

TECNICHE DI RILIEVO LASER SCANNER

di Nuccio Bucceri

Esempi di rilievo attraverso tecniche laserscanner e produzione di modelli altimetrici ad alta risoluzione finalizzati allo sviluppo di progetti geologico applicativi

FIGURA 1

Esempio di morfologia dell'area di interesse

Gia dalla fine degli anni novanta, ma con un importante impulso a partire dai primi anni 2000, le tecniche di rilievo laser-scanning, note con il nome di LiDAR; light detection and ranging, hanno acquisito un peso sempre maggiore nelle operazioni di rilievo di superficie.

Il metodo, basato sull'impiego di strumenti laser scanner di diverse caratteristiche, può interessare sia porzioni più o meno vaste della superficie topografica che particolari di oggetti di interesse e si caratterizza per l'impiego di un sensore attivo in grado di emettere impulsi laser ad alta frequenza o un segnale luminoso modulato e di registrare le riflessioni dell'onda elettromagnetica emessa sugli oggetti colpiti.

Rimandando ad articoli e testi specialistici i singoli aspetti tecnici legati al funzionamento dell'apparato, ci si limiterà a dire che lo strumento, a prescindere dalla tipologia, portata o configurazione, acquisisce nuvole di punti ad elevatissima densità e consente di ricostruire attraverso una sequenza ragionata di più scansioni il modello tridimensionale dell'area-oggetto di interesse.

Il ricorso alla misurazione attraverso tecniche topografiche di punti noti consente, infine, di riunire le singole scansioni e le diverse strisciate, ottenendo un unico modello 3D metricamente rigoroso e georiferito nel sistema cartografico prescelto e pertanto perfettamente gestibile sia dai softwa-

re di progettazione-elaborazione che dai programmi GIS.

Contestualmente alla registrazione X, Y, Z dei singoli punti esiste la possibilità di acquisire, attraverso apposite macchine fotografiche digitali, anche le immagini delle aree scansate e di ottenere, quindi, sia il valore RGB dei punti suddetti che la produzione di ortofoto digitali ad alta risoluzione dell'area di studio.

L'alta risoluzione dei modelli di cui sopra e l'elevata precisione perseguibile consentono di applicare le tecniche laser scanner su un notevole numero di applicazioni, dall'analisi morfologica della superficie topografica all'aggiornamento cartografico, alla mappatura di scavi archeologici, a molti aspetti della geologia, dell'ingegneria dell'architettura ecc.; nei paragrafi che seguono verranno descritte nel dettaglio alcune applicazioni nelle quali l'impiego del laser scanner ha contribuito, congiuntamente all'impiego di altre tecnologie, allo svolgimento di lavori di varia natura andando ben oltre la produzione, sovente



enfattizzata, di scene tridimensionali, ricostruzioni virtuali e visioni prospettiche, ma fornendo, nei vari flussi di lavoro, un dato di primaria importanza, perfettamente integrato con i dati prodotti dalle varie discipline messe in campo.

Nel tentativo di procedere ad una esaustiva analisi delle applicazioni di cui sopra, si è ritenuto opportuno procedere con una selezione di alcuni progetti estremamente diversi, sia sotto il profilo delle finalità che della

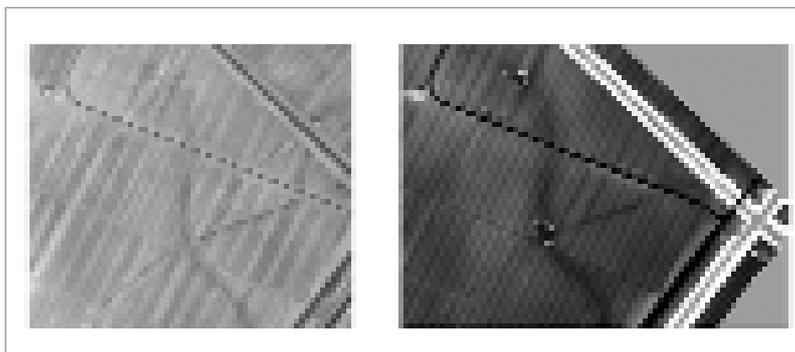


FIGURA 2

Confronto tra l'immagine pancromatica di un'area (sx) ed il corrispondente modello numerico del terreno rappresentato in scala di grigio (dx). Da notare come alcune linee, determinate dal diverso contenuto di umidità del terreno originato da diverse granulometrie dei sedimenti sia perfettamente congruente con le variazioni altimetriche del modello

