

NUVOLE DI PUNTI - FRA SCANSIONE LASER E IMAGING DI PROSSIMITÀ

QUALCHE CONSIDERAZIONE E RIFLESSIONE

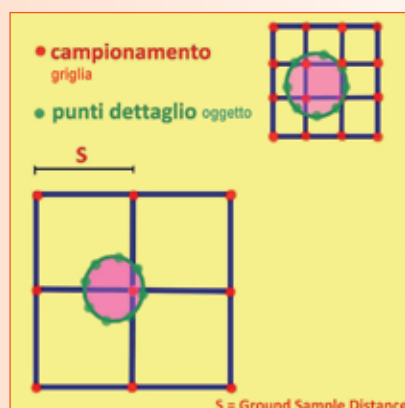


Fig. 1 - Griglia di campionamento corrispondente alla nuvola di punti.

di Luigi Colombo

L'articolo prende in esame le tecniche automatizzate di rilevamento, senza contatto, che acquisiscono nuvole di punti sull'oggetto di interesse. Si spazia dalla scansione laser alla tecnica per immagini, che sta avendo risvegli importanti grazie al rilevamento di prossimità sviluppatosi con l'avvento dei sistemi Aerei a Pilotaggio Remoto. Una valutazione degli ambiti di applicazione, dei vantaggi-svantaggi dei processi e i necessari supporti tecnologici, telematici e informatici corredano l'analisi.

La sorgente dei dati spaziali

Le nuvole di punti costituiscono attualmente la principale sorgente di dati per l'informazione spaziale (anche texturizzata con il colore o l'energia riflessa). Sono generate dall'impiego di tecniche automatizzate di rilevamento (senza contatto) e costituiscono la base per la creazione di modelli 3D, i cosiddetti *Digital Surface Models*, da cui si possono derivare sottoprodotti metrici 2D, come piante, sezioni, prospetti e rappresentazioni per isolinee.

In questi anni, i sistemi a scansione laser (terrestri e aerotrasportati) sono stati la via primaria per generare interattivamente nuvole di punti; più recentemente, la ricerca nel settore della *Computer Vision* ha rivoluzionato la tecnica di rilievo per immagini e reso possibile l'estrazione differita di dettagliate nuvole di punti da blocchi di immagini, normali ed oblique.

Si parla in questi casi di *Dense image matching*, con riferimento alla procedura tecnica che ha garantito questo sviluppo tecnologico.

Si sa che l'acquisizione dei punti di una nuvola (point cloud) non avviene in forma *deterministica*, come nel rilievo manuale (solo i punti caratteristici), bensì in modo *stocastico*: si tratta dei nodi di una griglia di campionamento spaziale che viene automaticamente sovrapposta all'oggetto (Fig. 1).

Il valore del passo effettivo della griglia dipende non solo dal campionamento e dalla distanza di acquisizione ma anche dalle condizioni geometriche d'impatto del fascio laser con le superfici di interesse (normalità, obliquità) e dalle irregolarità morfologiche di queste ultime. Si può risalire poi dai nodi della griglia agli specifici punti di interesse tramite l'applicazione di processi interpolativi locali.

Le tecniche automatizzate di rilevamento operano dunque tramite la scansione laser o la ripresa per immagini (Figg. 2-3) che sono spesso opportunamente combinate fra loro. L'integrazione fra i due dataset produce un modello (denso) di punti spaziali in grado di descrivere più compiutamente ed economicamente le geometrie di un oggetto.

Ben supportate dai molti software finalizzati all'elaborazione delle nuvole, le due tecniche costituiscono oggi le soluzioni *attiva* e *passiva* del processo di acquisizione automatizzata. Esse risultano più adatte, la prima nel rilevamento di *interni* (vista la minore dipendenza dalle condizioni di illuminazione), la seconda in quello di *esterni*, per la semplicità del sensore fotografico, la necessità di adeguate condizioni di luce e l'avvento dei sistemi aerei a pilotaggio remoto (SAPR).

