



Il rilevamento laser scanning di gallerie con software Strato®

PRESSO IL MAXILOTTO 1 DELLA DIRETTRICE S.S. 77 "VAL DI CHIENTI" CIVITANOVA MARCHE-FOLIGNO, I LAVORI DI MISURAZIONE DI SOTTOSPESSORI E SOVRASPESSORI DELLE SUPERFICI SCAVATE RISPETTO ALLE CALOTTE FINITE DELLE GALLERIE DURANTE LE FASI DELLE RELATIVE REALIZZAZIONI

Silvia Grassi*

Il lavoro di seguito illustrato riguarda il rilevamento laser scanning di alcune gallerie stradali facenti parte del Maxilotto 1 del sistema "Asse Viario Marche-Umbria e Quadrilatero di penetrazione interna" lungo la direttrice S.S. 77 "Val di Chienti" Civitanova Marche-Foligno per una lunghezza, complessiva di circa 9 km con lo scopo di verificare gli eventuali sottospessori o sovraspessori delle superfici scavate rispetto alle calotte finite delle gallerie durante le fasi delle loro realizzazioni.

Per tale motivo, i rilevamenti sono stati effettuati contestualmente all'avanzamento dei lavori per tratti di lunghezza variabile da 150 a 800 m.

La scelta di impiegare strumentazione laser scanner in luogo della tradizionale Stazione Totale è stata dettata dalla necessità, così come commissionatoci, di estrarre un numero molto elevato di sezioni con interdistanza pari a 0,75 m per un totale di circa 12.100 sezioni.

L'impiego della Stazione Totale richiede infatti che l'operatore scelga in fase di misurazione un numero finito di punti da rilevare rappresentativi della singola sezione con un enorme dispendio di tempo in campo e corrispondente riduzione di quel-

lo a tavolino necessario per la restituzione grafica dei dati. Ciò comporta un gravoso impegno non solo per il Topografo rilevatore ma anche per l'impresa che dovrà interrompere anche se parzialmente e temporaneamente le attività di cantiere, per consentire lo svolgimento delle attività di rilevamento.

Viceversa, con l'impiego della tecnica laser scanning le attività in campo risultano significativamente ridotte, con evidenti benefici sia per l'operatore che per l'Impresa costruttrice, consentendo di ottenere - senza soluzione di continuità - un calco digitale di punti 3D completo della superficie rilevata da cui estrarre a tavolino tutte le sezioni richieste anche in momenti successivi e in posizioni diverse da quelle inizialmente preventivate. In abbinamento, è stato poi utilizzato il Software Strato® della Carazzai Srl, che permette la gestione di oltre due miliardi di punti 3D, l'estrazione di sezioni in tempo reale senza modellazioni e visualizzazioni rapide tridimensionali e configurabili. Le sezioni rilevate con laser scanner sono quindi visualizzabili direttamente. Strato® permette inoltre di visualizzare nel modulo planimetrico le sezioni in galleria estratte e memorizzate scegliendole mediante il posizionamento lungo l'asse.



1. L'imbocco delle gallerie



Un altro aspetto da non sottovalutare caratteristico della suddetta tecnica è l'obiettività del dato rilevato, che non è funzione di alcuna scelta personale dell'operatore e pertanto oggettivo ed inconfutabile.

Sebbene apparentemente il vantaggio di un minore impegno nelle attività di campagna potrebbe far pensare ad un sensibile aumento del lavoro a tavolino, ciò non risulta vero grazie alle procedure di estrazione automatica delle sezioni, che consentono di contenere notevolmente anche il tempo di post-elaborazione.

Lo schema di misurazione e di esecuzione del rilevamento

Per l'esecuzione delle misurazioni laser scanning è stato impiegato lo strumento HDS6100 ¹⁾ di Leica Geosystems mentre per gli appoggi topografici è stata utilizzata la Stazione Totale TS30 ²⁾ di Leica Geosystems con i relativi accessori d'uso.

I dati strumentali acquisiti sono stati trattati con i seguenti software: Software Star*Net PRO di Microsurvey per la compensazione rigorosa ai minimi quadrati delle reti topografiche 3D misurate per la georeferenziazione delle scansioni, Cyclone di Leica Geosystems per l'allineamento delle singole scansioni e Strato® 14 di Carazzai Srl per l'estrazione automatica delle sezioni a partire dalla nuvola di punti generale.

