

Monitoraggio laser
per cave e cantieri
della **A35 BreBeMi**

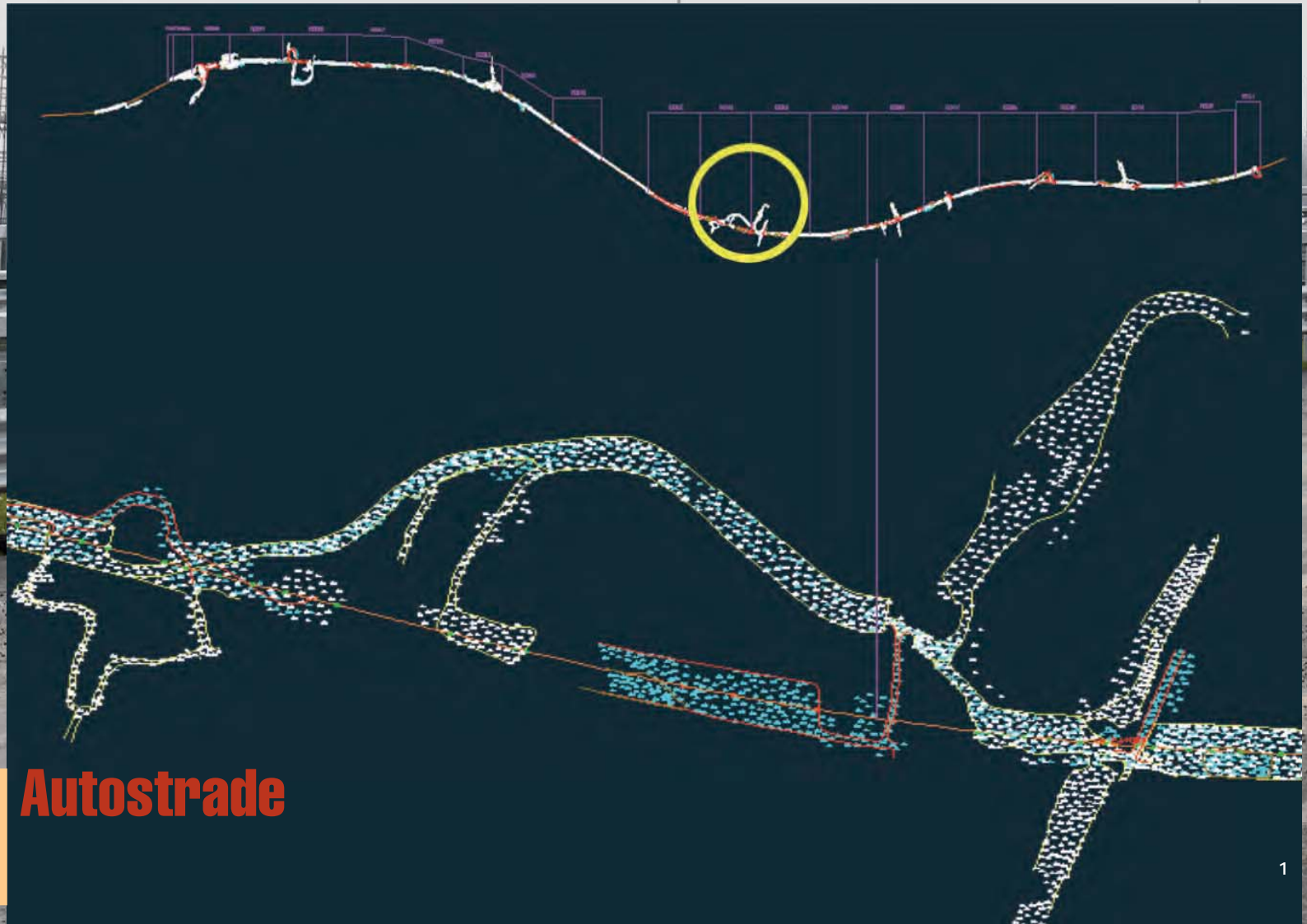


Rilievi Terrestri

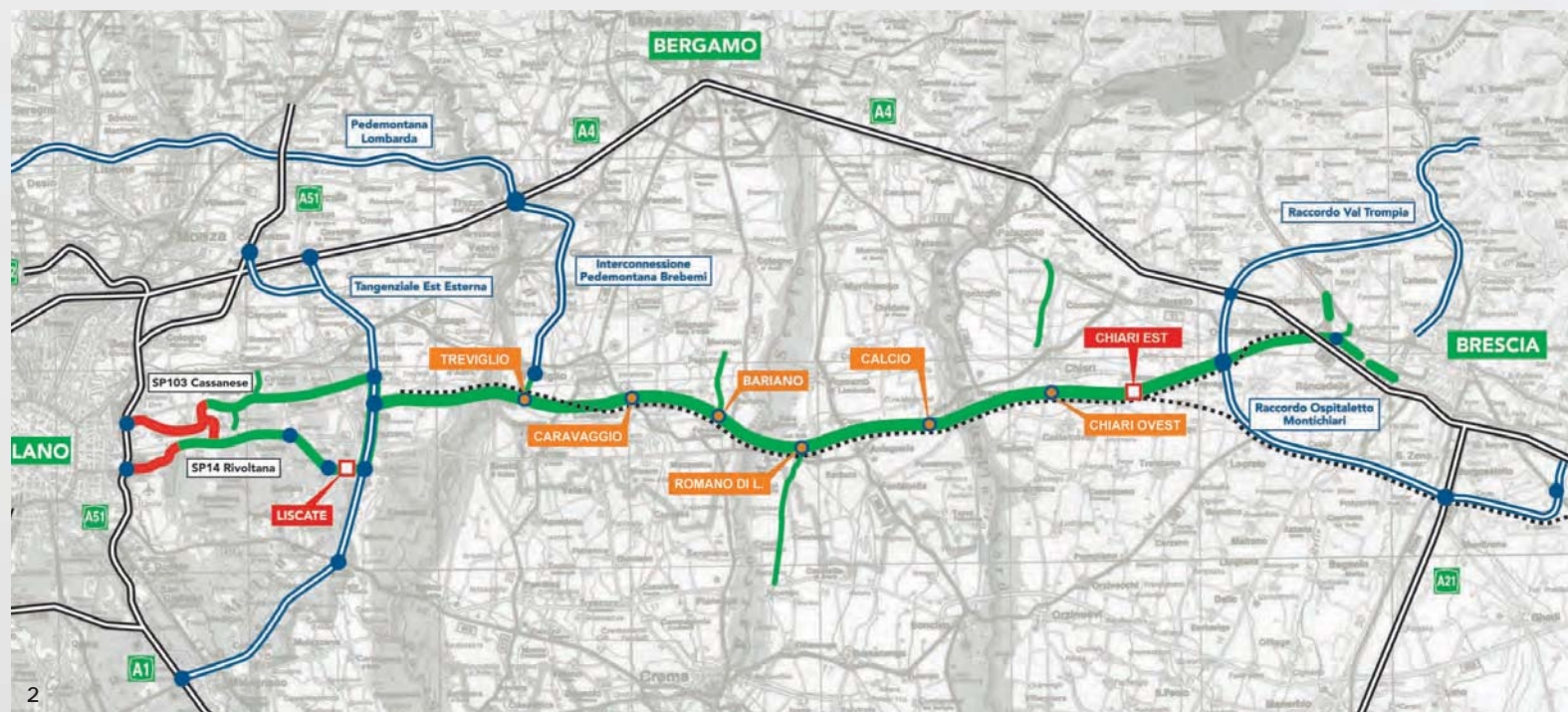
Monitoraggio laser per cave e cantieri della nuova A35

Giuseppe Mastroviti
Ingegnere
Direzione Tecnica
BreBeMi SpA

Sergio Rossi
Luca Favagrossa
Direzione Commerciale
Sineco SpA



Autostrade



1. Nuvola di punti del tracciato e particolare del piano quotato

2, 3. Dai siti estrattivi (identificati nella mappa del tracciato BreBeMi) alla nuova autostrada lombarda ormai vicina all'apertura (nell'immagine il km zero)



L'OBIETTIVO: MISURAZIONI ACCURATE, RIPETIBILI E IN GRANDE QUANTITÀ DELLE ATTIVITÀ ESTRATTIVE PROPEDEUTICHE ALLA REALIZZAZIONE DEL CORPO STRADALE DELLA BREBEMI, L'AUTOSTRADA BRESCIA-BERGAMO-MILANO PROSSIMA ALL'APERTURA. LO STRUMENTO PER RAGGIUNGERLO: IL MOBILE LASER SCANNING TERRESTRE, ATTRAVERSO IL QUALE LA CONCESSIONARIA HA POTUTO CONTARE SU UN VERO E PROPRIO "BILANCIO DELLE TERRE" CONTROLLANDO, PER ESEMPIO, LA RISPONDENZA TRA I VOLUMI ESTRATTI CON QUELLI UTILIZZATI. DI SEGUITO, TUTTI I DETTAGLI DELLA BEST PRACTICE.