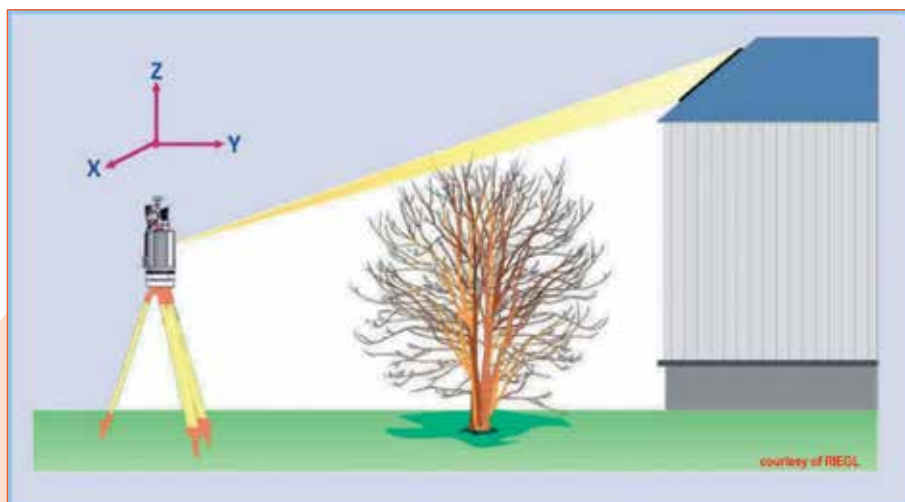


Fig. 2 - La scansione laser terrestre (da RIEGL).

Molto si conosce e si è scritto sui *sistemi a scansione* e sulle procedure operative ad essi associate, molto meno si sa, forse, della bi-centenaria tecnica per immagini e dell'uso del vettore aereo, in questi anni surclassati dallo sviluppo della scansione laser e che solo ora stanno ritornando di moda grazie ai nuovi aeromobili di *uso personale* (SAPR). Insieme a loro, non si possono dimenticare sia le tecnologie satellitari e non (automatizzate) di supporto al volo sia quelle digitali e telematiche per la gestione operativa dei processi. Non si tratta dunque di un *ritorno al passato* bensì di un *ritorno al futuro* (come ben ha scritto qualcuno), visto che gli scenari tecnologici degli algoritmi del rilevamento per immagini risultano significativamente cambiati.

I sistemi APR

I sistemi aerei di rilevamento a pilotaggio remoto, con finalità ben diverse da quelle degli aeromodelli ricreativi e sportivi, possono essere a *decollo-atterraggio verticale* e con funzioni di hovering (*multi-rotore*), oppure ad *ala fissa*. Questi sistemi sono dotati di un supporto stabilizzato per la compensazione delle rotazioni spaziali indotte dal volo, dalla turbolenza dell'aria e dal vento e sono in grado di trasportare un carico utile (*payload*), costituito dai sensori per la ripresa.

I vantaggi-svantaggi funzionali, rispetto ai vettori aerei tradizionali, sono indicati nella figura 4. I SAPR consentono riprese aeree da quote relative inferiori, con conseguente aumento della scala media delle immagini (a parità di valore della focale fissa riguardante la fotocamera) e quindi del livello di dettaglio e della precisione altimetrica. Una ridotta quota relativa di volo accentua però gli effetti di trascinamento (Figg. 5-6) dell'immagine, con conseguente fenomeni di sfocatura (foto mossa): si potrà intervenire limitando la velocità di crociera (V) dell'APR e coordinando opportunamente il tempo di esposizione (dt) della ripresa



Fig. 3 - Il rilievo di prossimità per immagini (Cristo Redentore a Rio de Janeiro, da Pix4D).

con la sensibilità (ISO) del sensore, così da contenere il trascinamento $dS_{immagine}$ [1] entro il pixel della camera e conseguentemente lo spostamento $dS_{oggetto}$ all'interno del parametro GSD (Ground Sampling Distance) [2].

$$[1] \quad dS_{immagine} = dS_{oggetto} \cdot f / Q$$

con

relativa media di volo

$$dS_{oggetto} = V \cdot dt$$



Fig. 4 - Valutazione dei sistemi APR.

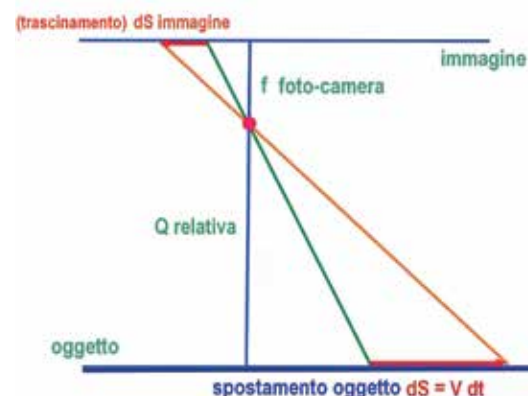


Fig. 5 - Il trascinamento dell'immagine digitale.

