

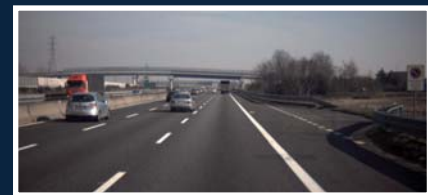
Scansione georiferita da Piacenza a Modena

spea | ingegneria
autostrade | europea



SINECO

**SINECO
LASERTECH**



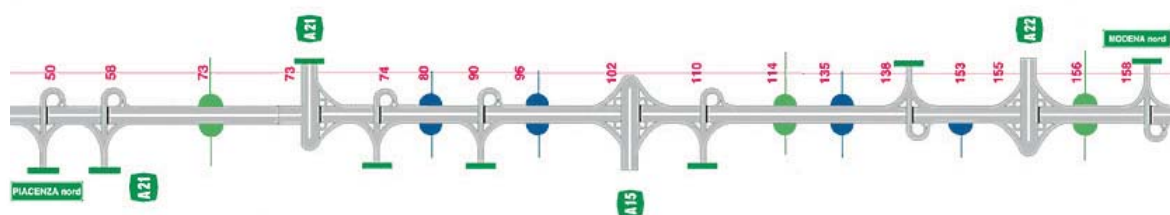
Rilievi Laser

Scansione georiferita da Piacenza a Modena

SPEA HA VERIFICATO, IN VIA SPERIMENTALE, IL SISTEMA LYNX MOBILE MAPPER QUALE METODOLOGIA PER IL RILIEVO TOPOGRAFICO A SUPPORTO DELLA PROGETTAZIONE DI INFRASTRUTTURE STRADALI. IL CAMPO DI PROVA È CONSISTITO NEL RILIEVO DEI QUATTRO CIGLI DELLA PAVIMENTAZIONE ESISTENTE NEL TRATTO DELL'AUTOSTRADA A1, COMPRESO FRA PIACENZA SUD E MODENA NORD, PER IL QUALE È PREVISTO - A BREVE - L'AMPLIAMENTO DELL'ATTUALE CARREGGIATA ALLE QUATTRO CORSIE.

Angelo Iorio
Ingegnere
"Ufficio Infrastrutture di Trasporto"
Spea Ingegneria Europea SpA

Sergio Rossi
Ingegnere
"Area Sviluppo Nuove Iniziative"
Sineco SpA



Il presente articolo illustra il rilievo, eseguito mediante tecnologia Lynx Mobile Mapper, della tratta autostradale "Piacenza Sud-Modena Nord" dell'A1, ed il *post processing* dei dati al fine di acquisire gli elementi necessari alla progettazione preliminare dell'ampliamento a quattro corsie dell'attuale carreggiata.

Le specifiche di acquisizione e restituzione dei dati, imposte dal progettista - Spea Ingegneria Europea SpA - hanno riguardato la restituzione dei cigli esterni e centrali della carreggiata esistente. In particolare, per quanto attiene ai cigli interni, è stata richiesta la restituzione delle polilinee vettoriali 3D del piede del *New Jersey* e, in presenza di canaletta, anche del ciglio della pavimentazione bituminosa; mentre per quanto attiene al ciglio esterno è stata richiesta la restituzione delle polilinee del ciglio pavimentazione bituminosa ed, in presenza di barriera tipo *guard rail*, anche la polilinea rappresentante la proiezione a terra dell'onda della barriera stessa.

Quale sistema di riferimento assoluto è stata richiesta la proiezione cartografica Gauss-Boaga (Datum Roma 40) con precisioni del dato piano altimetrico (x, y) tale da ga-

rantire un errore massimo contenuto in 2 cm ed in z un errore massimo inferiore a 4 cm. In aggiunta alla restituzione delle polilinee, è stata consegnata la "Nuvola di Punti" (circa 500 punti misurati a metro quadrato di superficie per un totale di oltre 2 miliardi di punti) in formato ASCII e Las, nonché il filmato video ad alta definizione dell'intero tracciato autostradale rilevato. Inoltre, altra fondamentale caratteristica del rilievo è stata l'acquisizione dei dati in poche ore, senza interruzione del traffico, con minime interferenze sull'esercizio e massima sicurezza operativa.