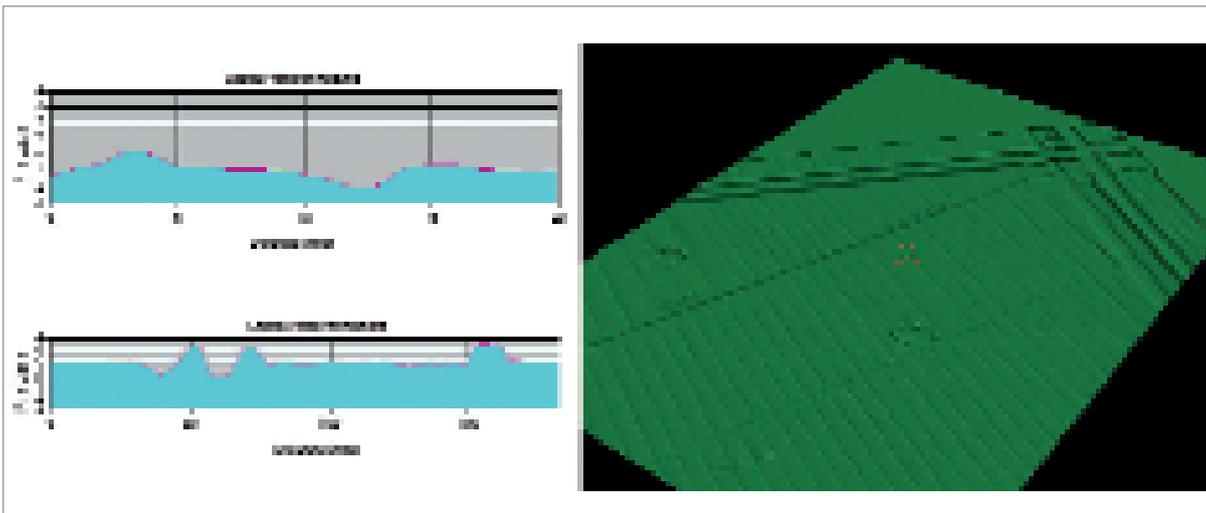


FIGURA 3
Rappresentazione di modelli tridimensionali ed estrazione di profili altimetrici; da notare nel modello la fitta rete di canali drenanti ad andamento parallelo e la tipica baulatura dei singoli campi

tipologia di area da rilevare, nei quali l'introduzione del laser scanner ha fornito un valido contributo:

- rilievi laser scanner su aree di pianura con sensore a bordo di aereo;
- rilievi laser scanner su aree di montagna con sensore a bordo di elicottero;
- rilievi laser scanner su aree o oggetti di interesse con sensore a terra.

Rilievi laser scanner in aree di pianura

L'area di studio, di particolare interesse archeologico e naturalistico, ha un'estensione di circa 1.500 ha, ed è caratterizzata da un'ampia pianura, spesso con quote sotto il livello del mare, che degrada, con gradienti ridottissimi ed una fitta rete di canali di scolo, verso i principali assi drenanti artificiali. L'impiego del laser scanner, nello specifico, è stato finalizzato alla ricostruzione altimetrica di dettaglio dell'area nell'ambito sia di un piano di riorganizzazione idraulica che di un esteso studio geomorfologico e si associava ad una ulteriore estesa campagna di misure topografiche GPS che miravano a stabilire, con rigore topografico, l'andamento altimetrico delle opere idrauliche presenti nell'attuale rete irrigua.

