione totale e acquisizione immagini integrata.



Sensore aereo Optech GEMINI in grado di registrare impulsi multipli di ritorno.

e proprie stazioni totali: essi consentono di risolvere il problema della georeferenziazione delle diverse nuvole di punti acquisite in successive posizioni dello strumento stesso, senza ricorrere a reti di raffittimento da rilevarsi con stazioni totali in fasi successive.

Un altro segnale significativo e positivo è rappresentato dal fatto che tutti i sistemi di acquisizione – aerei e terrestri – vengono presentati oggi in stretta associazione con dispositivi di acquisizione di immagini digitali, sia separati (nelle applicazioni aeree), sia perfettamente integrati e in grado di fornire immagini già orientate nel sistema di coordinate dello strumento e quindi direttamente associabili alle scansioni.

Costituisce infine una nota comune a tutti gli strumenti terrestri oggi presenti sul mercato, la disponibilità di sistemi di alimentazione integrati e la possibilità di registrare i dati all'interno dello strumento o la possibilità di trasmetterli in wireless ad un calcolatore. Queste novità non sono di poca importanza; anzi esse rappresentano un vero e proprio passo in avanti verso un'agevole esecuzione delle acquisizioni e una notevole riduzione dei tempi e dei costi.

Evoluzione delle tecniche di trattamento dati del software

Nell'ambito delle tecniche di trattamento dei dati LiDAR, la possibilità di disporre di immagini di risoluzione adeguata orientate nello stesso sistema di coordinate delle nuvole di punti ha messo a disposizione degli operatori un indispensabile mezzo per la corretta interpretazione e integrazione delle nuvole di punti.

La disponibilità di insiemi di dati contenenti le diverse risposte degli impulsi o la forma d'onda completa di essi, ha alla favorito l'introduzione negli applicativi di alcuni meccanismi automatici di classificazione e interpretazione dei dati.

Inoltre, si è assistito ad un enorme sforzo da parte dei ricercatori per consolidare tecniche di segmentazione (rilievo automatico delle linee di discontinuità) e di modellazione (interpretazione automatica di forme elementari) che nel loro insieme potrebbero consentire la riduzione intelligente dei punti utilizzati per la generazione dei modelli geometrici finali.

L'uso intelligente e produttivo delle soluzioni di trattamento automatico dei dati richiede ovviamente che l'operatore conosca a fondo gli algoritmi che vengono via via implementati, almeno a livello di comprensione del loro funzionamento in termini pratici; questo, per poter essere in grado di gestire, in modo autonomo, la

scelta dei parametri che governano i processi stessi.

L'aumento della quantità dei dati da gestire (densità dei punti, informazioni per ogni punto acquisito, immagini monoscopiche e/o stereoscopiche) richiede ovviamente strumenti di elaborazione sempre più potenti e dispositivi di archiviazione sempre più impegnativi. Tuttavia, occorre ricordare che è opportuno non perdere la buona prassi di conservare sempre i dati iniziali, le elaborazioni intermedie significative e i risultati finali, al fine di garantire sia la tracciabilità del processo di elaborazione che la possibilità di effettuare confronti storici.

Evoluzione delle applicazioni

Nell'ambito delle applicazioni, la tecnica LiDAR ha consolidato i suoi tradizionali ambiti e, grazie alla maggiore integrazione con la fotogrammetria digitale, ne ha conquistati altri.

Gli ambiti di applicazione tradizionali delle tecniche LiDAR aeree sono quelle tipicamente ambientali e legate alla pianificazione territoriale: la generazione di DEM e DSM su vaste aree di territorio per le modellazioni idrauliche, per le progettazioni stradali e delle grandi infrastrutture, per la modellazione delle diffusioni acustiche e di sostanze gassose, per il posizionamento delle antenne ricetrasmittenti delle telefonia fissa e mobile, per la previsione degli effetti di eventi naturali quali, ad esempio, le esondazioni fluviali.