1. Lynx Mobile Mapper Sineco

Autostrade

LA TECNOLOGIA LYNX MOBILE MAPPER

Il Lynx Mobile Mapper è un sistema di rilievo *laser scanner* implementato su autoveicolo, che permette di eseguire la scansione georiferita delle infrastrutture e del territorio in modalità dinamica, raggiungendo velocità di operativa anche di 100 chilometri ora. Il Lynx permette infatti di rilevare in movimento il territorio ricostruendo, in tempo reale, infrastrutture e ambiente circostante: da qui la modellazione 3D e l'estrazio-

ne delle più disparate informazioni tra cui sezioni, curve di livello, dimensioni degli oggetti, e così via. Ricordiamo il suo funzionamento in breve: 2 sensori Lidar di ultima generazione, posizionati sul *top* del veicolo, emettono raggi *laser* con una frequenza di 200.000 impulsi al secondo, ruotando ad una velocità di 9000 rotazioni al minuto. I raggi *laser* vengono riflessi dagli oggetti presenti in una fascia di larghezza pari ad oltre 200 metri e quindi letti da un ricevitore che ne misura la distanza. L'insieme dei punti così misurati ri-

SPECIFICHE TECNICHE DELLA STRUMENTAZIONE



Il Lynx Mobile Mapper è costituito dai seguenti moduli, tra loro integrati ed installati su una piattaforma (fig. 2) posizionata sul tetto del veicolo; qualora necessario, l'insieme può all'occorrenza essere trasferito con facilità su altri mezzi operativi. Vediamo nel dettaglio le singole componenti di questa potente e versatile strumentazione.

Modulo POS di Posizionamento ed Orientamento

Si tratta del sistema POS LV-420 della Applanix, in grado di garantire notevoli precisioni anche a velocità di acquisizione sostenute. Il modulo è formato da tre sistemi: un sistema di navigazione satellitare (GPS), da un sistema inerziale (IMU) e da un odometro di precisione (DMI). L'IMU (fig. 3) è costituito da tre accelerometri e tre giroscopi che misurano accelerazioni e velocità angolari con le quali determinare, istante per istante, la traiettoria e l'assetto del veicolo (posizione, velocità, accelerazione, orientamento e rotazione). La frequenza di acquisizione dei dati di posizionamento della IMU è di 200 Hz, ciò significa per esempio che, ad una velocità di 80 km/h, fornisce un dato ogni 11 cm. L'integrazione in continuo dei due sistemi (IMU+GPS) consente di sopperire all'eventuale perdita del segnale inviato dal satellite e di mantenere costantemente livelli di elevata accuratezza nella misura della posizione in ogni condizione operativa. L'odometro (fig. 4) è in grado di restituire 1800 impulsi per giro, con una precisione migliore del 0,2%. L'unità centrale (PCS) integra i tre sistemi utilizzando l'algoritmo di Kalman che ottimizza i dati disponibili dal sistema, sia come previsione di posizione tramite l'IMU (aggiornato continuamente dal GPS) sia come calcolo di migliore accuratezza della posizione prefissata dal modello dinamico del siste-

ma. Con coperture satellitare ottimale, si giunge ad una precisione planimetrica (X,Y) pari a 0,05 metri e ad un errore massimo della quota (Z) inferiore a 0,15 metri.

Modulo Laser Scanner

È formato da due sensori laser LIDAR (Light Detection and Ranging) prodotti dalla canadese Optech (fig. 5), società leader mondiale nella produzione di sensori laser per rilievi aerei e terrestri. Ognuno dei due sensori laser ha le seguenti caratteristiche:



• Velocità di rotazione	9000 giri/minuto
• Precisione misura	±7 mm (1 sigma)
• Risoluzione spaziale	fino a 1 cm a 50 km/ora
• Portata	>100 metri (con 20% riflettività)
• Angolo di scansione	360 gradi
• Numero shot	200.000 al secondo
• Misure per ogni punto	fino a 4 simultaneamente
• Temperatura operative	da - 20 °C a + 40 °C
• Sicurezza alla vista	IEC/CDRH Classe 1, innocuo

Modulo Video

Il modulo può essere configurato, in funzione della finalità del rilievo, con un massimo di 5 telecamere ad alta risoluzione:

- n. 2 telecamere, una sul lato destro ed una su quello sinistro del veicolo; per una ripresa frontale;
- n. 2 telecamere, destra e sinistra, con angolo di ripresa di 45°, rispetto alla direzione di marcia;
- n. 1 telecamera sul lato destro con angolo di ripresa di 90°, rispetto alla direzione di marcia.

Il sistema consente sempre di impostare una frequenza minima di campionamento, permettendo così all'operatore di scegliere l'immagine di volta in volta più performante. Ogni fotogramma risulta georiferito nello spazio grazie ai dati forniti dal Modulo di Localizzazione POS. La configurazione delle telecamere può essere variata in funzione delle specifiche esigenze del rilievo.



- 2. Piattaforma
- 3. IMU
- 4. DMI
- 5. Sensore LIDAR

producono il territorio come "nuvola di punti" di elevata densità, ognuno dei quali risulta georiferito nello spazio secondo il sistema di coordinate WGS84. La georeferenziazione dei punti è permessa grazie all'interfacciamento dei sensori Lidar con un sistema di localizzazione di elevata performance - costituito dall'integrazione di un navigatore satellitare (GPS), un sistema inerziale (IMU) ed odometro di precisione (DMI) - in grado di determinare istante per istante l'assetto del veicolo e la sua traiettoria.

