

# RILEVAMENTO TERRESTRE MULTI-SENSORE: ESPERIENZE E PROSPETTIVE

di Luigi Colombo  
e Barbara Marana

L'ARTICOLO PROPONE UN  
APPROFONDIMENTO SULLE  
TECNOLOGIE DI RILEVAMENTO  
TERRESTRE MULTISENSORIALI QUALI  
LASER SCANNER, FOTOCAMERA E  
GNSS. IN PARTICOLARE VIENE  
ESAMINATA L'ARCHITETTURA  
DEL SISTEMA SCAN-AND-GO,  
L'OPERATIVITÀ DEL SISTEMA E LA  
SPERIMENTAZIONE SUL TERRITORIO.



Fig. 1 - Esempio di integrazione di tre sensori: laser scanner, fotocamera, GNSS.

Le tecnologie del rilevamento topografico terrestre stanno evolvendo progressivamente verso nuovi sensori spaziali, integrati e multi-funzione, con caratteristiche di crescente automazione; in essi la funzione di posizionamento e orientamento dei punti di dettaglio, all'interno di un sistema di riferimento assegnato (geo-referenziazione), può essere effettuata già durante la fase di acquisizione, cioè in modo *diretto* e contestuale alla misura delle coordinate spaziali strumentali.

Inoltre, l'informazione quantitativa rilevata è sempre più integrata con quella fotografica, così da offrire all'utenza una conoscenza degli oggetti che comprenda anche l'aspetto semantico (fig. 1).

I sistemi di misura terrestri con questa nuova tecnologia, tradizionalmente operativi da terra, possono essere montati sopra un'autovettura, per semplificare e velocizzare il loro spostamento sui punti di stazione programmati, e accessoriati ulteriormente con dispositivi elettro-meccanici di sollevamento in grado di ottimizzare la geometria della ripresa di oggetti estesi in altezza, come facciate di edifici e cortine edilizie urbane. Esempi recenti di questa filosofia co-

struttiva sono forniti sia dalla Multi-Station terrestre Leica Nova MS50, che combina in un sistema compatto come una Total Station i principi della scansione 3D di dettaglio, del rilievo puntuale di precisione, delle immagini digitali di due fotocamere (una coassiale e una panoramica) e della connettività GNSS, sia da Scan-and-Go, un sistema multi-sensore statico, trasportabile su autovettura e con geometria di ripresa variabile, che viene prodotto in Italia dalla società omonima di Modena.

Il lavoro illustra una sperimentazione di documentazione urbana, proprio con quest'ultima tecnologia trasportabile di rilievo, eseguita sugli edifici del centro storico della città di Dalmine (Bergamo).

## L'ARCHITETTURA DEL SISTEMA SCAN-AND-GO

Il sistema di rilevamento spaziale Scan-and-Go integra in un solo apparato, montato su autovettura, un laser scanner, una fotocamera e due ricevitori satellitari, insieme con dispositivi meccanici per l'ottimizzazione della ripresa (orientamento, verticalità dell'asse di misura e sollevamento in altezza del sensore).

Il dispositivo di scansione laser consente rapide acquisizioni geometriche (coordinate di punti oggetto), la fotocamera (incorporata spesso coassialmente nel dispositivo laser, come nel caso dello scanner Faro di ultima generazione) può generare informazioni tematiche di significativa efficacia aggregate al dato geometrico (nuvole colorate) e i dispositivi GNSS risultano idonei al posizionamento e all'orientamento.

Il sistema, che può essere montato su qualsiasi autoveicolo ed è alimentato elettricamente da esso, dispone di un supporto telescopico per la ripresa laser.

Viene in questo modo permessa una migliore operatività nella fase di rilievo, grazie alla semplificazione degli spostamenti richiesti per l'esecuzione delle diverse sessioni di misura e alla ottimizzazione della geometria di acquisizione (fig. 2), consentita appunto dal sollevamento in verticale del sensore di scansione e di quello fotografico.

Il vantaggio procedurale si estende anche alla fase di ricostruzione del modello complessivo di punti, poiché diviene possibile la registrazione *diretta* delle nuvole, cioè *senza operazioni di allineamento*, in uno stesso sistema di riferimento.