Notevoli passi avanti sono stati compiuti nella modellazione semiautomatica degli edifici. Un recente test condotto da numerose università italiane e straniere ha preso in esame le diverse soluzioni oggi praticabili e, pur prendendo atto che non si è ancora giunti ad una soluzione finale affidabile e traducibile in pratica operativa, si è riconosciuto nella tecnica LiDAR l'anello mancante della catena di procedure già a suo tempo sperimentate dalla fotogrammetria digitale. Le stesse conclusioni possono essere desunte per le applicazioni legate ai rilievi di reticoli stradali e idraulici anche se, in questo particolare caso, i risultati sono sicuramente più affidabili e congruenti rispetto a quelli fino ad ora ottenuti per la modellazione dei centri urbani. Anche il rilievo di boschi e foreste ha visto un notevole sviluppo delle tecniche LiDAR e l'esecuzione di sperimentazioni a livello europeo (EuroSDR/ISPRS) hanno confermato la validità della tecnica sia nella stima delle altezze degli alberi, sia nella loro classificazione, pur riconoscendo la necessità di una maggior integrazione con la fotogrammetria digitale allo scopo di poter giungere ad una soluzione affidabile, e quindi spendibile a livello di standard, nelle pratiche ordinarie di rilievo.

Tra le applicazioni terrestri se ne sono consolidate alcune ambientali di fondamentale importanza – specie per il contesto italiano – quali il monitoraggio delle frane, delle valanghe e dei ghiacciai, la valutazione di ammassi di materiale inerte, la gestione e il controllo dei piani di coltivazione delle cave. Non di minor importanza sono poi le applicazioni della tecnica LiDAR nell'ambito del rilievo di manufatti quali le infrastrutture (per consentire monitoraggi del loro stato di conservazione e funzionamento) e l'edificato. Nel rilievo di edifici la tecnica LiDAR ha mostrato in questi ultimi anni sia le proprie potenzialità che i propri limiti. Anche in questo caso emerge chiaramente la necessità di integrare questa tecnica con le altre tecniche geomatiche, allo scopo di arrivare a soluzioni pratiche affidabili.



Il sistema di mobile mapping LYNX.

Sicuramente l'ambito che ha avuto maggior espansione in questi anni nell'ambito delle applicazioni terrestri (a corta distanza) è stato quello legato al *mobile mapping*, ossia a quei dispositivi mobili che hanno consentito molti rilievi per la formazione dei catasti stradali, per il monitoraggio di gallerie sia in fase di costruzione che di esercizio e per il rilievo urbano in generale. La disponibilità di sistemi di navigazione (antenne GPS e piattaforme inerziali) sempre più affidabili in termini di precisione e congruenza e l'aumento delle prestazioni in termini di velocità di acquisizione dei sensori laser terrestri ha reso possibile la realizzazione di sistemi adatti alle varie esigenze in un sempre gradito equilibrio tra costi, precisioni, congruenza dei dati acquisiti e semplicità di utilizzo.

Tendenze future

La misura delle distanze con raggi laser è una tecnica che viene utilizzata sin dal 1960; ma è solo con le prime realizzazioni di sensori in grado di misurare distanze su aree significative (agli inizi degli anni '90) e non solo lungo profili, che si è risvegliato l'interesse che ancora oggi si riconosce a questa tecnica.

La definitiva affermazione della tecnologia laser è legata infatti alle prime realizzazioni di piattaforme di navigazione GPS/IMU di precisione adeguata. Anche nelle applicazioni terrestri, nonostante quelle già presenti e operative nell'industria meccanica, solo alla fine degli anni '90 dello scorso secolo si è assistito ad una vera e propria *invasione* della tecnica LiDAR.

Tutti ricordano come nei primi anni alcuni rifiutassero completamente tale tecnica mentre altri decretavano la scomparsa delle tecniche fino ad allora utilizzate sia in ambito aereo che terrestre. Come sempre "il tempo è galantuomo" e oggi assistiamo, in tutti gli ambiti applicativi, alla ricerca di una sempre maggiore integrazione della tecnica LiDAR nell'ambito delle tradizionali tecnologie di rilievo metrico.

Con ancor più facilità è tramontata l'idea che il topografo (o geomatico come si usa chiamarlo adesso)

potesse essere sostituito da uno strumento in grado di misurare coordinate 3D con la semplice pressione di un tasto.

