

## Metodi e sistemi per la gestione delle reti stradali. Nuove tecnologie per l'acquisizione e distribuzione dei dati caratteristici dello stato di servizio e sicurezza delle pavimentazioni e delle reti stradali

### Marco Garozzo

Direttore centrale produzione di Sineco spa, Presidente del Comitato Tecnico Aipcr a1

### Michele Mori

Direttore area operativa sperimentale di Sineco spa, Membro del Comitato Tecnico Aipcr d2 - b

### Sergio Rossi

Direttore commerciale di Sineco spa, Membro del Comitato Tecnico Aipcr d2

Nella disponibilità crescente di tecnologie utilizzabili per effettuare rilievi stradali, geometrici ed ispettivi, 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.

L'articolo illustra due nuovi sistemi tecnologici, il Mobile Laser Scanner e il Laser Road Imaging System, il primo finalizzato all'acquisizione 3D dell'infrastruttura, il secondo al rilievo dello stato conservativo della pavimentazione stradale e della loro possibile integrazione a sostegno della fruibilità del dato di campagna per scopi di gestione e di supporto alla progettazione della strada.

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 montati su veicoli ordinari, dotati di sistema di posizionamento assoluto, e tali da risultare, nella conduzione del rilievo stesso, trasparenti all'utenza dell'infrastruttura e, pertanto, di nessun intralcio alla circolazione.

Il vantaggio dell'acquisizione senza soluzione di continuità si sposa con un'assoluta comparabilità della precisione e accuratezza con quelle ottenibili con un rilievo tradizionale; ancora, nel caso delle tecnologie applicate all'ispezione delle pavimentazioni, l'oggettività del rilievo rapportata alla

semplice ispezione visiva, risulta assai più qualificante per l'analisi successiva del dato ai fini della valutazione dello stato di esercizio della infrastruttura. Accanto a queste nuove tecnologie di acquisizione corrono ormai da tempo sviluppi software atti a creare opportuni contenitori (Data Base) collegati a sistemi GIS, per "accogliere" l'informazione dedotta dal dato laser restituito e delle immagini della pavimentazione.

La disponibilità di informazioni spinge così a creare applicazioni che vanno sotto il generico nome di "asset management system", ovvero di gestione del bene qui inteso come infrastruttura, che si prestano dapprima ad archiviare e mantenere il dato di campagna georiferito e poi a renderlo, grazie agli sviluppi della information technology e a software proprietari (ESRI, ecc.) o pubblici (Google), sempre disponibile per le più disparate esigenze che vanno dall'ausilio alla progettazione, alla ideazione di strategie manutentive ad hoc, piuttosto che alla quotidiana gestione dell'infrastruttura.

**Il Mobile Laser Scanner** - Grazie allo sviluppo e produzione di nuovi apparati laser, di sistemi di posizionamento POS ed all'accresciuta potenza e capacità dei moderni calcolatori, sono state messe a punto negli ultimi anni tecnologie di scansione laser dinamica per applicazioni sia a fine progettuale sia per il monitoraggio e valutazione dello stato di servizio e sicurezza delle infrastrutture. Nello specifico, introduciamo il Lynx Mobile Mapper (Fig.1), Laser Scanner di ultima generazione appositamente

progettato ed ottimizzato per utilizzo su veicolo, grazie al quale è stato possibile effettuare in Italia le prime applicazioni di “laser scanning” dinamico in ambito stradale.



Fig. 1 Lynx Mobile Mapper

Questa tecnologia, disponibile solo dal 2008, permette di effettuare in modo rapido misure georiferite per mezzo di un POS LV420 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 metri.

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.

il Lynx utilizza due sensori Lidar che ruotando ad una velocità di 12.000 rpm, ciascuno con frequenza di acquisizione di 200 kHz, consentono di effettuare misure con densità di punti variabile da 1.000 a 4.500 punti a metro quadrato di superficie stradale in funzione della velocità con cui si esegue il rilievo.

La velocità operativa può arrivare ad un massimo di 100 km/h, tuttavia l’optimum tra densità dei punti risultante e rapidità di rilievo, assesta la produttività a

non meno di 200 km/giorno (una persona su singolo turno per complessive 8 ore di lavoro). Con un ulteriore minimo impegno di elaborazione, viene resa poi disponibile la nuvola di punti laser georiferiti con un contenuto informativo di 16 Gigabyte. 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.