La progettazione

Nella progettazione dello schema di presa laser scanning sono stati tenuti in considerazione i seguenti aspetti:

- ♦ dimensioni approssimate delle sezioni da rilevare (larghezza di 13÷17 m e altezza di 10 m);
- ♦ passo della maglia di acquisizione necessaria per una corretta rappresentazione della superficie (pari a circa 1-3 cm);
- ♦ precisione da raggiungere per il singolo punto acquisito (pari a circa 1 cm);
- ♦ presenza o meno del tubo di aerazione e di altri ostacoli non removibili quali casseri, stoccaggio centine e mezzi di varia natura.

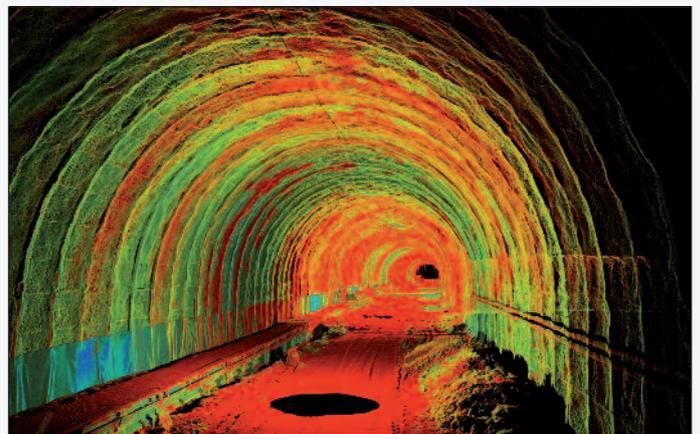
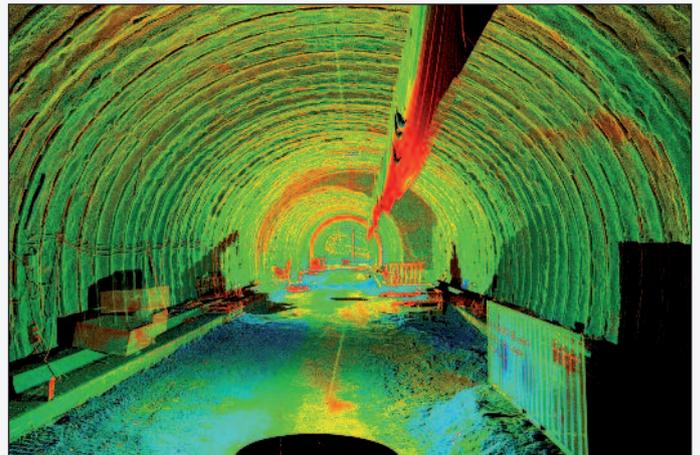
In particolare, la presenza del tubo di aerazione nella quasi totalità dei casi ha vincolato ad effettuare le prese lungo la sua verticale al fine di ridurre al minimo il suo effetto ombra sulla superficie da rilevare. Tale posizione decentrata rispetto all'asse della galleria - che ha comportato una diminuzione dell'angolo di incidenza del raggio laser rispetto ad un lato della superficie - ha obbligato a limitare la distanza a tra due stazioni consecutive a circa 30-35 m.

Detta distanza è stata quasi sempre rispettata fatta eccezione per i casi in cui erano presenti ostacoli inamovibili o rilevanti quantità di acqua a terra e/o filtrante attraverso la calotta.

Con lo schema di presa così definito e con l'ausilio della strumentazione impiegata è stato possibile garantire la copertura totale delle superfici delle gallerie ed il raggiungimento delle precisioni e delle densità medie di punti richieste.

¹⁾ Laser scanner basato sulla misura della differenza di fase. Portata fino a 79 m, velocità di acquisizione fino a 508.000 punti/s, accuratezza pari a 5 mm tra 1 m e 25 m, 9 mm fino a 50 m.

²⁾ Stazione Totale Motorizzata di alta precisione dotata di distanziometro con e senza riflettore e telecamera per il riconoscimento automatico del prisma. Consente misure angolari con precisione di 0,5" e di distanza con accuratezza 0,6 mm + 1 ppm.