La possibilità di procedere, con un rilievo di dettaglio da terra, attraverso la realizzazione di un piano quotato con tecniche topografiche tradizionali, è stata presto abbandonata data l'estensione dell'area, la sua estesa copertura vegetale, le finalità dell'intervento (caratterizzazione dell'area e

studi geologico-geomorfologico) e i tempi ristretti previsti per il completamento delle attività.

La soluzione prescelta è stata pertanto quella di una serie di riprese laser scanner da aereo con una risoluzione di almeno 1 p.to/m² e l'adozione di un sensore attivo capace, attraverso la registrazione della risposta di più impulsi, di fornire un dato dal quale risultasse agevole la rimozione sia delle aree vegetali, che di tutti gli elementi estranei al modello del terreno (DTM). La fase di elaborazione del dato ha richiesto l'utilizzo di software specialistico ed ha permesso di produrre un fedele modello altimetrico dell'area, la cui rappresentazione, in tonalità di grigio di una limitata porzione, viene visualizzata in figura 2.

Come si può notare, nonostante l'andamento estremamente piatto e monotono del territorio, che tende ad occultare molte forme, il microrilievo ottenuto da un simile modello altimetrico ad alta risoluzione, consente di evidenziare la vivacità morfo-

logica della zona in questione, testimoniando una serie notevole di forme e fornendo innumerevoli spunti all'analisi morfologica dell'area.

Nello specifico, un confronto con un'immagine aerea pancromatica ed una rappresentazione della stessa area del modello altimetrico in scale di grigio, consente di mettere perfettamente in relazione le variazioni cromatiche determinate da aree più o meno umide (a causa della diversa granulometria dei sedimenti) con zone più o meno depresse del modello. L'approfondimento dell'esame del modello altimetrico, favorisce il riconoscimento di morfologie il più delle volte completamente assenti sulle immagini acquisite sulle bande del visibile o su diverse lunghezze d'onda dello spettro elettromagnetico. Le informazioni morfometriche estratte attraverso opportune visualizzazioni di particolari range di quote, ha fornito un utile supporto allo studio geomorfologico, consentendo di riconoscere ed interpretare tutta una

FIGURA 4
Confronto tra il modello numerico del terreno, ottenuto attraverso ripresa laserscan da aereo, rappresentato a tinte isometriche con intervallo pari a 0,25 m (fig. sx) e modello numerico ottenuto attraverso l'utilizzo delle informazioni altimetriche riportate in CTR con intervallo 5 m; da notare la totale assenza di informazioni ottenibili dall'utilizzo della cartografia alla scala 1:5.000

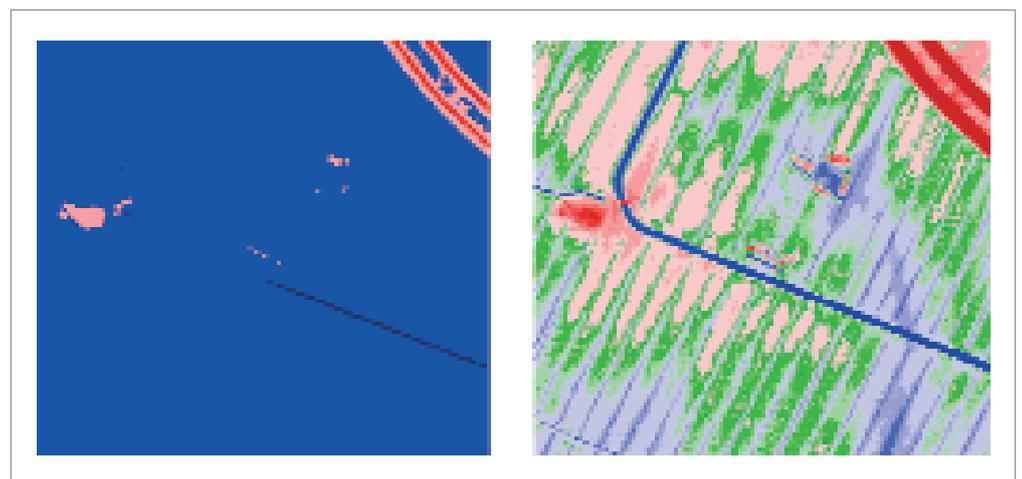


FIGURA 5

Test per la verifica della bontà del modello ottenuto. Nelle immagini alcuni degli scavi perfettamente rilevabili nel modello

serie di forme talvolta solo ipotizzate attraverso precedenti studi di fotointerpretazione o direttamente sul terreno. Particolarmente utile per l'esame di cui sopra, la possibilità di tracciare, in tempo reale direttamente sul modello, profili altimetrici e modelli tridimensionali.