Le applicazioni del laser scanner dinamico si configurano come veri e propri prodotti derivati via post-processing della nuvola (Fig.2). Si possono infatti estrarre sezioni, profili trasversali e longitudinali, effettuare misure con precisione sub centimetrica di ogni dettaglio stradale (altezza e forma guardiavia, franchi, altezza/distanza muri, pendenze, depressioni e deformazioni del piano stradale, etc.).



Fig. 2 Laser Point Cloud

Si illustra una specifica esperienza di rilievo topografico dinamico condotto sulla tratta Piacenza Sud – Modena Nord dell’Autostrada A1 (ca. 200 km) al fine di acquisire gli elementi necessari alla progettazione preliminare dell’ampliamento a quattro corsie dell’attuale carreggiata.

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 i dati della piattaforma inerziale (IMU) e dell’odometro (DMI). Utilizzando il filtro di “Kalman” è stata data continuità

alla traiettoria e ricavata la SBET (Smoothed Best Evaluation Trajectory). Quindi, si è eseguito mediante specifico applicativo (DashMap), il processing dei dati laser, integrandoli con le informazioni sul posizionamento del veicolo ottenendo così come risultato la "Point Cloud" georiferita.

Nello specifico, a fronte di 6 ore effettive di rilievo, sono stati rilevati oltre 1 miliardo di punti ognuno dei quali caratterizzati da una terna di coordinate WGS84 e dal dato relativo all'intensità del raggio laser riflesso. Durante il rilievo sono state acquisite le posizioni GPS del veicolo, integrandole con le informazioni raccolte dalla piattaforma inerziale e dall'odometro.

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 progettuali. 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 in:

- Polilinee 3D del piede del New Jersey e del ciglio pavimentazione bituminosa, in coordinate WGS84 e successiva trasformazione nel sistema di riferimento Gauss Boaga;
- 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.

La verifica dei dati è stata effettuata confrontando i dati ricavati con metodologia laser scanner dinamico con quelli acquisiti con metodologia topografica tradizionale: la differenza altimetrica tra le due si è mantenuta sotto i 4 cm, mentre le differenze planimetriche sono risultate trascurabili. In definitiva, l'esperienza qui descritta testimonia la competitività per accuratezza e precisione del rilievo topografico laser scanner dinamico rispetto alle tecnologie tradizionali e ne sottolinea l'assoluta peculiarità in tema di flessibilità e rapidità di applicazione. Difatti, nessuna interruzione del traffico e/o restrizione di

carreggiata ha gravato, eseguendo il rilievo, sulla scorrevolezza della ordinaria circolazione.

Ulteriori applicazioni della tecnologia di laser scanner dinamico sono:

- ✓ Estrazione di sezioni trasversali della sede stradale ad ogni progressiva metrica;
- ✓ Rappresentazioni della superficie stradale mediante curve di livello (Fig.3);

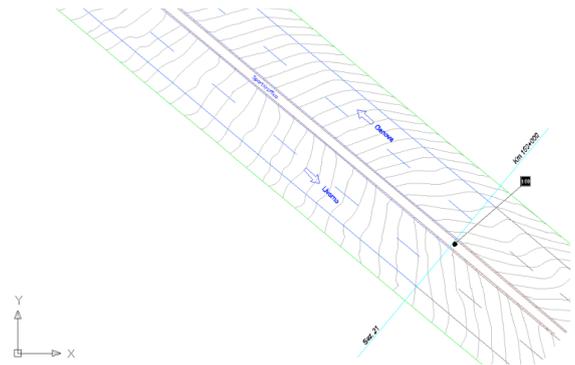


Fig. 3 Lynx application: contour lines

- ✓ Verifiche delle zone a potenziale accumulo d'acqua;
- ✓ Sezioni stradali in corrispondenza di attraversamenti e verifiche delle altezze utili (gabarit);
- ✓ Generazione di modelli 3D delle opere d'arte e della rete stradale;
- ✓ Verifica della conformità della segnaletica orizzontale;
- ✓ Rilievo delle pertinenze stradali (Fig.4);