Le infrastrutture e la gestione della mobilità sono certamente una priorità per la Lombardia. Il Progetto BreBeMi (www.brebemi.it) nasce verso la fine degli anni '90 come risposta a un bisogno locale di mobilità lungo la direttrice che collega il sistema metropolitano di Milano con una delle principali zone produttive italiane localizzata nell'area di Bergamo e Brescia. Sarà la prima autostrada europea costruita interamente con capitali privati e si è aggiudicata due premi europei per il miglior *project financing* nelle infrastrutture ("PFI Awards" di Thomson Reuters e "Project Finance Deals of the year"). Il tracciato ha uno sviluppo di circa 62,1 km. Partendo da Brescia, l'opera interseca il futuro Raccordo Autostradale Ospitaletto-Montichiari e fino alla barriera di Castrezzato sarà a circolazione libera con svincoli intermedi per l'accesso alla viabilità locale. Successivamente, il tracciato prosegue a tre corsie per senso di marcia in stretto affiancamento alla linea ferroviaria Alta Velocità Milano-Verona (tratta Treviglio-Brescia), fino a interconnettersi con la futura Tangenziale Est Esterna di Milano. In questo tratto sono previsti 6 caselli completamente automatizzati (Chiari, Calcio-Ategnate, Fara Olivana-Romano di Lombardia, Bariano, Treviglio Est-Caravaggio, Treviglio Ovest-Casirate d'Adda). La nuova autostrada sarà attraversata, mediamente lungo tutto l'asse, da flussi giornalieri di traffico pari a circa 40.000 veicoli all'apertura e quasi 60.000 veicoli a regime. BreBeMi in numeri: 6,8 milioni di ore/anno di viaggio risparmiate; 5 province e 43 comuni interessati; 5 parchi; 62,1 km di autostrada; 17,5 km di viabilità di connessione e 17 km di viabilità compensativa. Sul totale, risultano riqualficate circa 17 km di strade.

L'esigenza e la scelta tecnologica

La necessità di garantire un controllo efficace delle varie attività costruttive legate alla formazione dei rilevati stradali, sia da un punto di vista qualitativo che di tutela dell'ambiente, aveva posto la concessionaria nella condizione di dover definire un sistema metodologico per il monitoraggio periodico dei volumi di materiale movimentato sia dall'esterno che all'interno del cantiere e in particolare dei volumi estratti dalle cave di approvvigionamento e di quelli posti in opera. Il fine era di accertarsi, mediante misurazioni accurate e ripetibili, che tutti i materiali estratti dalle cave prescelte per l'approvvigionamento degli inerti fossero poi effettivamente utilizzati e posti in opera per la realizzazione del corpo stradale, così che, tramite un vero e proprio bilancio delle terre, si potesse escludere l'eventuale impiego di materiali non autorizzati. Dopo uno studio accurato sulle diverse metodologie di rilievo, l'attenzione era ricaduta su quelle che utilizzavano la tecnologia del "laser scanning", le uniche in grado di acquisire misure in grande quantità, in tempi relativamente ristretti e con precisioni adeguate allo scopo. Venivano successivamente analizzate e poste a confronto, sia da un punto di vista tecnico sia economico, le tecnologie di rilievo laser scanner aereo e terrestre, quest'ultimo sia in modalità statica che dinamica. Dalle analisi effettuate, la scelta finale è ricaduta sul "Terrestrial Mobile Laser Scanning". In effetti, questa metodica di rilievo consente di acquisire molte più misure di una tecnologia tradizionale, con tendenza al conti-

nuo rispetto al discreto. Il vantaggio dell'acquisizione senza soluzione di continuità si sposa, tra l'altro, con l'assoluta comparabilità della precisione e accuratezza con quelle ottenibili con rilievi topografici tradizionali. Quale esecutore del servizio veniva individuata, dopo un'indagine di mercato, la società di ingegneria Sineco SpA di Milano (www.sinecoing.it), accreditata alla norma UNI-EN 17025 per i rilievi laser 3D, che ha contribuito in partnership con la canadese Optech, alla realizzazione del primo prototipo di laser scanner mobile e, successivamente, è stata la prima realtà al mondo a dotarsi, nel 2008, di un sistema laser scanner mobile completamente ingegnerizzato denominato "Lynx Mobile Mapper".