Fig. 2 - Zone di sottostadio dovute alla presenza di ostacoli.

I punti registrati forniscono direttamente un unico modello, con una precisione complessiva di qualche centimetro, senza richiedere elaborazioni ulteriori sulle nuvole (cioè punti di controllo pre-segnalizzati e/o naturali) e sovrapposizioni adeguate fra le stesse.

Nella pratica operativa resta comunque opportuno, quando il rilievo sia previsto a grande scala, (maggiore di 1:50) e quindi con incertezze inferiori al centimetro, verificare via software il collegamento *diretto* (strumentale) fra nuvole adiacenti ed eventualmente affinarlo, utilizzando algoritmi di matching basati su entità comuni riconoscibili.

Le antenne dei due ricevitori satellitari presenti in Scan-and-Go sono montate, rispettivamente, sul cofano anteriore della vettura, tramite un basamento a livellamento manuale che comprende anche una "mira di orientamento", e sopra lo scanner posto in sommità del tubo telescopico.

Il sensore di rilievo è di norma un laser scanner, oppure una stazione totale motorizzata, connesso al dispositivo meccanico telescopico attraverso una piattaforma di livellamento biassiale automatico (precisione di orizzontamento 3"); la piattaforma è dotata di una pulsantiera per il comando a distanza e viene alimentata via cavo dallo slot accendisigari dell'autovettura di supporto. In questo modo è sempre garantita la verticalità dell'asse di rotazione del sensore laser, per consentire la semplificazione del riattacco fra le nuvole, anche operando su terreni accidentati o in pendenza.

I due ricevitori satellitari registrano, durante la fase della scansione, i dati di posizionamento e orientamento spaziale della stazione (statica) strumentale nel sistema di riferimento geodetico europeo, secondo la recente realizzazione nazionale determinata dall'Istituto Geografico Militare (ETRF2000-RDN), in funzione della rete dinamica di stazioni permanenti satellitari.

La posizione assoluta misurata dai due ricevitori di Scan-and-Go viene affinata al livello centimetrico procedendo in modalità differenziale sulla base dei valori di correzione trasmessi in tempo reale da una rete di stazioni permanenti (*Network RealTime Kinematic*) o, eventualmente, in post-processamento, utilizzando i file di misura registrati dalle stazioni della stessa rete nella zona (frequenza di acquisizione a 1 o 30 secondi) durante la campagna di rilievo.

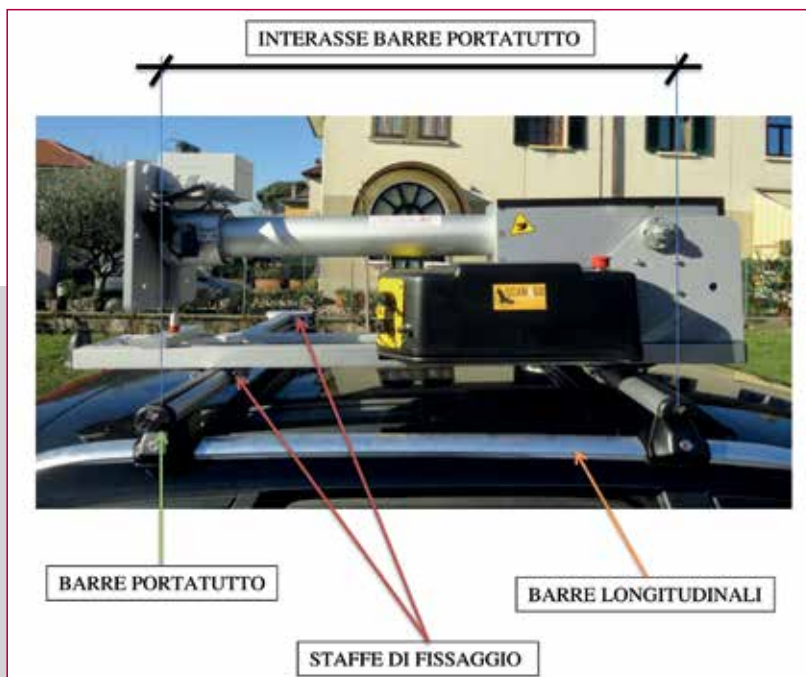


Fig. 3 - Il sistema di misura montato sopra un autoveicolo.