È bastato ingrandire le innumerevoli nuvole di punti che i sensori LiDAR forniscono con estrema semplicità, per accorgersi che in esse non esiste *rilievo metrico* ma solo una serie di punti indiscriminati e che al termine di una scansione si è appena all'inizio del vero rilievo metrico.

Nella migliore delle ipotesi la fase di acquisizione rappresenta solo il 20% dell'intero processo operativo necessario per giungere alla formazione di un DEM o di un DSM degno di tale nome. Chi ha provato con le proprie mani e con il proprio tempo cosa vuol dire *registrare* nuvole di punti (sia aeree che terrestri), analizzare e consolidare i risultati, estrarre le linee di discontinuità (*breakline*) e generare i prodotti veri del rilievo, può facilmente condividere questa affermazione.

Eseguire un rilievo metrico vuol dire modellare in 3D e in modo opportuno, con il richiesto livello di precisione e accuratezza (e con la conseguente congruenza), una realtà fisica esistente: questo processo richiede un alto livello di cognizione che, nonostante tutti gli sviluppi

delle tecniche di intelligenza artificiale, non potrà mai essere raggiunto senza un intervento umano di qualità. Eseguire un rilievo metrico non vuol dire sostituire l'intelligenza con l'abbondanza: per descrivere realtà complesse come il territorio o un edificio non servono tantissimi punti ma solo tutti quelli necessari: questo livello di necessità può essere capito solo da una mente umana. E non da una mente umana qualsiasi, ma da qualcuno che sappia cosa vuol dire misurare e modellare nello spazio qualcosa che esiste e che non è frutto di fantasia: in poche parole da un geomatico (o topografo per i nostalgici).

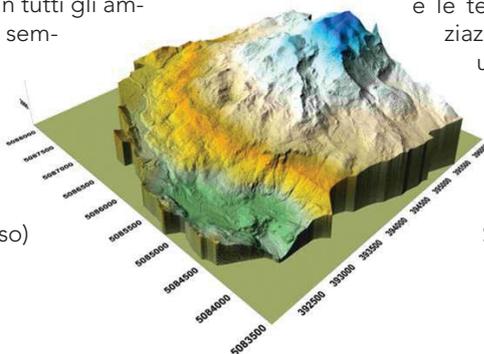
Ma la vera rivoluzione ce la dobbiamo aspettare dal passaggio dal *fidanzamento* in atto tra la fotogrammetria digitale e la tecnica LiDAR al *matrimonio* tra queste due tecnologie. Si consolidano e si perfezionano le tecnologie laser e le tecnologie legate alla georeferenziazione delle nuvole di punti, sia da un punto di vista *hardware* (piattaforme di navigazione sempre più accurate e veloci) che da un punto di vista *software* (registrazioni automatiche sempre più affidabili e congruenti). Si sviluppano e si consolidano le



Topcon GLS-1000 il primo apparso con alimentazione e registrazione dati integrati.

“È bastato ingrandire le innumerevoli nuvole di punti che i sensori LiDAR forniscono con estrema semplicità, per accorgersi che nella nuvola di punti non esiste rilievo metrico ma solo una serie di punti indiscriminati e che al termine di una scansione si è appena all'inizio del vero rilievo metrico”.

Modello 3D di un ghiacciaio





Nuvole di punti "colorata" della Chiesa parrocchiale di Roccaverano (AL)

LIDAR e giustizia

Premesso che sarebbe meglio che non succedessero mai fatti criminosi o incidenti di varia origine (sia naturale che umana), quando inevitabilmente questi accadono le tecniche LiDAR e fotogrammetriche possono essere un valido strumento investigativo. Tutti hanno avuto modo di leggere il coinvolgimento dell'Università di Ferrara nelle indagini seguite ad alcuni fatti di cronaca proprio per registrare la scena di un crimine. Tutti i geomatici potranno ora affermare che: "è chiaro che conviene e funziona!", ma occorre tener conto che quando c'è di mezzo la legge non basta essere sicuri di un risultato. Bisogna infatti anche convincere chi, su questi risultati, dovrà assumersi la grave responsabilità di emettere un giudizio di innocenza o di colpevolezza; figura questa che, ovviamente, avrà un bagaglio culturale completamente diverso da quello dei geomatici e che si doterà di tecniche di investigazione che a volte portano a cercare elementi solo con la logica del ragionamento, e che ad una prima analisi non hanno riscontri evidenti.