La densità di punti è funzione della velocità con cui si esegue il rilievo e può variare da 1.000 a 4.500 punti a metro quadrato di superficie stradale, rispettivamente per velocità di 40 e 10 km orari.

Altra caratteristica fondamentale del sistema Lynx è che i *laser* installati sono di Classe 1 e dunque garantiscono la totale sicurezza alla vista, consentendo di poter operare anche in contesti antropizzati quali ambiti urbani, siti produttivi, ecc. senza necessità di nessuna cautela. Le specifiche tecniche del sistema Lynx Mobile Mapper sono riportate nel *box* alla pagina precedente.

LE FASI ATTUATIVE

L'espletamento del servizio si è articolato (fig. 6) in diverse fasi che hanno interessato i seguenti aspetti:

- il "Progetto della Missione", comprensivo delle attività preliminari al rilievo Laser Scanner su strada, tra cui la definizione a cura di Spea dei Ground Control Point;
- il "Rilievo Laser Scanner", comprensivo delle attività di taratura e controllo del sistema di acquisizione;
- il "Preprocessamento" dei dati acquisiti in campagna;
- il "Processamento" finale dei dati con relativo output delle informazioni richieste dal Committente; ed, infine:
- il "Collaudo" a carico del Cliente, Spea, dei dati forniti.

Nel seguito viene fornita una descrizione sintetica delle singole fasi attuative.

Progetto della missione

In questa fase si è proceduto alla definizione delle attività propedeutiche al rilievo *laser scanner*. In particolare, anche a fronte dell'esperienza acquisita in precedenti servizi di pari natura, si è ritenuto opportuno ai fini del rilievo suddividere virtualmente la tratta autostradale Piacenza Sud e Modena Nord (199 km di carreggiata) in tre anelli consecutivi ovvero:

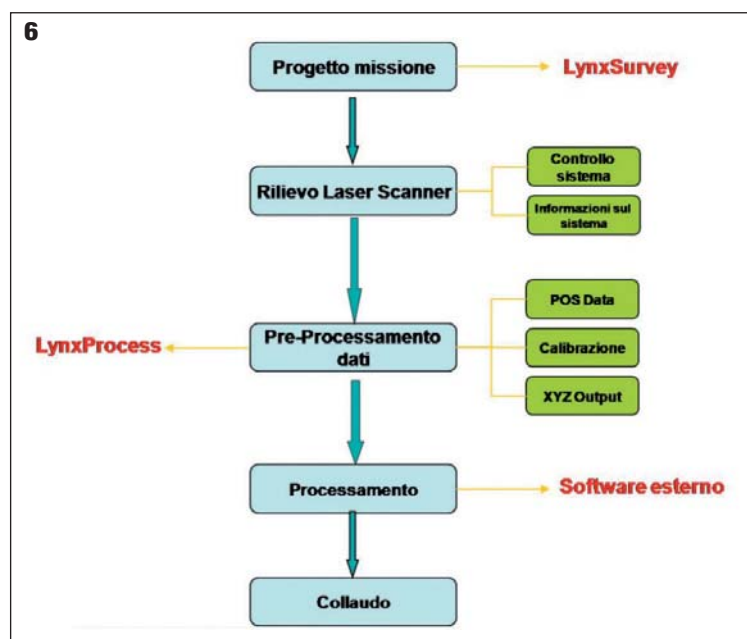
- 1° Anello: da Piacenza Sud a Parma Ovest-Interconnessione A15 e ritorno, per totali 87,8 Km di carreggiata;

- 2° Anello: da Parma Ovest-Interconnessione A15 a Reggio Emilia e ritorno, per totali 72,4 Km di carreggiata;

