

STRADE & AUTOSTRADE

COSTRUZIONE E MANUTENZIONE DI STRADE, AUTOSTRADE, PONTI, GALLERIE
Studi e Progetti • Grandi infrastrutture • Cantieri • Impianti • Ambiente • Macchine • Tecnologie • Materiali

FOCUS ON **OPERE IN SOTTERRANEO**



INFRASTRUTTURE

La circoscrizione
di Castalbello e Colsano
sulla S.S. 38

Il caso della galleria
Borzoli-Erzelli

Il punto sul Terzo Valico

MATERIALI

Bitumi e leganti bituminosi:
la Normazione europea

Sperimentazioni di riciclato
a caldo in ambito urbano

L'impiego del Laser Mobile
Mapper per il rilievo nei tunnel

AMBIENTE

Paesaggio e infrastrutture:
il Kilometro Verde a Parma

Verso le emissioni zero
per una Green Mobility

Tecnologie innovative
con soluzioni sostenibili

SINA



Sede Legale e Uffici Operativi

Viale Isonzo 14/1 – 20135 Milano

Tel.: +39 02 5425901 – Fax Uffici Operativi: +39 02 54259023 – Fax Sede Legale: +39 02 55059329

sina@sina.it – www.sina.it – www.autostradafacendo.it – [LinkedIn](#) / SINA S.p.A.

L'IMPIEGO DEL LASER MOBILE MAPPER PER IL RILIEVO GEOMETRICO DIMENSIONALE AD ALTA EFFICIENZA DEI TUNNEL STRADALI

ESISTONO OGGI TECNOLOGIE D'AVANGUARDIA IN GRADO DI ACQUISIRE, IN MANIERA AUTOMATIZZATA ED ACCURATA, LE CARATTERISTICHE GEOMETRICO-TOPOGRAFICHE DELLE INFRASTRUTTURE STRADALI, FERROVIARIE ED AEROPORTUALI, COMPRESSE LE OPERE AL CONTORNO. IL PRESENTE ARTICOLO ILLUSTRA L'ESPERIENZA SVOLTA DA SINECO SPA SULLA RETE STRADALE PROVINCIALE DI BOLZANO

Nella disponibilità crescente di tecnologie utilizzabili per effettuare rilievi di infrastrutture di trasporto, geometrici e topografici, il mercato di settore consente di utilizzare oggi, accanto a tecnologie note e consolidate, nuove proposte, affidabili e talvolta in grado di innovare profondamente gli orizzonti applicativi.

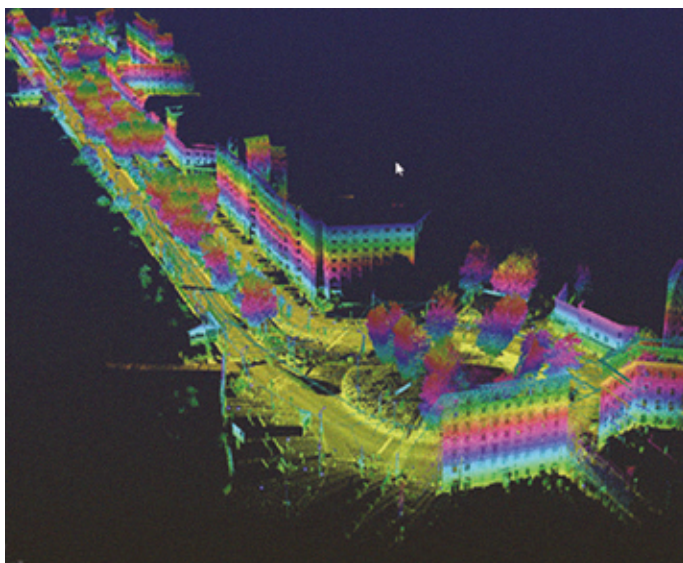
Nel presente articolo viene riportata l'esperienza realizzata nel Maggio 2017 da Sineco (per la quale dal 1° Settembre 2017 è avvenuta la fusione per incorporazione nella Società Sina SpA) con il Laser Mobile Mapper per il rilievo geometrico dimensio-

nale delle gallerie presenti sulla rete stradale in gestione alla Provincia Autonoma di Bolzano, rilievo finalizzato alla verifica di transitabilità dei carichi eccezionali.