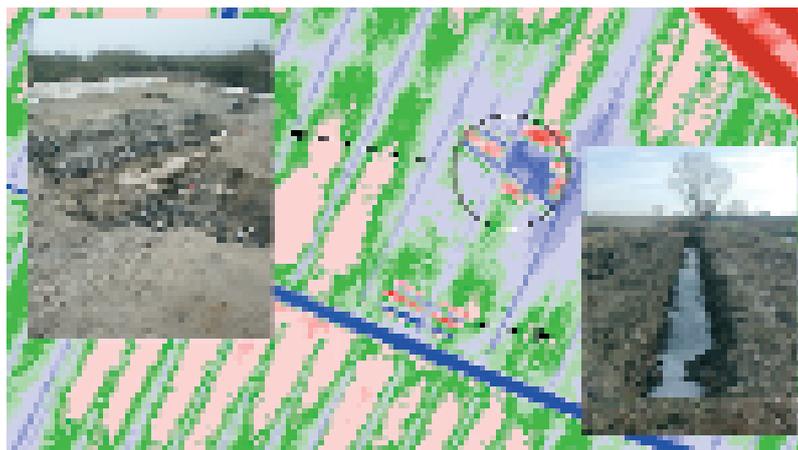
Nella figura 4, viene invece proposta la visualizzazione del modello numerico del terreno a tinte isometriche con equidistanza 25 cm e, per confronto, il modello del terreno della stessa area ottenuto attraverso le informazioni altimetriche desunte dalla CTR (scala 1:5.000) dell'area.

Di particolare interesse la presenza di una serie di scavi archeologici utilizzati, unitamente ad un sufficiente numero di punti di controllo a terra, per la verifica della correttezza del modello ottenuto dal laser scanner avionico. Nello specifico, l'errore massimo registrato in planimetria è stato di 3.5 cm mentre il massimo di 12 cm nella componente Z.

Infine, il rilievo ha consentito di produrre un'ortofoto ad alta risoluzione e la restituzione tridimensionale di una cartografia aggiornata a grande scala dell'intera area.

Rilievi laser scanner aree montuose

L'area oggetto dell'intervento è caratterizzata, contrariamente alla prece-



dente, da una porzione di un versante montuoso interessato da pareti sub verticali e da un importante fenomeno franoso tale da rendere l'area stessa estremamente instabile e totalmente inaccessibile.

L'estensione complessiva è di circa 30 ha. In questo caso il ricorso alla tecnica laser scanner da elicottero è stata determinata dalla impossibilità-divieto di occupare fisicamente l'area con un rilievo GPS o di altra natura e dalla necessità di andare a coprire ampie porzioni di versante totalmente non visibili dal basso.

La caratteristica di maneggevolezza del velivolo in questione consentiva, inoltre, di poter rilevare con efficacia anche le profonde incisioni e le pareti verticali presenti nell'area di frana.