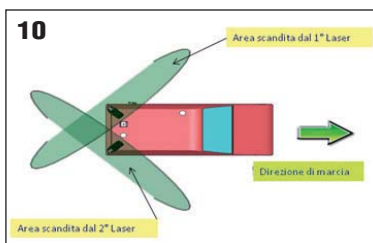
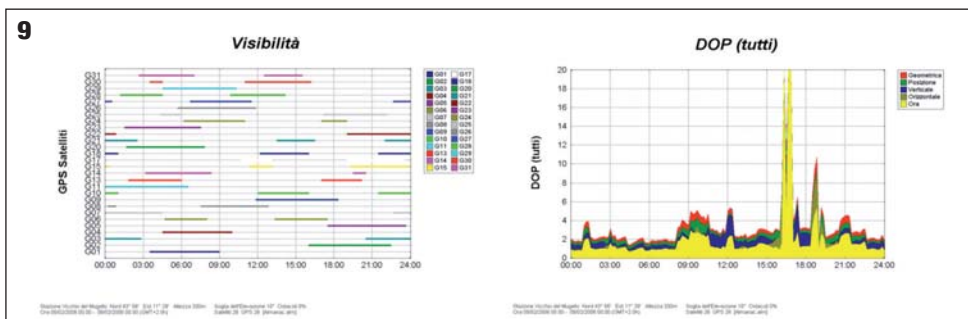
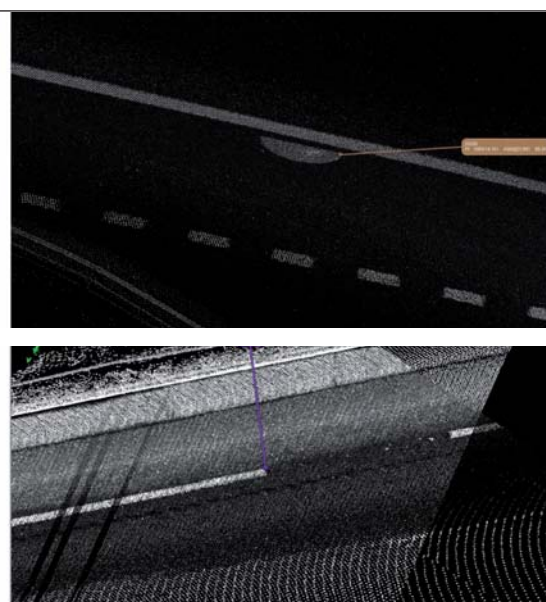
- 3° Anello: da Reggio Emilia a Modena Nord e ritorno, per totali 38.6 Km di carreggiata.

Oltre che per esigenze intrinseche al rilievo, la scelta è stata motivata dalla necessità di soddisfare le priorità della progettazione richieste dalla Committente Spea. Il progetto della missione è consistito inoltre nella definizione, da parte di Spea, dei punti di controllo a terra (Ground Control Point) di seguito GCP, con cui poter procedere, al termine del rilievo, all'appoggio di precisione dei punti *laser* acquisiti dal sistema Lynx. Tali punti di controllo sono stati materializzati a terra, ricavandone, per ciascuno, le coordinate geografiche con strumentazione GPS, in corrispondenza di punti fisici che fossero poi facilmente riconoscibili all'interno della "Nuvola di Punti" (*Point Cloud*) *laser* generata dal Lynx. Per ogni GCP è quindi stata redatta una scheda monografica (fig. 7) riportante la descrizione del punto, l'immagine fotografica, le coordinate (WGS84, UTM e Rettilinee), la quota ortometrica, ecc. Dal confronto delle coordinate geografiche di ogni singolo GCP con quelle del corrispondente punto individuato all'interno della "Point Cloud" si sono ottenuti i parametri di correzione con cui effettuare l'appoggio di precisione delle nuvole di punti (fig. 8). Quali punti di controllo a terra Spea ha deciso di assumere gli spigoli della segnaletica orizzontale del limite visibile in caso di nebbia a forma di "mezza luna", con una frequenza di 500-800 metri. Oltre alla realizzazione della rete di GCP, al fine di garantire le precisioni nel posizionamento as-

6. Workflow Operativo



7		AUTOSTRADA - PIACENZA SUD - PARMA	
PUNTI APPOGGIO RILIEVO CIGLI		PF	2029S
		Descrizione Spigolo segnaletica orizzontale del limite visibile in caso di nebbia a forma di mezza luna, in corrispondenza della progressiva Km 20+140.	
COORDINATE			
COORDINATE WGS 84			
Longitudine		10° 12' 29.8106"	
Latitudine		44° 52' 12.1019"	
Quota ell.		85,243 m	
COORDINATE RETTILINEE			
X		Y	
9603182.505		3197499.074	
COORDINATE UTM (FUSO 32)			
East		Nord	
995419.741		499223.891	
Quota ortometrica			
PP		46,652 m	
PP piano di (paragono)			
0,000			
			



7. Scheda monografica tipo per GCP

8. Foto e corrispondente immagine laser di GCP

9. Grafici previsionali

10. Schema scansione

solo richieste da Spea, sono state fissate n° 6 Base Station, 2 per ogni anello, con cui poter effettuare la correzione differenziale DGPS del dato satellitare acquisito dalla stazione Rover solidale al veicolo. Le informazioni previsionali circa le coperture satellitari hanno permesso di ottimizzare la copertura satellitare durante il rilievo, sia in termini di numero di satelliti presenti (almeno 5, con PDOP massimo di 4) sia in termini di loro elevazione. Nella fig. 9 sono riportate alcune immagini del programma di pianificazione che è stato impiegato ed in particolare l'almanacco dei satelliti con la previsione mondiale, la previsione di visibilità in relazione all'ora ed il grafico previsionale dei DOP-Dilution of Precision.