La chiave di volta del successo e della crescente diffusione di queste tecnologie, dette "ad alto rendimento", risiede principalmente nella capacità di rilevare molte più misure di una tecnologia tradizionale con tendenza al continuo rispetto al discreto, per lo più montate su veicoli ordinari, dotati di sistema di posizionamento assoluto, e tali da risultare, nella conduzione del rilievo stesso, di minimo intralcio all'esercizio. Il vantaggio dell'acquisizione senza soluzione di continuità si sposa con un'assoluta comparabilità della precisione e accuratezza con quelle ottenibili da un rilievo tradizionale.

L'ESIGENZA E LA SCELTA TECNOLOGICA

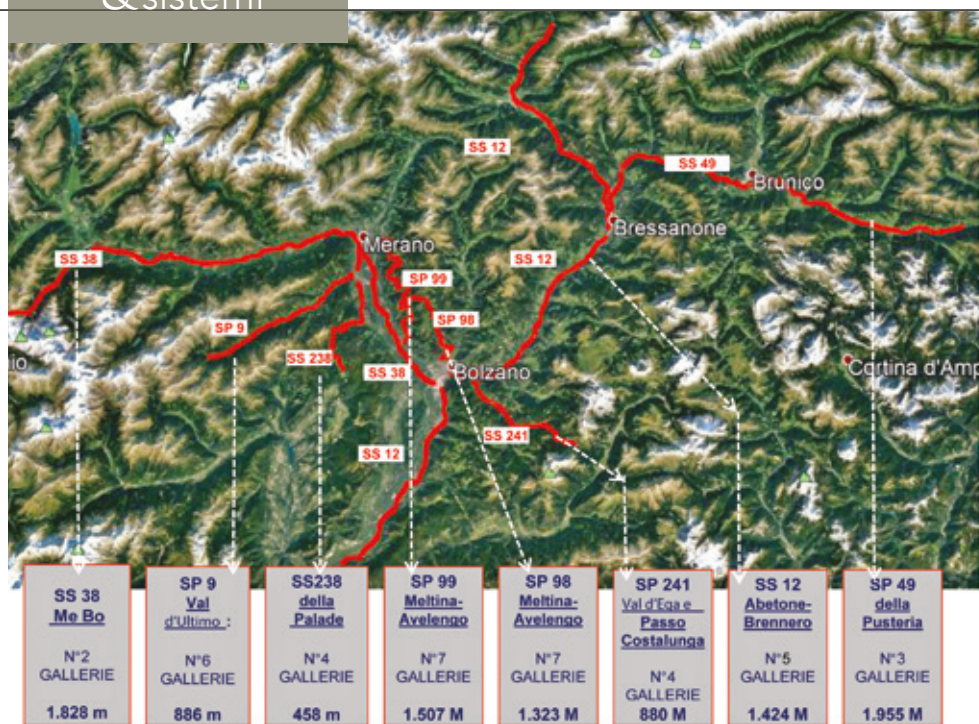
Il Servizio della Ripartizione 12 "Servizio Strade" si occupa della manutenzione e gestione delle gallerie presenti lungo lo sviluppo dell'intera rete stradale. Il patrimonio in gestione è attualmente pari a 200 gallerie per un totale di circa 64 km suddivisi come in Figura 2.