Obiettivo primario del rilievo laser

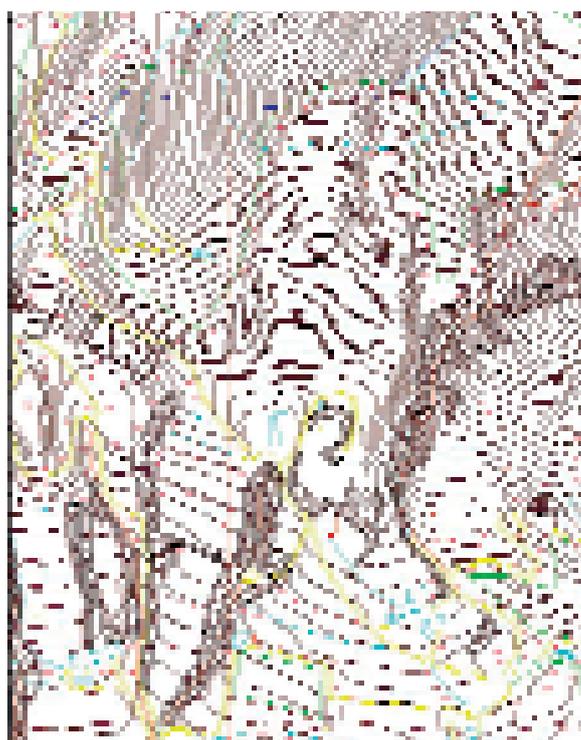
era la produzione, in tempi ridottissimi, di una cartografia dettagliata dell'area e di un modello numerico ad elevata risoluzione.

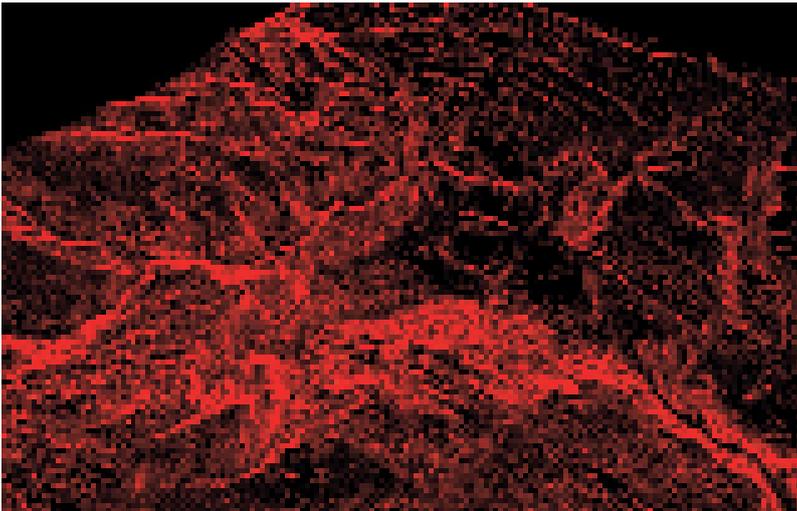
La disponibilità dei dati di cui sopra, era stata posta dai vari specialisti interessati al progetto come condizione imprescindibile per tutte le successive fasi di studio, progettazione e messa in sicurezza del sito. Le attività di campo hanno confermato l'efficacia del metodo proposto, consentendo sia di arrivare ad una rappresentazione del territorio estremamente fedele, anche nelle aree difficilmente raggiungibili, che permettendo di rilevare l'intera porzione di versante in tempi estremamente ridotti.

I rilievi topografici, svolti direttamente sul terreno, si sono pertanto limitati ad una serie di misure finalizzate uni-

FIGURA 6

A sinistra rappresentazione a curve di livello dell'area di interesse con equidistanza 1 e 0.5 m; il confronto con una rappresentazione realizzata in precedenza con tecniche fotogrammetriche ed equistanza 5m mostra il diverso dettaglio nella rappresentazione dell'area





Rilievi laser scanner in aree estrattive

Tra gli esempi più significativi di utilizzo di strumentazioni laserscan terrestri, le applicazioni in aree estrattive rappresentano una delle più frequenti e diffuse tecniche di rilievo di superficie.

Il caso in questione riguarda l'aggiornamento cartografico, la ricostruzione tridimensionale ad alta risoluzione e la produzione di ortofoto di alcuni settori di una grande cava di materiali lapidei nell'ambito di uno studio geologico-geomeccanico, finalizzato alla stesura di un nuovo piano di coltivazione della cava stessa.

Il sito, caratterizzato da un profondo canyon a pareti verticali, frutto della progressiva attività estrattiva, è stato rilevato attraverso un elevato numero di stazioni, posizionate secondo un particolare schema e collegate tra di loro attraverso un adeguato rilievo topografico.