Rilievo Laser Scanner

Il Lynx Mobile Mapper ha permesso di semplificare enormemente la fase esecutiva del rilievo e soprattutto di non creare grosse interferenze con il traffico veicolare presente. All'inizio della sessione di misura, l'intero sistema (telecamere, GPS, odometro, piattaforma inerziale, laser-scanner) alloggiato nel veicolo, è stato sottoposto a calibrazione e taratura secondo le specifiche riportate nel Manuale della Qualità aziendale (ISO 9001).

La fase di acquisizione dei dati si è svolta percorrendo la tratta autostradale sulla corsia di marcia lenta e con l'istituzione di un cantiere in lento movimento messo a disposizione dal 2° e dal 3° Tronco di Autostrade per l'Italia, ad una velocità compatibile alle condizioni reali di traffico che di volta in volta si verificavano; la velocità media di acquisizione è stata di circa 50 km orari sull'intera tratta di carreggiata (199 km).

In fig. 10 è riportato lo schema con cui il sistema Lynx ha realizzato la scansione laser dell'infrastruttura e del territorio circostante: i 2 sensori laser, ruotando su stessi ad una velocità di 9000 rotazioni al minuto, emettevano 200.000 impulsi laser al secondo, descrivendo così aree di scansione circolari di raggio pari ad almeno 100 metri; i 2 sensori laser hanno permesso dunque di rilevare una larghezza complessiva pari ad almeno 200 metri (100 metri a destra e 100 metri a sinistra rispetto la traiettoria).

Si fa notare come le due superfici circolari di acquisizione siano disposte a 45° rispetto alla direzione di marcia del Lynx e come esse non siano perfettamente ortogonali alla superficie stradale, ma leggermente inclinate in avanti di un angolo di 20°.

Questa particolare disposizione dei sensori permette di ridurre sensibilmente le zone d'ombra, ovvero le zone non colpite dagli impulsi laser, di poter "leggere" le superfici verticali degli oggetti posti trasversalmente alla carreggiata stradale (sovrappassi, portali, autogrill, ecc.) e di minimizzare le interferenze prodotte dal traffico (la stessa zona è misurata dai due sensori laser in momenti temporali diversi).

Il numero di punti laser per unità di superficie (densità) è un dato variabile, funzione della velocità con cui

si effettua il rilievo. Sulla pavimentazione stradale ed alla velocità di rilievo media di 50 km orari, la densità media ottenuta in senso trasversale alla carreggiata è stata di circa 400 punti a metro quadrato di superficie, portandosi ad oltre 1000 punti a metro quadrato sulla zona più vicina al veicolo. In totale sono stati rilevati oltre 2 miliardi di punti, ognuno dei quali caratterizzato da una terna di coordinate WGS84 e dal dato I relativo all'intensità del raggio laser riflesso.

Durante il rilievo venivano acquisite le posizioni GPS del veicolo, integrandole con le informazioni raccolte dalla piattaforma inerziale e dall'odometro.

I sofisticati strumenti di bordo del veicolo Lynx hanno consentito di monitorare in tempo reale, durante tutto il periodo del rilievo, i parametri che condizionano di fatto il calcolo della traiettoria del mezzo, come ad esempio la copertura satellitare, il DOP ed è stato così possibile sospendere e/o ritardare il rilievo ogni qualvolta ci si avvicinava al valore limite del PDOP. La tabella sottostante indica le principali informazioni e dati ottenuti dal rilievo Lynx.