La strumentazione Lynx Mobile Mapper

Il Lynx Mobile Mapper (fig. 4) è un laser scanner di ultima generazione, appositamente progettato e ottimizzato per utilizzo su veicolo, grazie al quale è stato possibile effettuare in Italia le prime applicazioni di "laser scanning" dinamico in ambito stradale e territoriale. Permette di effettuare in modo rapido misure georiferite per mezzo di un sistema di navigazione POS LV 420 Applanix, con precisione paragonabile a quella topografica, alla frequenza di oltre 400.000 punti al secondo, ottenendo "Nuvole di Punti" 3D descrittive dell'infrastruttura e di tutto l'ambiente nell'intorno di 200 m. L'acquisizione dell'infrastruttura e del territorio circostante si basa su un semplice principio fisico: una sorgente emissiva proietta nel suo intorno raggi laser che, colpendo la materia al contorno, vengono da essa riflessi e captati da un ricevitore. Nota la velocità della luce e il tempo trascorso tra emissione e ricezione, il sistema misura la distanza del punto e, quindi, integrando questa informazione con quella derivante dal

4. Lynx Mobile Mapper di Sineco

5, 6, 7. Tre "istantanee" delle cave BreBeMi: a Castrezzato, Cassano d'Adda e Covo

8. Rilievo GPS-batimetrico



4



sistema POS del veicolo, ricava, istante per istante, le coordinate WGS84 di ogni singolo punto colpito dai raggi laser. Il Lynx utilizza due sensori lidar che, ruotando a una velocità di 12.000 rotazioni al minuto e con frequenza di acquisizione di 200 kHz, consentono di effettuare misure con densità di punti variabile da 1.000 a 4.500 punti a m² di superficie in funzione della velocità con cui si esegue il rilievo.

Altra caratteristica fondamentale del sistema è che i laser installati sono di Classe 1 e dunque garantiscono la totale sicurezza alla vista, consentendo ciò di poter operare anche in contesti antropizzati quali ambiti urbani, siti produttivi, ecc. Dalla nuvola di punti 3D, via *post-processing*, è possibile estrarre sezioni, profili trasversali e longitudinali, ricavare modelli DTM, calcolare volumi ed effettuare misure con precisione sub-centimetrica di ogni dettaglio stradale e territoriale.

Siti monitorati e metodologia del rilievo

Per quanto riguarda i siti delle cave estrattive, essi risultavano essere tre e in particolare: la Cava BS1bis di Castrezza, la Cava MI1 di Cassano d'Adda e la Cava BG3 di Covo, per un'estensione complessivamente dell'area di scavo di circa 38,00 Ha. Per quanto riguarda le aree di cantiere relative all'asse autostradale, esse sono state individuate e suddivise in:

- Cantiere 1: asse autostradale, da pk 0+000 a pk 15+000;
- Cantiere 2: asse autostradale, da pk 15+000 a pk 35+000;
- Cantiere 3: dell'asse autostradale, da pk 35+000 a pk 48+915;
- Cantiere 4: comprendente la SP 103 Cassanese da pk 0+000 a pk 6+800; la SP 14 Rivoltana da pk 0+000 a pk 6+700 e la Variante di Liscate da pk 0+000 a pk 4+600 e altri lotti esterni all'asse autostradale vero e proprio in provincia di Brescia;

per un totale di circa 67,0 km di asse stradale.