Pertanto, diviene possibile conoscere, con precisione centimetrica, sia le coordinate locali del sensore laser (origine) e della mira sul cofano del veicolo (orientamento), sia le loro coordinate nel riferimento generale italiano.

In questo modo, si dispone, per ogni scansione, dei punti doppi necessari alla stima dei parametri geometrici di trasformazione fra i sistemi strumentali locali delle nuvole di punti e il sistema di riferimento generale. Per quanto riguarda il dispositivo meccanico di supporto allo scanner, con sollevamento verticale fino a 2,3 m o 3,3 m, è evidente la sua fun-

zionalità in applicazioni su oggetti estesi in altezza; inoltre, la portata in sommità di 35 kg ne permette l'impiego con qualsiasi sensore laser.

Il sistema Scan-and-Go è montato sopra le barre portatutto di un autoveicolo (fig. 3): quest'ultimo può essere di modello qualsiasi purché abbia un cofano abbastanza sporgente così che la mira di orientamento possa essere inquadrata dal sistema laser, nonostante la zona inferiore esclusa dalla scansione, anche con il tubo telescopico esteso alla massima altezza (figg. 4a, b).

#### OPERATIVITÀ DEL SISTEMA



Fig. 4a - Cono di esclusione del laser durante la scansione.



Fig.4b - Dettagli del dispositivo autolivellante.

La gestione delle funzionalità del sistema Scan-and-Go è di tipo wireless, via connessioni Bluetooth e WLAN effettuate tramite PC, sia per il sensore di scansione laser e i ricevitori satellitari di posizionamento, sia per la gestione dei dati di correzione delle coordinate ricevuti in real-time. In questa applicazione, i dati di correzione differenziale sono stati forniti dalla rete NetGEO di Geotop, con tecnologia Topcon; il collegamento è stato realizzato da PC, via Bluetooth, utilizzando uno Smartphone 3G come hotspot (fig. 5).

La Rete NetGEO distribuisce sul territorio nazionale correzioni di codice e fase per il posizionamento differenziale (NRTK e DGPS) secondo soluzioni diverse, come la Nearest, in cui vengono inviate all'utente le correzioni prodotte dalla stazione permanente più vicina, o la Virtual Reference Station nella quale le correzioni sono quelle di una stazione virtuale ricostruita in posizione prossima all'utente.

**LA SPERIMENTAZIONE SUL TERRITORIO**

Il sistema di rilievo integrato Scan-and-Go è stato utilizzato con uno scanner Faro di ultima generazione, due ricevitori Topcon e un'autovettura propria, nel corso di un test sul territorio della città di Dalmine.

La sperimentazione si è sviluppata sull'area storica del territorio urbano, quella legata alle sue origini di città-industria voluta dalla società Dalmine Spa, con la finalità di ricostruire un modello a scala 1:100 delle cortine edilizie relative agli edifici progettati dall'architetto Greppi in epoca fascista.

La zona è caratterizzata da un'architettura del primo Novecento con edifici su due piani e spazi a diffusa

piantumazione, sia lungo i viali sia nelle piazze (fig. 6).

In queste situazioni (canyon urbani e viali alberati), la presenza di ostacoli disturba la tracciabilità dei satelliti: pertanto, la componente GNSS di posizionamento non può essere utilizzata sempre con continuità per la georeferenziazione diretta; ne è emersa, in alcuni casi, la necessità di effettuare l'allineamento delle nuvole di punti a posteriori, tramite un appropriato software di elaborazione (JRC-3D Reconstructor e Faro Scene). L'operazione è risultata indispensabile laddove le condizioni ambientali fossero particolarmente sfavorevoli, cosa che ha comportato, in acquisizione, un opportuno ricoprimento fra le nuvole e, poi, l'utilizzo della nota funzione ICP (Iterative Closest Point; Besl et al., 1992) su elementi geometrici comuni ben riconoscibili (finestre, porte, spigoli delle cortine edilizie) di nuvole adiacenti, per eseguire il collegamento. In questo senso, il software JRC 3DReconstructor consente addirit-