1. La nuvola di punti 3D in ambito urbano

L [m]	N°	Classe	N°
da 0 m a 500 m	165	A	9
da 500 m a 1.000 m	20	B	11
da 1.000 m a 2.000 m	12	C	14
oltre 2.000 m	3	D	166
Totale	200	Totale	200

2. Le caratteristiche delle gallerie



3. L'ubicazione delle gallerie rilevate

La classe è identificata considerando la lunghezza (L) e il traffico giornaliero medio (TGM) di competenza della singola strada e per la relativa classificazione si rimanda alle Norme funzionali e geometriche per la progettazione e la costruzione di strade nella Provincia Autonoma di Bolzano - Alto Adige approvate con D.P.P. del 27/06/2006 n° 28.

Dovendo essere le gallerie gestite e rese transitabili in sicurezza per 365 giorni all'anno e 24 ore su 24, è necessario un controllo continuo su di esse, sia per quanto riguarda gli impianti tecnici installati sia per quanto concerne lo stato conservativo della struttura: tutto questo al fine di programmare e provvedere all'esecuzione di interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria.

Esiste inoltre una stretta collaborazione anche con il servizio trasporti eccezionali dell'Ufficio Amministrativo Strade il quale si occupa del rilascio delle autorizzazioni alla circolazione dei veicoli eccezionali e dei trasporti in condizioni di eccezionalità.

Nell'ambito di questa collaborazione, è sorta l'esigenza da parte della Ripartizione 12 di condurre una verifica geometrica su 38 gallerie delle quali, considerata la loro data di realizzazione ed i diversi interventi manutentivi condotti sul piano stradale, occorreva aggiornare le caratteristiche dimensionali nonché l'andamento plano-altimetrico del tracciato in corrispondenza delle stesse.

In particolare, lo scopo è stato quello di individuare per ogni galleria la sezione geometrica trasversale critica, il profilo longitudinale e l'andamento planimetrico per consentire all'Ufficio Provinciale preposto il rilascio dell'autorizzazione per la transitabilità o meno dei trasporti eccezionali.

A tale fine, risultava necessario individuare una tipologia di rilievo che fosse il più possibile preciso e che avvenisse senza soluzione di continuità, così da poter disporre di sezioni trasversali geometriche in corrispondenza di qualunque punto del fornice. A questa esigenza si aggiungeva quella di garantire tempi di esecuzione ristretti, con ingombri minimi sulla sede, così da minimizzare l'interferenza con la circolazione stradale.

Dopo una serie di verifiche sulle diverse metodologie di rilievo geometrico/topografico reperibili sul mercato, la scelta ricadeva su quelle che utilizzavano la tecnologia del "mobile laser scanning", in grado di coniugare rapidità di acquisizione, precisione ed alta densità di punti di misura e dunque di rispondere completamente alle esigenze sopra descritte. Le gallerie sottoposte al rilievo laser, come riportato in Figura 2, sono state complessivamente 38, per una lunghezza totale di fornice rilevato pari a circa 10.200 m, ubicate sulle strade di cui alla Figura 3. A titolo esemplificativo dell'intero lavoro svolto, saranno quindi nel seguito illustrate le fasi relative al rilievo laser di campagna, al post-processing e alla restituzione finale dei dati di alcune gallerie.

IL LASER MOBILE MAPPER (LMM)

Il Laser Mobile Mapper (LMM) di Sineco utilizzato per il rilievo (Figura 4) è un laser scanner di ultima generazione (Riegler VMX450), appositamente progettato ed ottimizzato per essere installato direttamente su un veicolo stradale.

Permette di effettuare in modo rapido misure georiferite per mezzo di un sistema di navigazione POS LV 520 Applanix, con precisione paragonabile a quella topografica, alla frequenza di oltre 500.000 punti al secondo, ottenendo "nuvole di punti" 3D descrittive dell'infrastruttura e di tutto l'ambiente nell'intorno di 200 m.