Modalità di esecuzione dei rilievi

Per quanto riguarda le cave estrattive, il rilievo è stato svolto percorrendo con il veicolo Lynx Mobile Mapper il bordo pe-

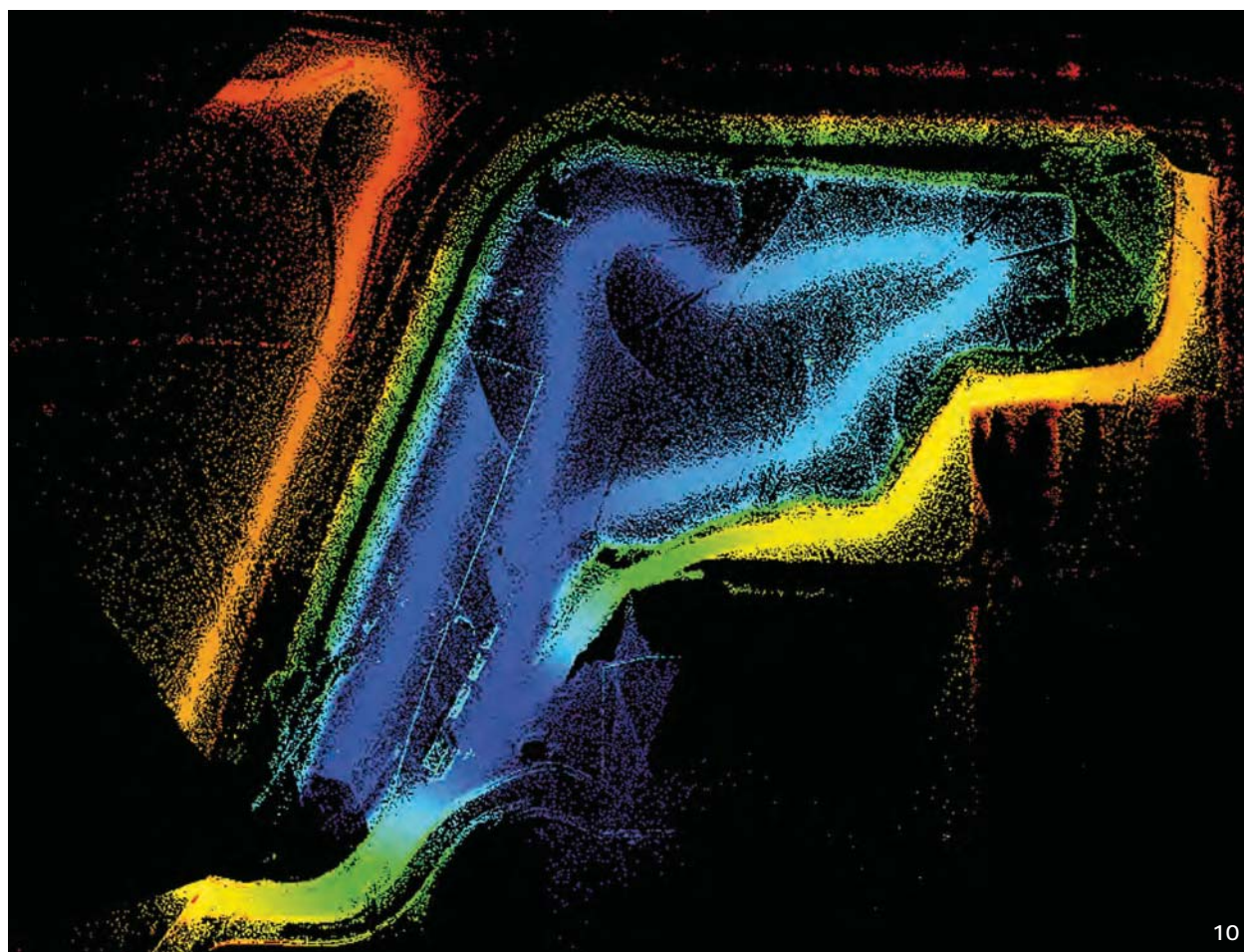


BREBEMI RACCORDO AUTOSTRADALE BRESCIA BERGAMO MILANO	
Vertice della Rete di Raffittimento	PUNTO N°: RC 65 ANNO - 2007
Fotografia	Descrizione
	Borchia infissa su spalletta canaletta irrigua nei pressi della strada che da Casirate d'Adda porta alla SS. 11 per Cassano d'Adda, a sud della Ferrovia.
	Coordinate WGS84
	A= 9°33'28.32033" E q= 45°50'46.20380" N
	Coordinate Gauss-Boaga
	E= 1543601.613 N= 5040093.624
Coordinate Rettilinee ITALFERR	
X = 3426402.427 Y = 6507340.027	
Quota ortometrica	
PP = 114.552 Suolo =	
PP (piano di paragone)	
Sommità borchia	
Schizzo Monografico	Corografia
RC 65	9