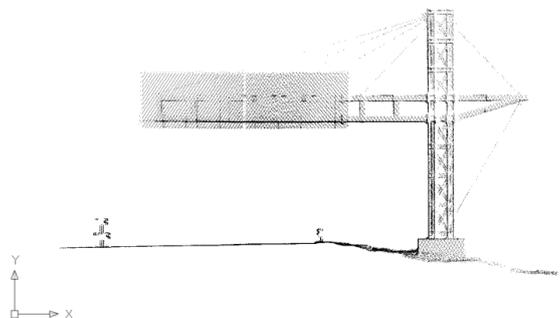


Fig. 4 Lynx application: point cloud of a highway rack

Caratteristiche di regolarità e, in particolare, eventuali difetti di configurazione del piano viabile;

- ✓ Tracciato plano-altimetrico, caratteristiche dimensionali della piattaforma (ecc);
- ✓ Grafo stradale e Catasto delle Strade (D.M.01.06.2001);

Il dato collezionato dal laser scanner dinamico risulta sempre georiferito e interfacciabile con basi cartografiche. Sulle medesime basi cartografiche è oggi possibile calare anche altre informazioni come ad esempio quelle relative allo stato di ammaloramento della pavimentazione funzionali ad analisi di tipo PMS (Pavement Management System) desumibile da immagini ortopiane ad altissima risoluzione della superficie del piano stradale.

Il monitoraggio delle condizioni di ammaloramento superficiale delle pavimentazioni, come noto, riveste un ruolo di notevole importanza nell'analisi della qualità funzionale di una rete stradale, influenzando in modo sostanziale gli standard prestazionali e di sicurezza dell'infrastruttura.

Il rilievo delle condizioni superficiali delle pavimentazioni comporta l'identificazione, la classificazione e la quantificazione di diverse tipologie di degrado, come ad esempio lo stato fessurativo, l'ormaiamento, i corrugamenti superficiali, ecc., operazioni queste che, se condotte in maniera tradizionale, risultano complesse, poco oggettive e notevolmente rischiose in quanto impattanti con il traffico veicolare.

Grazie ai recenti sviluppi tecnologici nel settore del monitoraggio con sistemi ad alto rendimento, anche in questo settore è oggi possibile ricorrere ad una nuova modalità di rilevamento dei dati di "distress" superficiale delle pavimentazioni che assicura tempi rapidi al processo di acquisizione ed immagazzinamento dei dati, razionalizzazione e completezza alle operazioni di post-processing degli stessi, annullando l'interferenza della fase di rilevamento con l'esercizio.

Tra questi sistemi ad alto rendimento annoveriamo, uno per tutti, il "**Laser Road Imaging System**" (LRIS), un dispositivo installabile su veicolo, ad

esempio l'ARAN (Automatic Road Analyzer-Roadware) che, opportunamente interfacciato con un sistema di posizionamento assoluto tipo Applanix POS LV420, consente di acquisire, con produttività 200 km/die, immagini georiferite ed ortopiane, ad alta definizione della pavimentazione stradale da cui ricavare i dati di ammaloramento espresso in termini di indice PCI (Pavement Condition Index) o di altri indici di stato.

Il sistema è dotato di due "camere digitali" (Fig.5) che, su una larghezza di 4,00 metri, effettuano una scansione lineare della superficie stradale con una frequenza massima di 28000 linee al secondo (1 linea al millimetro a 100 km/h) e con un numero di 4000 pixel per linea di scansione.



Fig. 5 LRIS: acquisition mode

Queste elevate caratteristiche consentono di ottenere un'immagine digitale geocodificata ad altissima risoluzione (dimensione del pixel di 1mm<sup>x</sup>1mm) e quindi di poter intercettare anche fessurazioni di grandezza millimetrica (Fig.6).