In senso tecnico, la scansione laser detiene comparativamente il rilevante vantaggio (disponendo del valore della distanza di posizione) che *un solo* raggio debba essere riflesso da un punto oggetto per la sua determinazione 3D; la ripresa per immagini comporta invece la necessità di disporre di *almeno due* raggi (omologhi) riflessi per ciascun punto da restituire spazialmente, relativi a differenti posizioni del sensore fotografico, oltre ad informazioni



Fig. 6 - Ripresa nadirale da aereo e di prossimità da APR.

metriche, acquisite sull'oggetto, necessarie per la ricostruzione univoca del modello di punti (Fig. 7).

Inoltre, se nel laser scanning emergono problemi di impiego su superfici riflettenti, trasparenti e traslucide (metalli, marmi, vernici, vetro...), nel caso della ripresa per immagini l'oggetto deve presentare altresì un'adeguata caratterizzazione geometrica e tematica (superfici non uniformi, non lisce, non monocromatiche e con poche

ombre); questo perché sia consentito il riconoscimento automatico dei punti omologhi sui fotogrammi corrispondenti. Il processo di ricerca viene attuato tramite la *correlazione digitale delle immagini*.

La correlazione digitale di immagini

Le tecniche per l'individuazione dei *punti omologhi* su immagini sovrapposte, dette di *matching*, sono del tipo *area-based* (ABM) e *feature-based* (FBM): le prime si fondano sul confronto dei livelli di colore di areole poste sulle immagini di interesse, mentre le seconde pongono a raffronto primitive grafiche (punti, linee, poligoni), estratte preliminarmente dalle immagini attraverso *operatori di interesse*.

Quando la risoluzione del *matching* deve scendere a livello del singolo pixel, la ricerca dei punti per correlazione diviene operativamente proibitiva: questo accade soprattutto con immagini *oblique* (per esempio, nel caso di riprese di facciate o prese terrestri) e quando le morfologie dell'oggetto siano *altimetricamente* assai irregolari (edifici alti, ecc.).

Negli ultimi anni sono stati introdotti algoritmi più efficaci e veloci, come il *Semi-Global-Matching* (Hirschmueller, 2005-2008), che si avvalgono del contributo della *geometria*

epipolare (Fig. 8) (per limitare la ricerca dei punti omologhi a linee immagine) e consentono l'estrazione di nuvole di punti dense con *campionamento* (griglia) corrispondente al valore del *pixel sull'oggetto* (GSD).

[2] $GSD = \text{pixel immagine} * \text{quota media relativa} / \text{focale del sensore fotografico}$

Il valore GSD definisce la scala massima della restituzione vettoriale-raster producibile dal modello:

[3] $1/N_R = k / GSD$ con $k = 0,1 \text{ mm}$ oppure $(0,1 * 1,96) \text{ mm}$ (incertezza grafica, al 95%).

Il rilevamento di prossimità per immagini

Le acquisizioni per immagini, effettuate sempre più diffusamente da SAPR, consistono in un *blocco* di foto *oblique* o *normali*, opportunamente sovrapposte *longitudinalmente* e *trasversalmente* (in funzione del tipo di rilievo previsto, 2D o 3D).

Si tratta, in dettaglio, di riprese di tipo normale (all'oggetto) effettuate secondo *strisciate orizzontali* oppure di riprese di tipo obliquo spesso su *strisciate verticali* (modelli di facciate). Esse risultano utili per generare nuvole di punti o per estrarre elaborati 2D vettoriali e raster; questi ultimi vengono ortogonalizzati, cioè corretti dalle deformazioni geometriche indotte dalla morfologia dell'oggetto, dalla geometria della ripresa e dai sistematismi del sensore (Fig. 9).