Data la morfologia dell'area e le finalità del rilievo, si è ritenuto opportuno fare ricorso ad una strumentazione con una portata di almeno 800 metri; tale scelta ha consentito di rilevare le porzioni sommitali delle pareti rocciose posizionandosi in quota sul versan-

camente all'acquisizione di una serie di punti GPS collegati al caposaldo Nazionale IGM95, da utilizzare come punti di taratura e controllo per le nuvole di punti laser; al fine di testare la correttezza dei dati acquisiti in particolare per quanto attiene alla componente altimetrica.

Nello specifico i risultati dei test di cui sopra, hanno messo in evidenza uno scarto di pochi cm, sia in quota, che rispetto alle componenti planimetriche X,Y, risultato del tutto accettabile in funzione dei dati da produrre.

La fase di elaborazione delle diverse nuvole di punti, acquisite con la metodologia di cui sopra, ha richiesto una particolare attenzione, dal momento che le singole strisciate, operate dall'elicottero, possono talvolta seguire andamenti sinuosi generando fasce di sovrapposizione irregolari ad altissima densità di punti acquisiti; la presenza di vegetazione, inoltre, ha richiesto, come nel caso già esposto, la registrazione della risposta di più impulsi ed un attento filtraggio per la rimozione, sia dei corpi vegetali che di eventuali strutture antropiche, presenti nell'area.

La densità dei punti è stata omogeneizzata tra le varie riprese e portata a 10 p.ti/m², mentre, per il modello numerico finale, si è ritenuto sufficiente generare un matrix a risoluzione 0,5 m dal quale estrarre un set di curve di livello, con equidistanza 1 m. e 0,5 m. Nella figura 6 viene riprodotta la rappresentazione a curve di livello dell'area.

Va evidenziato come la disponibilità dei dati di cui sopra, ha consentito di disporre di informazioni morfologi-

che dell'area estremamente accurate, consentendo di studiare alcuni degli aspetti più significativi e di rilevare informazioni metriche di grande interesse ed utilità per gli specialisti incaricati.

Tra i punti più significativi l'analisi delle superfici di scivolamento ed i sistemi di fratturazione della roccia, la misura dei volumi di materiale ed il tracciamento di profili. Infine, la produzione di una adeguata cartografia dell'area è stata accompagnata dalla elaborazione di una ortofoto digitale a colori alla risoluzione di 15 cm.

FIGURA 7

Esempio di vista prospettica dalla sommità verso il basso, dell'area in dissesto; in molti casi, particolarmente efficaci e significativi possono risultare le sovrapposizioni di cartografie tematiche (idro-geologiche, geomorfologiche, forestali) dell'area sul modello 3D

FIGURA 8

Particolare dell'area estrattiva



FIGURA 9

Nuvole di punti già attribuite con il valore RGB durante le operazioni di rimozione degli oggetti estranei; le aree prive di informazioni che si generano, verranno ripristinate da altre scansioni operate da diverse angolazioni. La procedura in questione è tipica di situazioni caratteristiche ricche di materiali ed attrezzature utilizzate nelle varie fasi lavoro

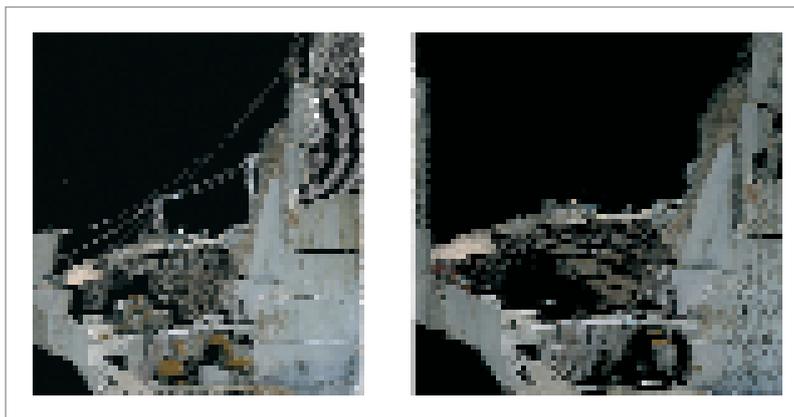
te opposto, minimizzando, così, gli angoli zenitali altrimenti eccessivi derivanti da stazioni svolte dalla quota del piano campagna.