rimetrale dell'area e la superficie interna, seguendo percorsi non necessariamente regolari in modo da ricoprire l'intero sedime della cava. Nel caso della Cava BG3 di Covo e della Cava MI1 di Cassano, dove si è verificata la presenza di acqua, il rilievo laser scanner Lynx è stato integrato con un rilievo GPS-batimetrico (fig. 8, pag. precedente) del fondale mediante interfometria multibeam. Per quanto riguarda invece i cantieri stradali, l'acquisizione si è svolta percorrendo con il Lynx Mobile Mapper la sommità del rilevato (fig. 9) e, ove necessario, il piede del rilevato stesso. Attività propedeutica al rilievo laser è stata la materializzazione a terra di punti di controllo GCP (Ground Control Point) necessari per effettuare l'appoggio a terra di precisione delle nuvole di punti generate dal rilievo laser. In accordo al cronoprogramma dei lavori e alle WBS, sono state programmate e realizzate cinque campagne di rilevamento, di cui la prima (condotta sull'intero tracciato autostradale e sulle n° 3 cave) avente lo scopo di definire lo "stato zero" del cantiere e le successive quattro - a cadenza trimestrale - realizzate contemporaneamente sulle cave e sulle porzioni di cantiere sottoposte a lavorazione.

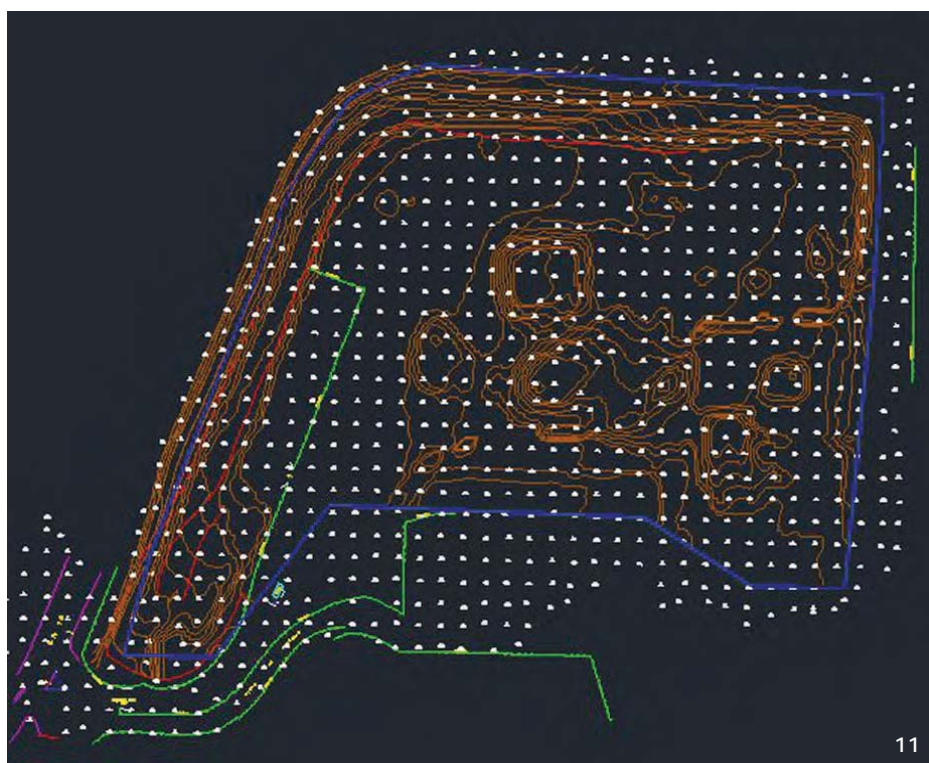
Post processing delle "Nuvole di Punti" 3D

Dalle relazioni tecniche consegnate da Sineco si è potuto evincere come, a campagna del rilievo ultimata, i dati acquisiti sono stati estratti dal sistema e tramite applicativo si è proceduto alla ricostruzione del tracciato georiferito compiuto dal veicolo durante il rilievo. Integrando i dati GPS con