DETTAGLI DEL RILIEVO LASER

Ubicazione A1-Tratta Piacenza Sud-Modena Nord

Date esecuzione rilievo 16-20 Marzo 2009

Numero Corsie 6

Sviluppo complessivo rilevato 199 km di carreggiata

Ore di rilievo 6 ore effettive

Numero di Punti oltre 2 miliardi

Velocità media del rilievo 50 km orari

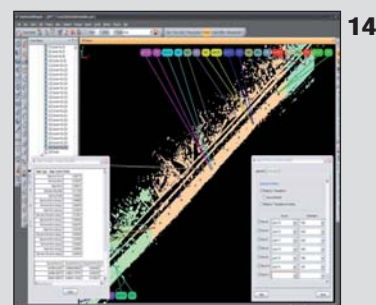
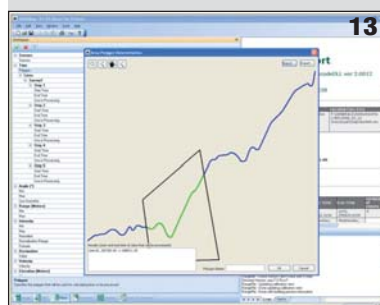
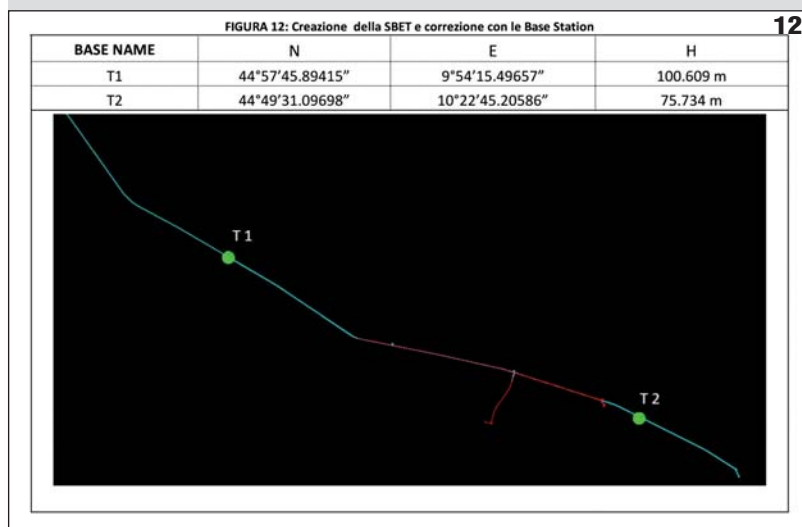
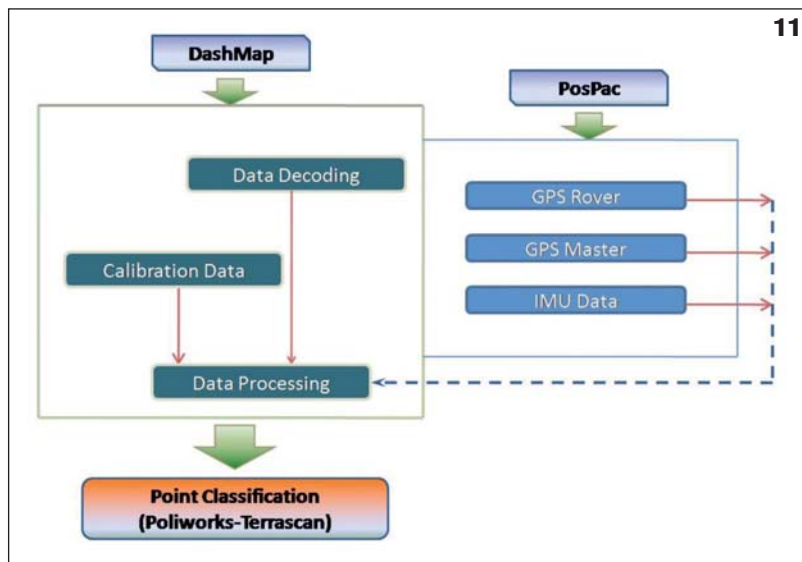
Spaziatura media dei punti laser 3-5 cm

Ubicazione del rilievo e acquisizione del dato Dalla corsia di marcia lenta

Pre-processamento dei dati

Al ritorno dalla missione i dati acquisiti sono stati sottoposti ad un pre-elaborazione, secondo lo schema riportato in fig. 11, utilizzando specifici applicativi. In particolare, dopo aver estratto i dati dal sistema, si è proceduto tramite il Sw POS-PAC della Applanix alla ricostruzione del tracciato georiferito compiuto dal veicolo durante il rilievo. L'integrazione dei dati GPS (*Master e Rover*) con i dati della piattaforma inerziale (IMU) e dell'odometro (DMI), ha permesso con il supporto di un filtro di "Kalman" di ricostruire in modo continuo la traiettoria 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 di posizionamento delle Base Station (fig.12).



Dopo la ricostruzione della traiettoria, si è eseguito mediante specifico applicativo (DashMap), il *processing* dei dati *laser*, integrandoli con le informazioni sul posizionamento, secondo il sistema GPS, del veicolo ed ottenendo così come risultato la "Point Cloud" georiferita (fig. 13).

Una volta generata la "Point Cloud" georiferita si è proceduto all'appoggio a terra utilizzando i GCP (*Ground Control Point*). La precisione ottenuta è stata centimetrica e rispondente alle specifiche tecniche impartite da Spea (fig. 14).

11. Work Flow Pre-Processamento

12. Creazione della SBET e correzione con le Base Station

13. Schermata del Sw DashMap

14. Sw Poliworks relativa ad un tratto

Processamento dei Dati

Il processamento dei dati è avvenuto tramite routine messe a punto da Sineco (fig. 15) e finalizzate all'estrazione automatica e semi-automatica delle "feature" di interesse che, nel caso oggetto, del servizio sono consistite in:

- polilinee 3D del piede del New Jersey e del ciglio della pavimentazione bituminosa, in coordinate WGS84 e successiva trasformazione nel sistema di riferimento Gauss Boaga (fig. 16);
- nuvola di punti semplificata, del solo oggetto "strada" riportante, per ogni punto, oltre alle coordinate geografiche (X,Y,Z) l'intensità (I) del raggio riflesso;
- filmato video frontale del tracciato autostradale percorso dal veicolo (fig. 17).