2 e 3. Una vista generale della nuvola di punti

A titolo di esempio per un tratto medio di rilevamento pari a circa 500 m sono stata effettuata approssimativamente 15 scansioni ognuna delle quali georeferenziata tramite l'impiego di circa sei target di coordinate note calcolate a partire da misure topografiche iperdeterminate comprendenti i target e i capisaldi noti impiegati per il tracciamento delle gallerie.

Le singole scansioni acquisite sono state allineate a formare un'unica nuvola di punti georeferenziata rispetto al sistema assoluto di tracciamento della galleria tramite il software Cyclone di Leica Geosystems (Figure 2 e 3).

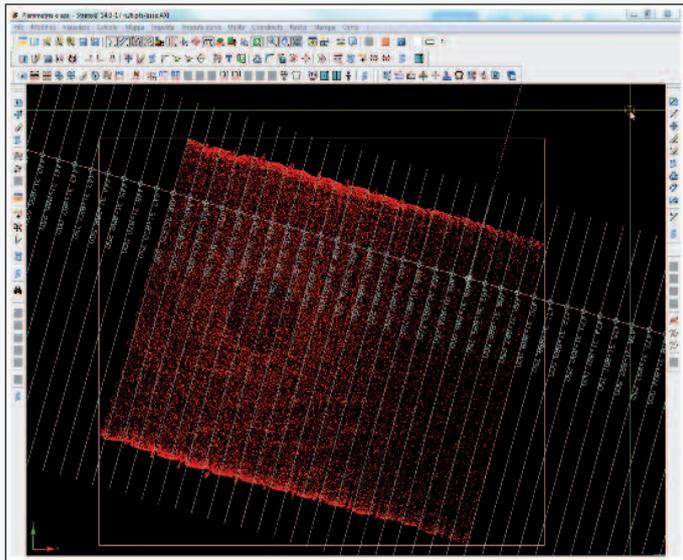
Successivamente la suddetta nuvola di punti globale è stata esportata nel formato *.pts per poter essere importata all'interno del software di estrazione automatica delle sezioni.

La restituzione grafica dei dati: l'estrazione automatica di sezioni da punti laser scanning

L'estrazione automatica delle numerose sezioni richieste a partire dalle nuvole di punti acquisite è stata effettuata con l'ausilio del software Strato® 14 di Carazzai Srl e, in particolare, con il modulo "Sezioni in galleria" specifico per la risoluzione del problema in esame. Con Strato® è infatti possibile gestire le sezioni teoriche di una galleria a livello contabile, le quali verranno quindi sovrapposte alle sezioni rilevate mediante laser scanner. Inoltre, vengono computate le aree ed i volumi di sottoscavo e sovrascavo delle sezioni rilevate rispetto a quelle teoriche, con la relativa evidenziazione contabile.



La procedura ha richiesto di inserire come informazioni note tutti i dati relativi al progetto stradale quali tracciato planimetrico, profilo longitudinale e sezione teorica ai quali sono stati contestualmente associati i punti laser scanner rilevati. La fase successiva è consistita nella impostazione del passo delle sezioni da estrarre, in questo caso pari a 0,75 m, e la distanza progressiva lungo l'asse planimetrico a definire il punto di inizio e fine estrazione delle sezioni (Figura 4).

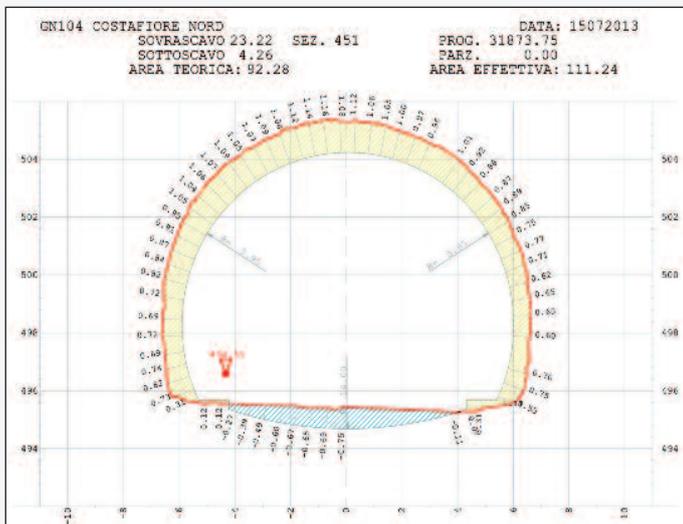


4. Una vista planimetrica software Strato 14

La singola sezione viene restituita graficamente attraverso il collegamento vettoriale dei punti rilevati prossimi alla sua traccia planimetrica (il tratto rosso in Figura 5).