4. Il Laser Mobile Mapper

L'acquisizione dell'infrastruttura e del territorio circostante si basa su di un semplice principio fisico: una sorgente emissiva proietta nel suo intorno raggi laser che, colpendo la materia al contorno, ne vengono da essa riflessi e captati da un ricevitore. Nota la velocità della luce ed il tempo trascorso tra emissione e ricezione, il sistema misura la distanza del punto e, quindi, integrando questa informazione con quella derivante dal sistema POS del veicolo, ricava, istante per istante, le coordinate WGS84 di ogni singolo punto colpito dai raggi laser.

Altra caratteristica fondamentale del sistema è che i laser installati sono di Classe 1 e, dunque, garantiscono la totale sicurezza alla vista consentendo cioè di poter operare anche in contesti antropizzati quali ambiti urbani, stazioni, siti produttivi, ecc..

Dalla nuvola di punti 3D, via post-processing, è possibile estrarre sezioni, profili trasversali e longitudinali, ricavare modelli DTM ed effettuare misure con precisione sub centimetrica di ogni dettaglio stradale e territoriale.

Il sistema di misura è composto da un "Modulo di Localizzazione", da un "Modulo Laser Scanner" per la scansione e da un "Modulo Video", tra loro integrati di cui si forniscono nel seguito le caratteristiche salienti.

Il modulo di localizzazione

Il modulo di localizzazione impiegato è un Applanix POS LV520 V4, formato da una piattaforma inerziale (IMU) con frequenza di acquisizione di 200 Hz, da una stazione Rover GPS della Trimble e da un odometro (DMI) con frequenza di 1.800 impulsi per giro. Nella configurazione standard, le prestazioni del sistema di posizionamento sono riportate nella Figura 5.

L'integrazione e la correzione delle misure ottenute dai diversi sistemi consente la ricostruzione attendibile dei percorsi effettuati dal veicolo anche in condizioni di scarsa o nulla visibilità satellitare.

Il Modulo Laser Scanner

Il modulo è formato da due sensori lidar aventi una portata di oltre 200 m ed una precisione di +/-5 mm (1 sigma) a 100 m di distanza. La velocità di rotazione di ogni sensore è compresa tra 3.000 e 11.000 rpm, mentre la velocità di campionamento massima è di 600 kHz; entrambi questi parametri possono essere

setti prima dell'esecuzione della missione in funzione della densità finale di punti che si desidera ottenere.

I raggi laser, investendo il territorio e gli oggetti presenti per una fascia di larghezza pari ad oltre 200 m, lo riproducono tramite una "nuvola di punti" di elevata densità (variabile da 1.000 a 4.500 punti a metro quadrato di superficie stradale), ognuno dei quali risulta georiferito nello spazio secondo il sistema di coordinate WGS84.

Ogni laser, compiendo rotazioni di 360°, realizza una superficie di scansione circolare ($R > 200$ m).

Il modulo video è costituito da una telecamera sferica Lady-Bug5, formata da sei sensori CCD da 5 Mpx cadauno, con frequenza di acquisizione pari a dieci fotogrammi al secondo.

LA MODALITÀ DI ESECUZIONE DEL RILIEVO

Il rilievo LMM delle tratte stradali si è svolto nel corso di sole due giornate ed è stato eseguito percorrendo in continuo le tratte di competenza sia in salita (via Nord) che in discesa (via Sud) sulla corsia di marcia. La velocità media del rilievo si è mantenuta pari a 70 km/ora. Il rilievo è stato avviato 150 m prima dell'inizio di ogni singolo fornice, concludendosi, in maniera analoga, dopo circa 150 m oltre il fornice stesso.

All'inizio della sessione di misura, l'intero sistema (laser-scanner, GPS, odometro, piattaforma inerziale) alloggiato nel veicolo è stato sottoposto a calibrazione e taratura secondo le specifiche della Casa costruttrice.

In questa fase si è anche proceduto alla definizione dei punti di controllo a terra "Ground Control Point" (GCP), con i quali poter procedere, in fase di post-processing, all'appoggio di precisione delle nuvole di punti laser acquisite dal sistema.