La verifica dei Dati da parte di Spea

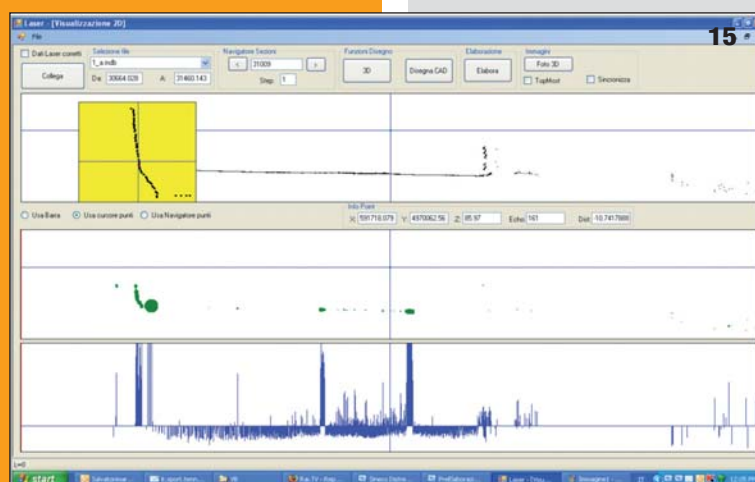
La verifica è stata effettuata mettendo a confronto i dati acquisiti con metodologia Lynx Mobile Mapper con

quelli in precedenza acquisiti con metodologia tradizionale, in particolare sono stati rilevati i quattro cigli della piattaforma autostradale esistente per circa km 17,5 del tratto Parma Interconnessione A15-Reggio Emilia.

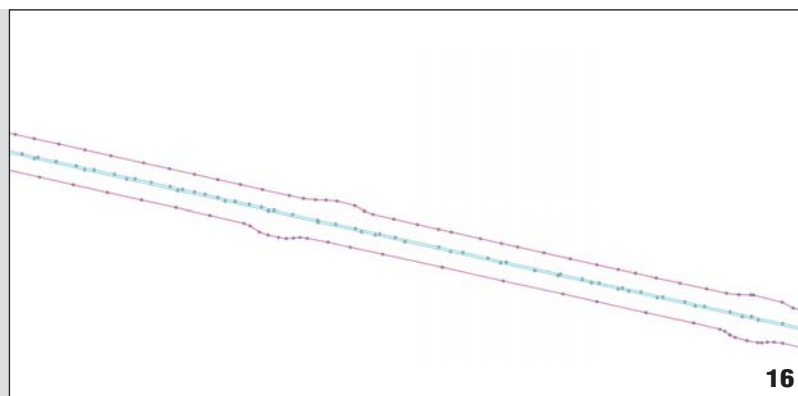
Dall'analisi comparativa dei dati si è potuto verificare che, all'interno dell'area di collaudo, la differenza altimetrica tra le due metodologie di rilievo si è mantenuta sotto i 4 centimetri, mentre le differenze planimetriche sono risultate pressoché trascurabili.

In definitiva si può concludere che la metodologia di rilievo Lynx Mobile Mapper si è dimostrata adeguatamente accurata permettendo inoltre di operare senza interruzione della viabilità, garantendo inoltre minime interferenze con il traffico e massima sicurezza operativa.

I costi aggiunti al rilievo sono stati eliminati in quanto non si è dovuto ricorrere a chiusure parziali e/o totali di corsie e a lavorazioni notturne.



15. Elaborazione dati laser per estrazione polilinee



16

16. km 121+135 Tratto polilinea 3D in formato dwg



17a

17. Immagine Laser e corrispondente fotografia



17b

ULTERIORI POSSIBILI APPLICAZIONI DEL SISTEMA LYNX

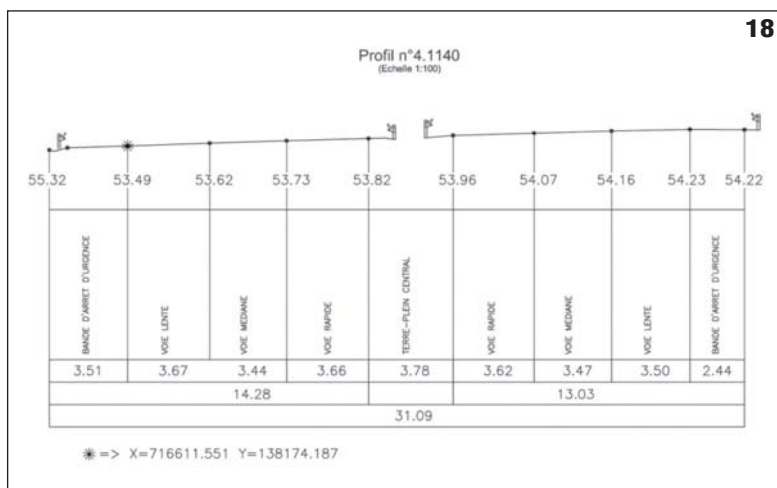
Il risultato della scansione effettuata dal Lynx è un modello completo, costituito da "nuvole di punti" georiferiti dell'infrastruttura e delle fasce laterali per una larghezza di circa 200 metri, dal quale è possibile estrarre molte altre informazioni geometriche sia relative alla piattaforma stradale (raggi di curvatura, pendenze, deformazioni del piano stradale, ecc.), sia all'arredo (barriere di sicurezza, barriere acustiche, shelter, ecc.). Tutto ciò rappresenta un sostanziale valore aggiunto rispetto alle normali e tradizionali tecniche di acquisizione topografica che, di contro, prevedono di volta in volta l'acquisizione mirata del dato in funzione delle specifiche esigenze.