Il vettore aereo dispone, oltre che di sensori di rilevamento, di sensori navigazionali per la registrazione in tempo reale del posizionamento e dell'assetto della foto-camera: questo consente l'esecuzione di voli *autonomi* attraverso *way-points* con georeferenziazione *diretta*

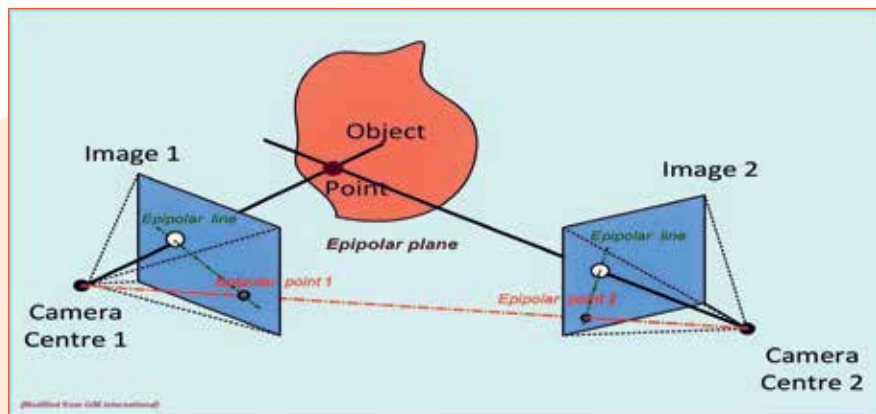


Fig. 7 - Schema del rilevamento per immagini (da GIM International).

(in modalità *RTK o PPK*) delle riprese (*fotogrammetria diretta*). In genere, però, la georeferenziazione è effettuata ancora con metodologia *indiretta o mista*, cioè utilizzando anche punti di controllo GCP (GroundControlPoints, premisurati topograficamente sull'oggetto), per motivi sia di costo che di affidabilità metrica. I punti di controllo sono materializzati con target o coincidono con particolari naturali ben riconoscibili e vengono distribuiti sul contorno e al centro del blocco di immagini, a quote differenti. La qualità metrica del blocco viene verificata per confronto attraverso CP (CheckPoints), scelti fra i GCP e rideterminati poi anche tramite il modello di immagini. La compensazione del blocco è effettuata con software di elaborazione digitale (produttori noti sono Agisoft, Pix4D, Menci...); vengono calcolati i *parametri di orientamento esterno* di ogni immagine (risoluzione del noto *vertice di piramide*), nonché i residui stimati sui *punti di controllo* (GCP).

La creazione del modello di punti-oggetto (DSM), dalle singole immagini sovrapposte, è poi gestita mediante intersezione spaziale di raggi omologhi corrispondenti (restituzione 3D); importante per garantire una buona precisione altimetrica risulta in questo caso il rapporto *base della ripresa / quota media relativa* (Fig. 9).

Alla nuvola di punti, estratta automaticamente e più adatta alla descrizione di superfici semplici e a basso dettaglio, si può affiancare localmente, come per la scansione laser, l'acquisizione manuale di specifici punti oggetto (tramite osservazione monoscopica su più fotogrammi) o ancora una restituzione stereoscopica (per linee oggetto)

utile su superfici pseudo-verticali (facciate) o con dettaglio complesso.

È possibile, insieme al calcolo del blocco, effettuare l'auto-calibrazione della foto-camera, correggere la distorsione radiale dell'obiettivo e produrre elaborati raster di tipo ortografico. Il rilevamento per immagini utilizza nella fase di ripresa una serie di rapporti prestabiliti (di tipo sperimentale) fra la scala media dell'immagine e il successivo livello di dettaglio (cioè la scala) della restituzione (raster o vettoriale). La figura 10 riporta tali rapporti, insieme ai corrispondenti livelli di precisione conseguibili. La precisione (s.q.m. o ripetibilità) è calcolata sulla reiterazione dello stesso processo di misura, mentre l'accuratezza (o RMSe) origina dal confronto del processo di misura in atto con uno più affidabile; in assenza di errori grossolani e sistematici i due parametri coinciderebbero.

Sicurezza della fase di volo e ripresa

L'uso dei sistemi APR a pilotaggio remoto è regolamentato in Italia dall'ENAC, l'ente di coordinamento dell'Aviazione Civile; ad esso si rimanda per i dovuti approfondimenti.