9. Monografia di un GCP

10. Nuvola di Punti laser 3D raffigurante la cava di Castrezzato



11



12

11. Ancora l'esempio di Castrezato: elaborazione del piano quotato e curve di livello

12. Profili longitudinali, elaborati a seguito dei rilievi trimestrali

i dati della piattaforma inerziale (IMU) e dell'odometro (DMI) e utilizzando un filtro di "Kalman", veniva garantita continuità alla traiettoria e ricavata la SBET (Smoothed Best Evaluation Trajectory). Successivamente alla definizione della traiettoria, è stato condotto il *processing* dei dati laser integrandoli con le informazioni sul posizionamento del veicolo, ottenendo così come risultato la "Point Cloud" georiferita. Una volta generata la "Point Cloud" si è proceduto all'appoggio a terra utilizzando i GCP (Ground Control Point). La precisione ottenuta è stata centimetrica e rispondente così alle richieste del monitoraggio. Il processamento dei dati è avvenuto tramite routine finalizzate all'estrazione automatica e semi-automatica delle "feature" di interesse che, nel caso oggetto, del servizio sono consistite nella determinazione del piano quotato e del modello digitale a curve di livello per le tre cave

estrattive e, per il tracciato autostradale, nella determinazione del piano quotato, del profilo longitudinale e delle sezioni trasversali significative.

Determinazione dei volumi

A seguito di ogni rilievo trimestrale e dei modelli restituiti è stato possibile calcolare le volumetrie relative al materiale estratto dalle cave e di quello successivamente posto in opera nelle attività di costruzione. Ciò ha permesso di monitorare l'evoluzione nel tempo delle attività produttive e costruttive fornendo gli stati d'avanzamento effettivi inerenti il corpo stradale e, in particolare, di verificare la congruità tra volumi scavati e volumi posti in opera. Il processo ha previsto le seguenti fasi:

- Caricamento "Nuvola di Punti" di ogni sito rilevato;
- Generazione mesh;
- Impostazione "Piano di Riferimento" rispetto a cui riferire i diversi rilievi;
- Elaborazione piani quotati e planimetrie a curve di livello;
- Calcolo volumetrie di scavo e/o riporto;
- Estrazione profili longitudinali del tracciato autostradale in opportuna scala.

Il processo sopra descritto è stato applicato ai dati laser acquisiti sia sulle tre cave sia nei cantieri lungo le tratte autostradali in costruzione. La sovrapposizione dei modelli digitali ottenuti nelle diverse date dei rilievi ha quindi consentito di mettere in evidenza la movimentazione e l'incremento dei volumi nelle diverse fasi di lavorazione dell'opera.

Al termine dei rilievi trimestrali, si è giunti così a determinare che il materiale estratto dalle tre cave autorizzate ammontava a complessivi 3.585.800 m³, mentre il volume complessivo del materiale posto in opera, ricavato dall'elaborazione dei dati laser, risultava essere di 3.724.150 m³.

Tenendo in considerazione che 125.000 m³ di materiale posto in opera non proveniva dalle cave ma da altri siti di approvvigionamento, la differenza finale è risultata essere minima e pari a circa lo 0,36% del volume complessivo (13.350 m³).

Considerazioni conclusive

L'esperienza svolta ha permesso di confermare la validità della scelta di BreBeMi nel ricorrere al "Mobile Laser Scanning" terrestre quale sistema metodologico per il monitoraggio continuo dei volumi di materiale estratti dalle cave di approvvigionamento e di quelli posti in opera. In effetti, ciò è stato possibile grazie alle caratteristiche intrinseche di questa tipologia di rilievo che sono riconducibili alla rapidità di acquisizione, precisione, alta densità di punti di misura e flessibilità di utilizzo. Tramite un vero e proprio bilanciamento delle terre, BreBeMi ha potuto quindi controllare la rispondenza tra i volumi estratti con quelli effettivamente utilizzati per la realizzazione del corpo stradale, escludendo così l'eventuale impiego di materiali non autorizzati o, addirittura, inquinanti. Il territorio, la tutela dell'ambiente e l'efficienza nell'utilizzo delle risorse si confermano essere per BreBeMi elementi significativi e imprescindibili a cui rivolgere una qualificata e costante attenzione nelle attività di costruzione e gestione autostradale. ■■



Uffici Tecnici

Viale Isonzo, 14/1
20135 Milano
tel. 02-5425901
fax 02-54259023
sineco@sineco.co.it