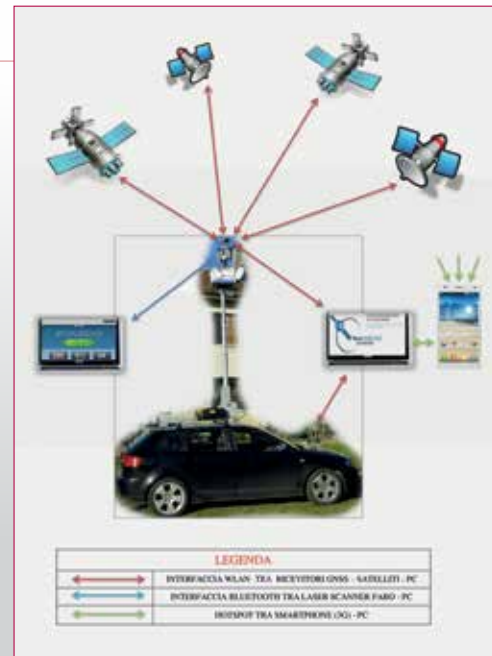


Fig. 5 - Componenti del sistema e connessioni wireless tra le unità di misura.

tura un allineamento multi-scan, con soluzione, tipo Bundle Adjustment Fotogrammetrico, simultanea su tutte le nuvole.

La figura 7 mostra gli elementi costruttivi rilevati sul centro storico comunale; le figure 8, 9 e 10 presenta-



Fig. 6 - Il sistema Scan-and-Go in funzione nel centro storico di Dalmine.



Fig. 7 - Modello complessivo del centro storico.

no viste di dettaglio del modello spaziale.

Nelle riprese sono state utilizzate altezze differenti del braccio telescopico di supporto allo scanner, per ottimizzare l'acquisizione in funzione delle geometrie e morfologie del territorio urbano. Come sottolineato, le modalità di allineamento sono risultate sia di tipo *diretto* via GNSS (*Habib et al., 2010*) e sia, in qualche caso, di tipo *indiretto* via punti di controllo naturali, a causa di difficoltà locali nella ricezione del segnale satellitare (*Ingersand, 2006*).

Operativamente, l'approccio è stato quello di stabilire, in fase di progetto, le ubicazioni sul territorio delle diverse scansioni; poi, arrestato il veicolo nella posizione di interesse, il sensore laser e il target di riferimento, con sovrapposti i ricevitori GNSS, sono stati livellati opportunamente.

Completata la messa in stazione, i ricevitori satellitari hanno iniziato a registrare in posizionamento assoluto ed è stato attivato il collegamento NRTK alla rete permanente *NETGEO*, via Internet: si sono così registrate coordinate spaziali di qualità centimetrica per i punti di stazione e di orientamento nel sistema di riferimento nazionale.

Contestualmente si è proceduto alla scansione laser, con gli standard di campionamento (passo della griglia) progettati (*Colombo et al., 2012*), operando alla massima risoluzione angolare consentita dal dispositivo laser Faro e in un range stazione-oggetti limitato a 25-30 metri.

Completata l'acquisizione, comprensiva dei dati fotografici, si è spostato il veicolo sulla postazione successiva, ripetendo in modo analogo le operazioni fino al completamento dell'intero ciclo di rilievo.

Le coordinate registrate delle varie stazioni e dei vertici di orientamento hanno consentito la georeferenziazione, e quindi l'unione automatica, di tutte le scansioni.

Tale approccio ha permesso di velocizzare e agevolare le fasi di rilievo sul campo, di georeferenziare facilmente e con buona precisione anche le scansioni singole (quelle senza punti in comune) con le altre e di diminuire significativamente i tempi di elaborazione delle nuvole.



Fig. 8 - Modello 3D con texture: piazza del Comune.