Solo in rari casi la fotogrammetria è riuscita ad affermarsi in questi campi (pensiamo alla polizia svizzera che da molti anni usa la fotogrammetria per il rilievo delle scene di incidenti stradali). Il LiDAR ha qualche possibilità in più grazie alla *amichevole* presentazione data dalle nuvole di punti colorate, fornite già pochi istanti dopo l'acquisizione.

Durante l'ultima conferenza ASITA si è potuto assistere ad una interessante e coinvolgente relazione da parte di un Sostituto Procuratore Generale della Repubblica che ha dimostrato tutto l'interesse della magistratura in questo tipo di tecniche.

L'uso combinato di LiDAR e fotogrammetria può consentire di registrare in pochi istanti e senza contaminarla, la scena dell'incidente o del crimine. I dati primari ottenuti sono del tutto oggettivi e possono essere utilizzati da qualsiasi parte coinvolta nel procedimento giudiziario per trarne le relative considerazioni e indicazioni utili alla conferma o alla smentita delle ipotesi.

Ovviamente, chi deve fare l'acquisizione deve conoscere bene le tecniche che utilizza: ciò implica il fatto che vengano inseriti più geomatici negli apparati investigativi, oppure che gli investigatori vengano formati anche da un punto di vista geomatico gli investigatori. Anche qui, come in ogni altro ambito applicativo, probabilmente la soluzione vera sarà nell'utilizzare geomatici *puri* per l'acquisizione e il trattamento dei dati e utenti specializzati per la corretta interpretazione e gestione dei dati che la geomatica può fornire.

migliori tecniche di segmentazione e modellazione nei vari ambiti applicativi, certi che alla fine ogni applicazione troverà la soluzione unica più appropriata.

Ma la vera rivoluzione sarà probabilmente da rintracciare nel passaggio dalla sperimentazione sulla fotogrammetria digitale e la tecnica LiDAR al consolidamento della fusione tra queste due tecniche.

È innegabile, infatti, che solo l'utilizzo di immagini orientate nello stesso sistema di coordinate delle nuvole di punti può consentire la verifica e l'integrazione delle interpretazioni necessarie per passare da una indistinta nuvola di punti a un vero e proprio rilievo metrico. In molti ambiti applicativi si auspica – e in alcune università si sta studiando a fondo – una più profonda integrazione tra fotogrammetria digitale e LiDAR. Le nuvole di punti generate da uno strumento LiDAR sono un ottimo punto di partenza per lo sviluppo di tecniche fotogrammetriche di autocorrelazione multi-immagine che evitano le ambiguità che caratterizzano da sempre tali procedure. Forse il futuro ci riserva una tecnica LiDAR che fornirà una prima soluzione che in seguito la fotogrammetria digitale affinerà con la consueta affidabilità che gli appassionati ben conoscono e apprezzano. **G**

Bibliografia

Si segnalano due libri recentemente pubblicati che riassumono lo stato dell'arte del LiDAR e i suoi possibili sviluppi futuri:

- J. Shan, C.K.Toth (2009) – *Topographic Laser Ranging and Scanning* – ed. CRC Press – ISBN 978-1-4200-5142-1;
- G. Vosselman, H.G. Maas (2009) – *Airborne and Terrestrial laser Scanning* – ed. Whittles Publishing – ISBN 978-1904445-87-6.

Abstract

LiDAR techniques as a new standard in Geomatic applications.

Today, many applications fields can found a correct solution just by using LiDAR systems. The recent introduction of the full-wave form analysis both in terrestrial and aerial LiDAR equipment stretched out the accuracy and the application fields of this technology.

Both acquisition systems and processing data software offer today a good integration between LiDAR and Digital Photogrammetry: the interpretation is more quick and the accuracy of the resulting 3D Models higher than in the past.

In a few years new possibilities will come out from a different integration between LiDAR and Digital Photogrammetry: LiDAR data can be used as a good approximate starting point for the multi-image autocorrelation algorithms: the point clouds resulting from LiDAR and Photogrammetric correlations will solve in a professional way new application fields.

Autore

FULVIO RINAUDO
FULVIO.RINAUDO@POLITO.IT