La fase di elaborazione sulle singole nuvole di punti e sul modello riunito è stata caratterizzata, oltre che dalle operazioni di routine, da un pesante processo di cleanup e filtraggio sulle singole scansioni e sulla nuvola totale. Durante questa fase, particolare attenzione è stata rivolta alla rimozione di tutta una serie di disturbi presenti sulla nuvola di punti (presenza di code di punti spuri originati in prossimità degli spigoli degli oggetti presenti nell'area di scavo, particolarmente complessa è stata inoltre la rimozione di attrezzature di servizio: cisterne, cavi, tubazioni, tralicci di servizio, strutture di sostegno, ecc.) nonché del personale e delle stesse macchine operatrici che durante le fasi di campo hanno continuato a svolgere la normale attività di scavo.

Tale fase si è dimostrata di fondamentale importanza per riuscire a restituire un modello tridimensionale il più vicino possibile alla realtà.

La possibilità di rimuovere o aggiungere oggetti dal modello, rappresenta uno dei punti di forza del metodo, facilitando le operazioni di campo anche in contesti operativi nei quali, come nel caso in questione, non è possibile rimuovere le strutture estranee al sito prima del rilievo. Nel caso illustrato in figura si può notare come sia stato possibile rimuovere, dalle singole scansioni o dal modello riunito, tutte le strutture di servizio fisse e mobili presenti durante i rilievi.

Le elaborazioni si sono concluse con la produzione di un modello riunito dell'area alla risoluzione di 0.10 m, sul



quale sono stati condotti studi specialistici e simulazioni varie finalizzate alla verifica di stabilità ed al calcolo delle superfici e dei volumi in gioco. Inoltre, attraverso il modello delle superfici ed alle immagini digitali acquisite durante le singole scansioni, sono state prodotte ortofoto a risoluzione 0.01m sulle quali sono stati riconosciuti e misurati i vari sistemi di fratturazione e tutti gli elementi di interesse geologico-geomeccanico.

Infine, l'utilizzo congiunto dell'ortofoto e del relativo modello 3D georiferito, ha consentito di disegnare tridimensionalmente gli elementi di cui sopra e di valutarne, riunendo i vari vettoriali, la loro continuità nello spazio, il tutto con evidenti ricadute positive in termini di interpretazione dell'intero sistema.

Conclusioni

Il perfezionamento e la progressiva diffusione di strumentazioni laser scanner terrestri ed avionici, hanno favorito un sempre maggiore impiego di questa tecnica di rilievo. Nella presente nota, pur confinando gli esempi di rilievo laser scanner a progetti a sfondo geologico applicativi, i vantaggi

e le potenzialità del metodo non lasciano dubbi sull'utilità della tecnologia in questione.

I punti di forza restano, senza alcun dubbio, la velocità e la precisione con la quale si riescono ad acquisire enormi quantità di dati, mentre ancora problematica resta talvolta l'elaborazione, se non supportata da adeguato hardware e software dedicato.

La tecnica, già consolidata nel campo dei rilievi architettonici e dell'archeologia o nel monitoraggio dei dissesti gravitativi e delle opere ingegneristiche, si integra perfettamente con altre tecniche di rilievo strumentali; si possono citare, ad esempio, il rilievo termico o per quanto attiene alla prospezione geofisica il georadar, la geoelettrica, ecc.

Numerosi e spesso spettacolari esempi di applicazioni di questo tipo sono stati omessi dal presente articolo per ragioni di brevità, ma gli ottimi risultati conseguiti favoriranno certamente la stesura di un prossimo articolo a loro dedicato.

Nuccio Bucceri

Land Technology & Services Treviso

FIGURA 10

Modello tridimensionale di un sito estrattivo rappresentato da nuvole di punti X,Y,Z con densità di 10p.ti/m² e relativo valore RGB; il veicolo sulla sinistra fornisce un valido riferimento sulle dimensioni del corpo roccioso