Un aspetto importante, e spesso controverso, del Regolamento è

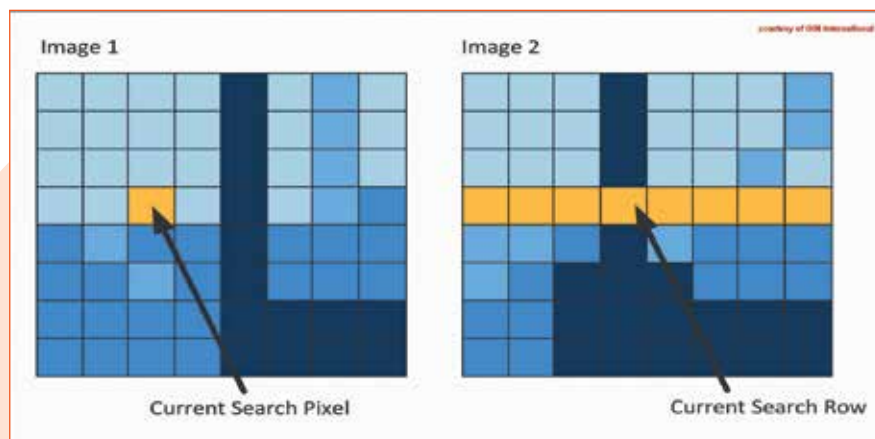


Fig. 8 - La correlazione digitale delle immagini (da GIM International).

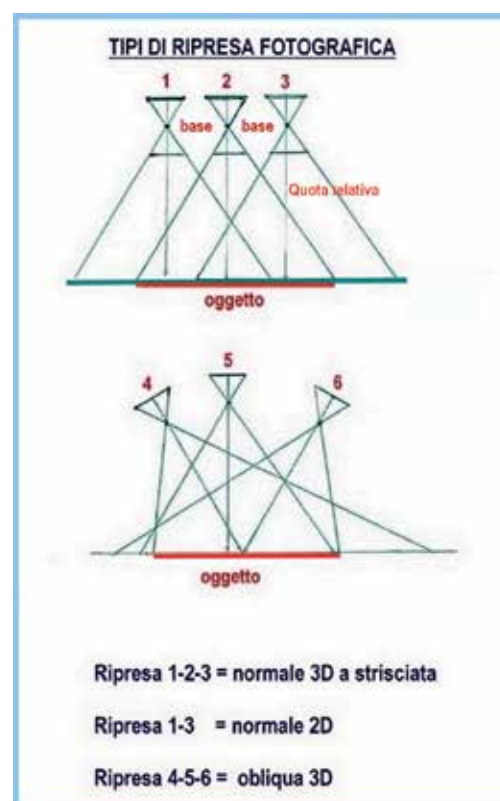


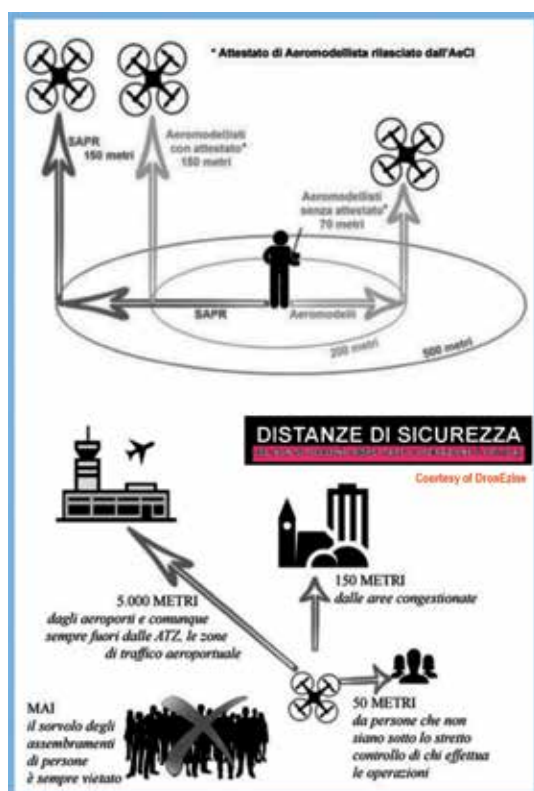
Fig. 9 - Schemi per la ripresa di immagini.