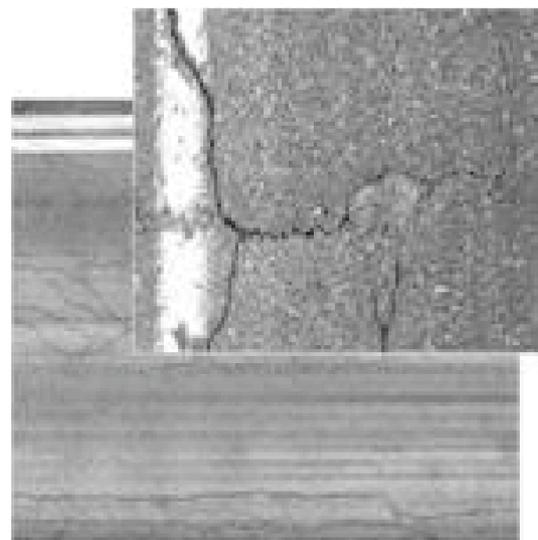


Fig. 6 LRIS: high definition image capture

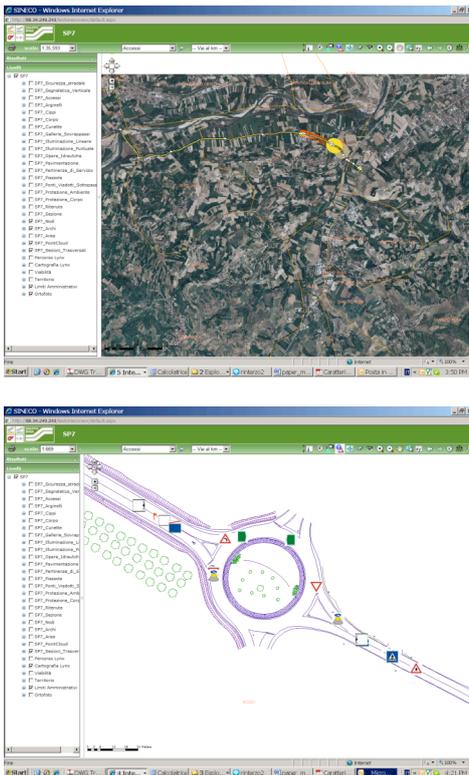


Fig. 7 WEB-GIS application Server

L'illuminazione della superficie è garantita da sorgenti laser ad infrarosso, perfettamente sincronizzate con il piano di acquisizione delle camere a scansione, che rendono l'acquisizione delle immagini ottimale in qualsiasi condizione di luce ed anche orario notturno. Significativa è l'indagine condotta con il sistema ARAN-LRIS senza soluzione di continuità, ad una velocità costante di ca. 60 km/h, su complessivi km 230 di tratte A4 Venezia-Trieste. L'acquisizione di immagini ad alta definizione ha così reso oggettiva, una "misura" che altrimenti sarebbe stata solo qualitativa, vincolandola all'obiettività del fotogramma passibile di ingrandimenti e misure (in ufficio) al fine di stabilire severità ed estensione del difetto. Nel caso specifico, le immagini ad alta definizione sono state impiegate per il calcolo dell'indicatore di stato (PCI) della pavimentazione sulle suddette tratte in osservanza alla norma ASTM D6433-99. Se da un lato la sintesi offerta da un indicatore d'insieme, variabile da 0 (in difetto di funzionalità) a 100

(eccellente), si presta quale termometro dello stato di salute complessivo della pavimentazione, dall'altro, l'oggettività e la collocabilità spaziale del dato sotteso (immagini) consente sempre al Gestore di approfondire l'analisi e, attraverso il richiamo delle immagini nella zona d'interesse, valutare il da farsi.

### **Considerazioni conclusive**

I dati acquisiti con le nuove tecnologie sono dati ad alta risoluzione, precisione e con elevato contenuto informativo. Le tecnologie consentono anche di geocodificare i dati ed un'acquisizione semplice e massiva a costi competitivi. In questo contesto potrebbe delinearsi una interessante sinergia tra le tecnologie di rilievo sopra descritte, il laser scanner dinamico 3D e il LRIS per le immagini ad alta definizione, che inglobi anche il dato di portanza della pavimentazione anch'esso valutabile tramite la deflettometria ad alto rendimento. Grazie all'interfacciamento di queste nuove tecnologie con sistemi di posizionamento assoluto, il dato laser, le immagini e il dato di portanza, risultano codificati e georiferiti nello spazio, così da poter essere nativamente appoggiati su mappe foto-cartografiche gestite tramite i comuni strumenti WEB-GIS. (Fig.7). Sottolineiamo, quindi, la fruibilità via web dei risultati da parte dell'utente, sia essa il Gestore stradale o, piuttosto, il progettista., lasciando all'utente l'onere della post-elaborazione in ragione delle sue specifiche esigenze di analisi. Si concluderebbe idealmente il percorso logico che per fasi successive conduce dalla campagna al post-processing, alla resa del dato per le analisi degli addetti ai lavori. Il ruolo del collettore di dati diventa polivalente, muovendo verso la figura del data provider che organizza e struttura i dati di campagna e li rende disponibili via web funzionalmente alle esigenze del fruitore sia esso pubblico o privato.