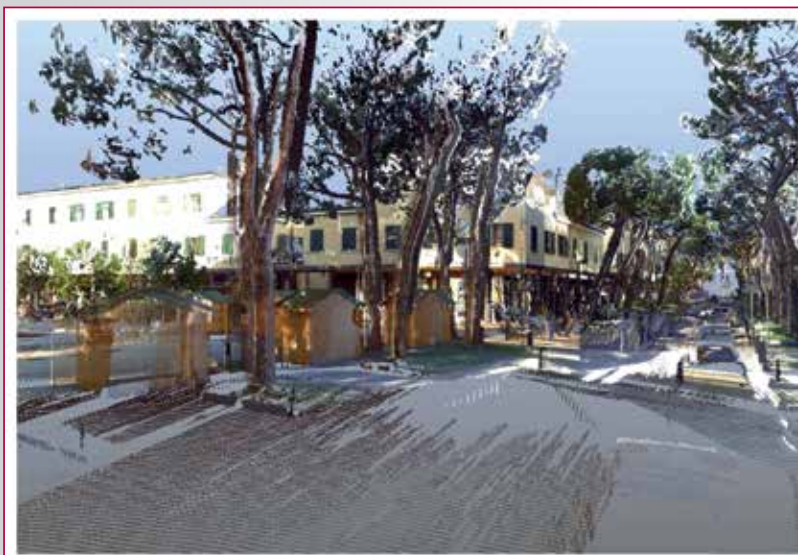


Fig. 9 - Modello 3D con texture: zona di accesso alla Dalmine Spa.



Fig. 10 - Modello 3D della piazza antistante la Dalmine Spa.



Fig. 11 - Viste ortografiche di alcune cortine edilizie relative alla piazza di figura 10.

La procedura è risultata possibile laddove si ricevesse correttamente il segnale satellitare: diversamente, si è dovuto intervenire in post-processamento con la registrazione manuale. Nella figura 11 è riportata l'elaborazione in vista ortografica di alcune cortine edilizie della piazza centrale antistante la società Dalmine, estratte dal modello generale di punti ricostruito (Nalani et al., 2012).

**UNA VERIFICA DIMENSIONALE**

Un controllo a campione su alcuni edifici relativi al modello misurabile e con texture, prodotto nella campagna di rilievo, è stato preventivato per ricavare indicatori di qualità della ricostruzione. Ricostruzione, che nel test è stata eseguita in modo ibrido, cioè con georeferenziazione diretta (per via satellitare) e indiretta (tramite allineamento manuale).

L'operazione di verifica dimensionale è consistita in un confronto (differenza) fra distanze oblique, individuate sia sul modello di punti sia sugli elementi costruttivi rilevati, definite da punti naturali certi e ben identificabili. Le coordinate spaziali di questi punti sono state misurate dapprima, mediante stazione totale topografica (reflectorless) e procedimento polare, in un sistema di riferimento locale avente origine nel punto di stazione strumentale e orientamento libero; partendo da queste coordinate si sono calcolate le distanze topografiche spaziali sull'oggetto, necessarie per il confronto. Gli stessi particolari sono stati poi riconosciuti sul modello laser di punti, all'interno del software JRC 3D Reconstructor, deducendo i corrispondenti valori spaziali delle distanze da confrontare e quindi gli scarti. In figura 12 sono riportati i dettagli di

uno dei controlli geometrici sopra un edificio della piazza, insieme ai valori degli scarti calcolati sulle distanze. I valori degli scarti in tabella ricadono entro il valore massimo ammissibile da  $T_{\Delta d}$  (è stata assunta una probabilità del 95% = 1,96 \*sigma), inerente al modello funzionale

$$\Delta d = d_{modello} - d_{topografica}$$

Si è ipotizzato:

- . la precisione delle distanze =  $\sigma_{distanza} = \sigma_{punti} \sqrt{2}$ ,
- . la precisione dei punti =  $\sigma_{punti} = (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2)^{0,5}$ ,

rispettivamente  $\approx 5$  mm per quelli di misura topografica e  $\approx 10$  mm per quelli del modello ricostruito alla scala 1:100.



Fig. 12 - Vista ortografica di un edificio verificato, con le distanze di controllo e gli scarti.

Il valore massimo ammissibile risulta pertanto:

$$T_{\Delta d} = 1,96 * \sigma_{\Delta d} = 1,96 * [(\sigma_{d\text{-modello}})^2 + (\sigma_{d\text{-topografica}})^2]^{0,5} = 1,96 * [(10\sqrt{2})^2 + (5\sqrt{2})^2]^{0,5} \approx 31 \text{ mm.}$$

### CONSIDERAZIONI FINALI E PROSPETTIVE

L'esperienza sviluppata sul territorio urbano ha evidenziato buona funzionalità, versatilità e rapidità del sistema mobile multi-funzione e un rapporto benefici-costi favorevole in applicazioni a scala inferiore o uguale a quella 1:100, dove è sufficiente la georeferenziazione satellitare, e in ambienti idonei a una piena acquisizione dei segnali per la formazione *diretta* di un modello unico e geo-referenziato.