I punti GCP sono stati materializzati sia all'interno del fornice che all'esterno, in prossimità dell'imbocco/sbocco della galleria, associando a ciascuno di essi le coordinate geografiche e facendo in modo da renderli facilmente riconoscibili (mediante un marker di colore bianco) all'interno della "nuvola di punti" (Point Cloud) generata dal sistema laser.

Per ogni GCP è quindi stata redatta una scheda monografica (Figura 6) riportante la descrizione del punto, l'immagine fotografica e le coordinate. La strumentazione utilizzata per questa attività era composta da un ricevitore geodetico configurato




PRESTAZIONI APPLANIX POS LV520 CON COPERTURA SATELLITARE

	Post-Processed	Inertially-Aided RTK	Real Time DGPS
X,Y posizione (m)	0,02	0,035	0,3
Z, posizione (m)	0,05	0,05	0,5
Roll e Pitch	0,005	0,015	0,015

PRESTAZIONI APPLANIX POS LV520 IN ASSENZA DI COPERTURA SATELLITARE PER 1 KM OD 1 MINUTO

	Post-Processed	Inertially-Aided RTK	Real Time DGPS
X,Y posizione (m)	0,10	0,30	0,42
Z, posizione (m)	0,07	0,10	0,53
Roll e Pitch	0,005	0,008	0,008

5. La prestazione del sistema di posizionamento POS

	PROVINCIA DI BOLZANO		
	Strada statale 38 dello Stelvio		
	Merano - Bolzano (Mello)		
Data: 19 maggio 2017	RILIEVO PUNTI DI APPOGGIO	ID-PUNTO	1
Descrizione			
Angolo iniziale della segnaletica identificante la cuspidine di uscita della stazione di servizio		Progressiva	
		Carreggiata	EST
		COORDINATE PUNTO	
Coordinate ETRF 2000			
		Latitudine	42° 52' 53.8870"
		Longitudine	11° 03' 35.4532"
		Quota ell.	292.79 mt.
Coordinate UTM-ETRF 2000			
		Est	676123,5778
		Nord	5150422,848
		Quota geo.	243.92 mt.
COORDINATE REFERENCE STATION			
Coordinate ETRF 2000			
		Latitudine	
		Longitudine	
		Quota ell.	
		Reference station	
		TIPO ACQUISIZIONE	NOTE
	NRTK	<input checked="" type="checkbox"/>	Coordinate Rrf. Station assenti in quanto utilizzato rete NRTK
	RTK RADIO	<input type="checkbox"/>	
	RTK GSM	<input type="checkbox"/>	
Marca - Modello reference station		RETE NETGEO	
Marca - Modello rover		STONEX 59	

6. Un esempio di monografia GCP

come "rover" e un "controller" che invia alla rete la posizione in formato NMEA ed acquisisce la correzione dalla rete di stazioni permanenti.

Dal confronto tra le coordinate geografiche di ogni singolo GCP con quelle del corrispondente punto individuato nella "Point Cloud" si sono ottenuti i parametri di correzione con cui effettuare l'appoggio di precisione.

Durante il rilievo, non è stato necessario disporre di un secondo ricevitore che fungesse da "base station" in quanto si è fatto uso della rete di stazioni permanenti del Servizio di Posizionamento Provinciale GNSS, le quali sono servite da antenna master fissa



8. Una nuvola di punti 3D della galleria 009G02 sulla S.P. 9 "Val D'Ultimo"

IL PRE-PROCESSAMENTO DEI DATI

Ultimato il rilievo, si è effettuata tramite il software POS-PAC della Applanix la ricostruzione del tracciato georiferito compiuto dal veicolo: l'integrazione dei dati GPS con i dati della piattaforma inerziale (IMU) e dell'odometro (DMI) ha permesso di ricostruire in modo continuo la traiettoria del mezzo e di ricavare la SBET (Smoothed Best Evaluation Trajectory).