SCALE 1: n			
RESTITUZIONE (1: nr)		IMMAGINE RIPRESA (1: ni)	PRECISIONE (cm) <i>Liv. prob. 95%</i>
1:10000	2 volte	1:20000	200
1:5000	2,6 volte	1:13000	100
1:2000	4 volte	1:8000	40
1:1000	5 volte maggiore	1:5000	20
1:500		1:3000	10
1:200		1:1200	4
1:100		1:600	2
1:50	$n_i \geq 6$ volte maggiore di n_r	1:300	1
1:20		1:120	0,4
1:10		1:70	0,2
1:5		1:40	0,1

Fig. 10 - Rapporti di scala nel rilevamento per immagini.

quello relativo all'interpretazione delle *condizioni di criticità* di una ripresa, che possono condizionare o precludere le attività operative sul campo.

La figura 11 riporta graficamente le prescrizioni relative ai voli professionali eseguiti di giorno e con l'operatore in contatto visivo continuo con il mezzo aereo in volo (le cosiddette operazioni VLOS).



Considerazioni finali

Le tecnologie innovative connesse ai sistemi esperti di rilevamento per scansione laser e per immagini, gestibili autonomamente da terra e dal cielo, stanno rivoluzionando le tecniche di acquisizione 3D, sempre più integrate fra loro e orientate alla ricostruzione spaziale, al mondo telematico-informatico e all'automazione.

Tutto ciò saprà offrire certamente crescenti vantaggi operativi, semplificando significativamente le attività di misura sul campo, ma non potrà mai cancellare l'importanza di una rigorosa formazione di base unita all'esperienza professionale degli addetti ai lavori.

Fig. 11 - Operazioni critiche e non critiche nelle riprese VLOS con SAPR (da DronEzine)

BIBLIOGRAFIA

- F. Chiabrando, A. Lingua e M. Piras - *Fotogrammetria diretta con RPAS* - Geomedia, 1-2015
- L. Colombo (2016) - *Scansione laser terrestre e sensori GNSS-RTK per la creazione di modelli spaziali urbani* - Geomedia, 1-2016
- ENAC (2015) - *Regolamento APR - Edizione n.2 con emendamento n.1* - www.enac.gov.it
- H. Hirschmueller (2011) - *Semi-Global Matching - Motivation, developments and applications* - Proceedings of Photogrammetric Week 2011, Stuttgart - Wichmann
- M. Kodde (2016) - *Dense Image Matching* - GIM International, 1-2016
- M. Naumann, G. Grenzdorffer (2016) - *Reconstructing a church in 3D* - GIM International, 2-2016
- R. Pacey, P. Fricker (2005) - *Forward Motion Compensation (FMC)* - Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, November 2005
- DronEzine - Magazine & books - www.dronezine.it

ABSTRACT

The article deals with the automatic survey techniques which collect point clouds over the objects of interest. It ranges from laser scanning to survey for images, that is having meaningful awakenings through the proximity aerial survey after the advent of Unmanned Aircraft Systems.

Assessments regarding the aim of application, the advantages-disadvantages of processes and the necessary technological support about telematics and information technology, complement the benchmarking.

PAROLE CHIAVE

NUVOLE DI PUNTI; LASER SCANNING; RILEVAMENTO PER IMMAGINI; SAPR; ENAC

AUTORE

LUIGI COLOMBO
LUIGI.COLOMBO@UNIBG.IT
 UNIVERSITÀ DI BERGAMO - DISA
 GRUPPO DI GEOMATICA - DALMINE

Natanti robotizzati

- Rilievi batimetrici automatizzati
- Fotogrammetria delle sponde
- Acquisizione dati e immagini
- Mappatura parametri ambientali
- Attività di ricerca



Studi e servizi di ingegneria - Robotica di servizio

Vendita - Noleggio - Servizi chiavi in mano, anche con strumentazione cliente

Strada Salga 38C - 10072 Caselle (TO) - Tel. 3389258046 - info@aerrobotix.com - www.aerrobotix.com





Leica Viva GS16

- Smartantenna GNSS con tecnologia RTKplus e SmartLink
- Tracciamento di tutti i segnali GNSS di oggi e di domani
- Antenna GNSS con auto-apprendimento grazie a RTKplus
- Efficiente in tutte le condizioni anche in ambienti sfavorevoli



Leica Viva GS16 - Smartantenna GNSS ad auto-apprendimento Experience 3D innovation

Leica Geosystems S.p.A.
surveying@leica-geosystems.com
www.leica-geosystems.it