Il sistema appare altrettanto vantaggioso nei casi in cui il rilievo richiede parecchie stazioni distribuite sopra un'area estesa e aperta, o non facilmente accessibile, e con altezze variabili di ripresa per la presenza di ostacoli e/o oggetti sviluppati in altezza.

Qualche limite nell'affidabilità operativa emerge per le comunicazioni

wireless fra i diversi apparati in uso: Bluetooth e WLAN sono tecnologie efficaci di collegamento che richiedono però una buona compatibilità fra i dispositivi interessati.

A tali aspetti telematici si aggiunge, poi, la necessità di buona copertura Internet per alcune operazioni essenziali e di un'alimentazione prolungata e consistente: limiti purtroppo ancora evidenti in ogni dispositivo portatile.

Sicuramente questi dettagli applicativi potranno essere migliorati nel prossimo futuro, così come quelli inerenti all'alimentazione elettrica del sistema, al suo montaggio sopra un'autovettura e ai costi di acquisizione.

### RINGRAZIAMENTI

Alla ditta Geotop-Topcon, per la disponibilità della strumentazione di misura, all'ing. Giorgio Ubbiali di Diemme Strumenti e ai testisti di ingegneria edile Mirco Perico, Pietro Azzola, Mirko Sorio.

### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Besl P.J., MacKay N. (1992). *A method for registration of 3-D shapes*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.

Colombo L., Marana B. (2012). *Terrestrial laser scanning specifications*. GEOInformatcs. vol. 8.

Ingersand H. (2006). *Metrological aspects in terrestrial laser-scanning technology*. Proceedings of 3rd IAG / 12th FIG Symposium. Baden - Germany.

Habib, A., Kersting A., Bang K.I. (2010). *Comparative analysis, of different approaches for the incorporation of position and orientation information in integrated sensor orientation procedures*. Proceedings of Canadian Geomatics Conference 2010 and ISPRS com. I Symposium. Calgary - Canada.

Nalani N., Nirodha Perera S., Maas H.G. (2012). *Automatic processing of mobile laser scanner point clouds for building façade detection*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 39, Part B5.

Siti Internet del produttore:

Scan-and-Go: [www.scan-go.eu](http://www.scan-go.eu)

Leica Nova MS50: [www.leica-geosystems.it](http://www.leica-geosystems.it)

### PAROLE CHIAVE

RILIEVO TOPOGRAFICO; LASER SCANNER; FOTOCAMERA; GNSS; SCAN-AND-GO

### AUTORI

LUIGI COLOMBO

[luigi.colombo@unibg.it](mailto:luigi.colombo@unibg.it)

UNIVERSITÀ DI BERGAMO - DIP. INGEGNERIA - 24044 DALMINE (BG)

BARBARA MARANA

[Barbara.marana@unibg.it](mailto:Barbara.marana@unibg.it)

UNIVERSITÀ DI BERGAMO - DIP. INGEGNERIA - 24044 DALMINE (BG)



## Computer Graphics Technologies

Via Corradino di Svevia n° 48 - 90134 Palermo  
Via delle Industrie n° 1 - 20883 Mezzago

- Distributore autorizzato TRIMBLE.
- Laboratorio autorizzato per la strumentazione TRIMBLE.
- Proprietaria rete di stazioni permanenti GPS (VRS SICILIA).
- Supporto e controllo in remoto di tutta la strumentazione mobile TRIMBLE attraverso il software TRIMBLE ASSISTANT.
- Corsi di formazione.



tel. 0916513421 (Palermo)  
tel. 0393313427 (Mezzago)  
Fax 0916513414 (Palermo)  
E-mail [info@cgtsrl.it](mailto:info@cgtsrl.it)  
[www.cgtsrl.it](http://www.cgtsrl.it)