Al fine di migliorare la precisione nel posizionamento assoluto, la traiettoria è stata corretta con i dati GPS scaricati dalle stazioni permanenti della rete GNSS della Provincia di Bolzano, ottenendo le correzioni differenziali di codice per la navigazione con precisione metrica (DGPS).

Le coordinate geografiche del tracciato sono state quindi ottenute mediante correzione differenziale della misura GPS in post-processing attraverso l'uso dei files in formato Rinex con tempo di campionamento di 1 secondo. Dopo la ricostruzione della traiettoria, si è eseguito mediante la suite Riegl il processamento dei dati laser, integrandoli con le informazioni sul posizionamento GPS, ottenendo così la nuvola di punti (Point Cloud) georiferita nel sistema di coordinate WGS84/UTM 32. Nelle Figure 7 e 8 si riportano alcuni esempi di nuvole di punti laser.

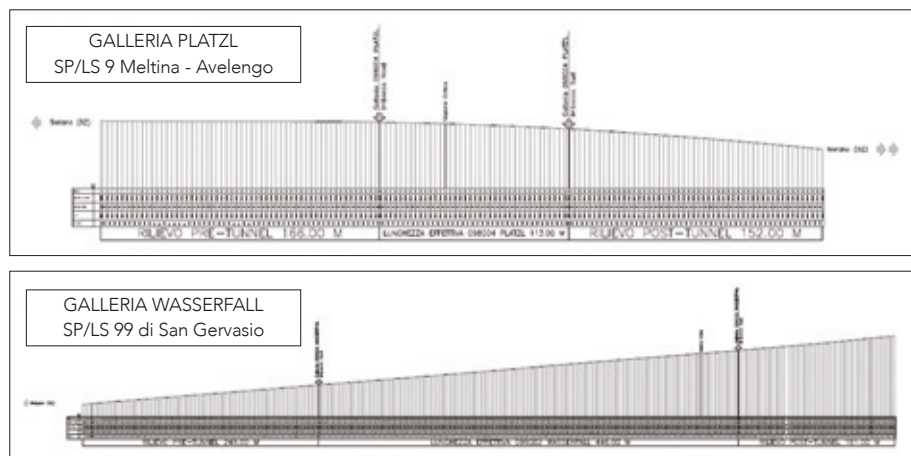
IL PROCESSAMENTO FINALE

Le nuvole di punti laser sono state successivamente trattate da routine di elaborazione, alcune delle quali messe a punto direttamente da Sineco, finalizzate all'estrazione automatica e semi-automatica delle "feature" di interesse. In particolare, per ogni fornice sono state identificate:

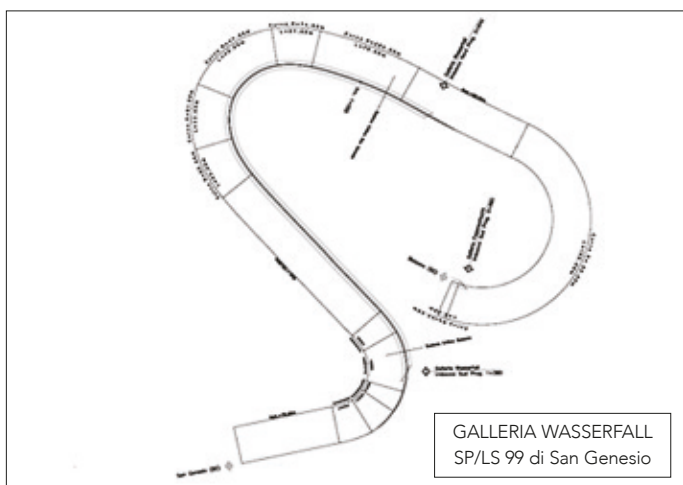
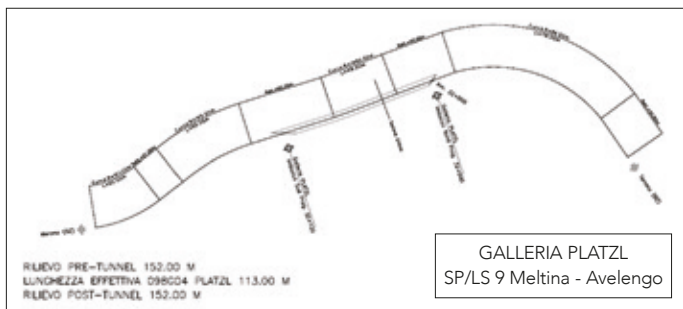
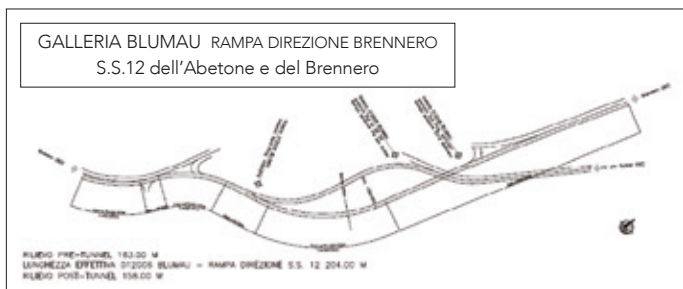
- una polilinea di asse della pavimentazione, linea di divisione fra le corsie stradali;
- due polilinee di margine destro e sinistro, laddove presenti;
- due polilinee di riferimento del gabarit poste ad una distanza di 2,75 m dalla polilinea di asse stradale.

Infine, come richiesto dal Committente, sono stati forniti per ogni fornice i seguenti prodotti:

- planimetria completa di raggi di curvatura: un file per ogni fornice in formato DWG e PDF contenente la planimetria in formato 2D con identificati i raggi di curvatura, gli imbocchi e il punto della sezione critica (Figure 9A, 9B e 9C);



7. Una nuvola di punti 3D della galleria Narano sulla S.S. 238 "delle Palade"



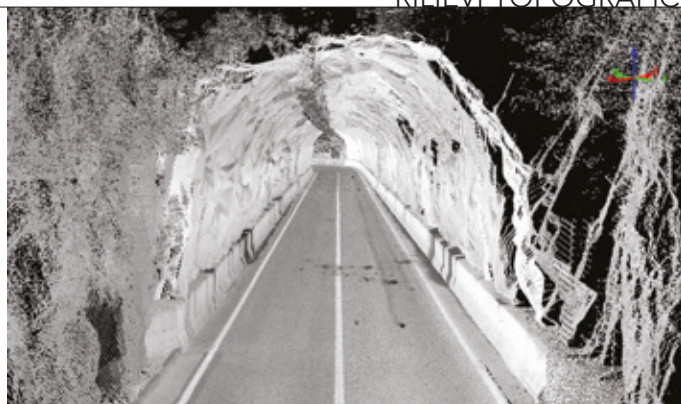
9A, 9B e 9C. L'andamento planaltimetrico

- profilo longitudinale: un file per ogni fornice in formato DWG e PDF contenente il profilo longitudinale con individuazione delle quote riferite al geoido, degli imbocchi e della sezione critica (Figura 10);
- sezione critica e pendenza trasversale: un file per ogni fornice in formato DWG e PDF contenente la sezione critica relativa al fornice stesso (Figure 11 e 12).