Si forniscono alcuni esempi relativi alle possibili ulteriori informazioni desumibili dal rilievo Lynx Mobile Mapper, tra cui:

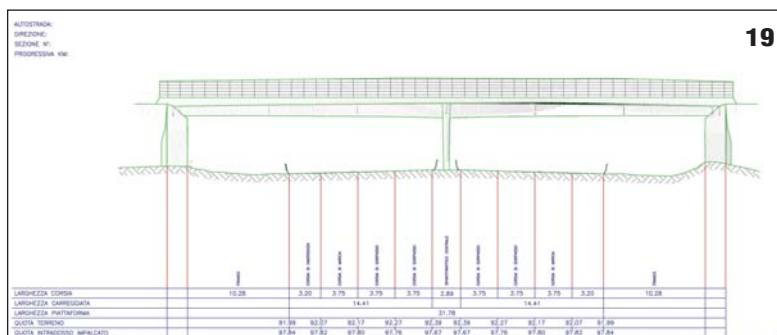
- Estrazione di sezioni trasversali della sede stradale ad ogni progressiva con possibilità di importazione in ambiente CAD (fig. 18);
- Sezioni stradali in corrispondenza di attraversamenti (fig. 19) e verifiche delle altezze utili;
- Generazione di modelli 3D delle opere d'arte (figg. 20-21).

CONCLUSIONI

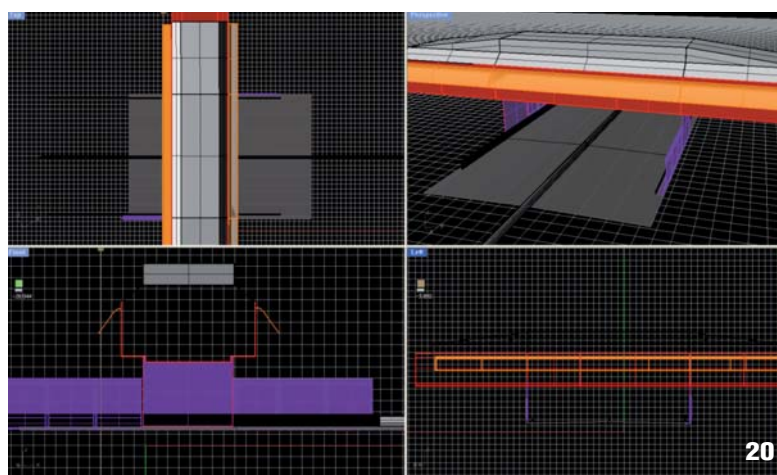
L'alta produttività del rilievo, la completezza e la precisione del dato fornito, l'assenza di interferenza con il traffico unitamente alle garanzie offerte in termini di sicurezza stradale fanno sì che il "Mobile Mapping" con tecnologia laser rappresenti a tutti gli effetti una nuova metodologia di rilievo topografico impiegabile anche a supporto della progettazione di infrastrutture stradali. Come illustrato nel progetto pilota Spea-Sineco, le particolari caratteristiche tecniche di questa innovativa strumentazione hanno permesso di semplificare enormemente la fase esecutiva del rilievo della tratta autostradale della A1 e, nella fase di *post-processing*, di estrarre dalla "nuvola di punti" georiferiti i dati utili e necessari alla progettazione dell'ampliamento della carreggiata stradale. Il risultato della scansione effettuata dal Lynx è un modello completo dell'infrastruttura stradale e del territorio circostante dal quale è possibile ottenere in "post-processing" ed in qualunque momento, senza necessità di nuove attività di rilievo, le informazioni più disparate, sia di tipo geometrico che topografico, fino alla realizzazione di modelli digitali 3D delle infrastrutture e delle relative opere d'arte. ■■



18. Sezione tipo: digitalizzazione dei dati laser



19. Sezione in corrispondenza di sovrappasso autostradale



20. A1 - Modellazione Autogrill di Fiorenzuola