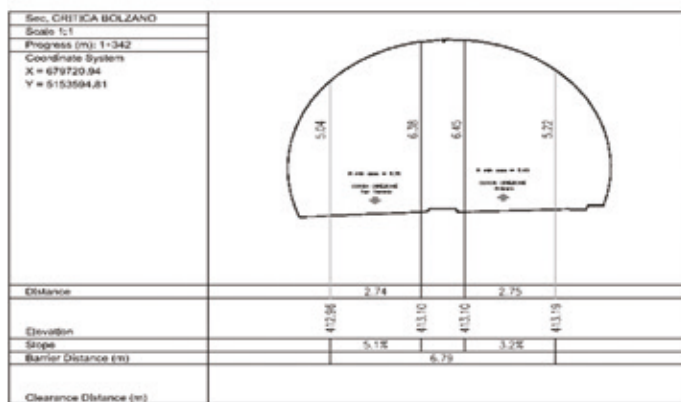
CONCLUSIONI

L'esperienza condotta mediante tecnologia Laser Mobile Mapping nel rilievo delle gallerie stradali si è dimostrata efficace, preziosa e funzionale alle esigenze specifiche dell'Amministrazione Provinciale.

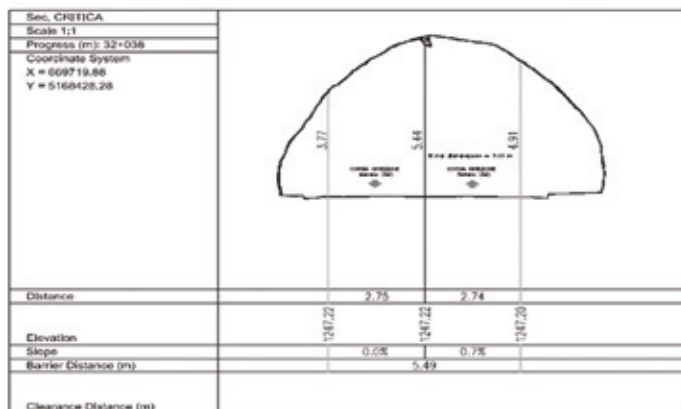
L'alta produttività del rilievo, la completezza e la precisione del dato fornito, unitamente alla possibilità di annullare le interferenze con l'esercizio, hanno reso e rendono questa metodologia una più che valida alternativa alle tradizionali metodiche di rilevamento topografico, le quali richiedono tempistiche sensibilmente maggiori e comportano l'occupazione della sede stradale con conseguenti problemi per la sicurezza dell'esercizio.



10. Il profilo longitudinale



11. La sezione trasversale critica galleria 99G02 - S.P. "San Genesio"



12. La sezione trasversale critica della galleria 98G04 sulla S.P. 98 "Meltina-Avelengo"

Infine, la modellazione georiferita 3D dell'infrastruttura stradale - dalla piattaforma alle opere civili ad essa afferenti - ottenibile da questa tecnologia è tale da poter essere nativamente appoggiata su mappe foto-cartografiche, così da permettere all'Ente Gestore di avere a disposizione dati ad alta risoluzione, precisione e con elevato contenuto informativo, di interesse per la gestione ordinaria dell'infrastruttura, per l'ingegneria della manutenzione e, infine, per la particolarmente efficace per la formazione di Banche Dati georiferite. ■

(1) Ingegnere del Servizio Strade della Ripartizione 12 della Provincia Autonoma di Bolzano
 (2) Ingegnere della Direzione Produzione di Sina SpA
 (3) Ingegnere della Direzione Commerciale di Sina SpA



SINA

www.sina.it

INGEGNERIA DEL CONTROLLO

SINA, leader nel settore dell'ingegneria del controllo, esegue rilievi diagnostici di tunnel stradali e ferroviari basati su tecnologie non distruttive ad alto rendimento, finalizzati alla classificazione e monitoraggio approfondito delle difettosità dell'opera, alla redazione di dettagliati piani di assessment, compresa la definizione finale delle azioni manutentive più appropriate.

- Rilievi Georadar e Controlli non Distruttivi
- Verifiche Geometriche, di Gabarit e di Transitabilità
- Rilievi dinamici Laser & Visual RGB
- Termografia Diagnostica
- Visite di Sorveglianza ed Approfondite