A tale scopo, avendo acquisito punti ad alta densità, si è scelto di assumere uno spessore di punti nell'intorno delle tracce delle sezioni pari a 3 cm.

I punti così ottenuti, in numero sovrabbondante rispetto a quanto necessario, sono stati filtrati imponendo una distanza tra due punti consecutivi superiore a 10 cm.



5. La sezione estratta in modalità automatica

Tale riduzione di punti è stata dettata da motivazioni di visualizzazione grafica e va ricordato che i dati originali sono rimasti invariati e nulla vieta, se necessario la rielaborazione delle sezioni con differenti parametri.

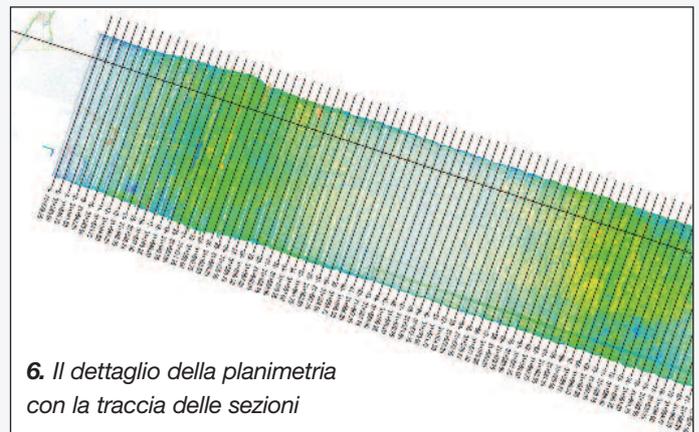
Si fa notare che ciò non sarebbe stato possibile se i dati fossero stati acquisiti per mezzo di Stazione Totale in quanto la posizione delle sezioni e il numero di punti acquisiti sarebbero stati scelti a priori dall'operatore in campo e pertanto non modificabili.

Al fine di determinare i sovrassessori e i sottospessori rispetto alla calotta finita, il software ha consentito di sovrapporre, in modalità completamente automatica, la sezione teorica di progetto alle sezioni rilevate.

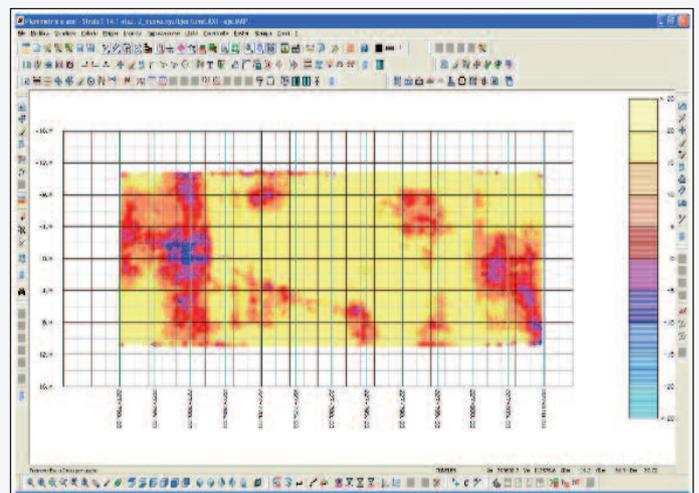
La vestizione finale delle sezioni compresa la quotatura, indispensabile per consentire l'immediata interpretazione dei risultati ottenuti, è stata effettuata in modalità automatica a seguito di alcuni parametri definiti preventivamente dall'operatore (Figura 5).

La produzione di una planimetria con riportate le tracce delle sezioni sovrapposta alla planimetria del rilevamento laser scanner consente di completare il quadro conoscitivo dello stato dei luoghi al momento delle prese (Figura 6).

Oltre al calcolo delle aree e dei volumi di sottospessore e so-



6. Il dettaglio della planimetria con la traccia delle sezioni

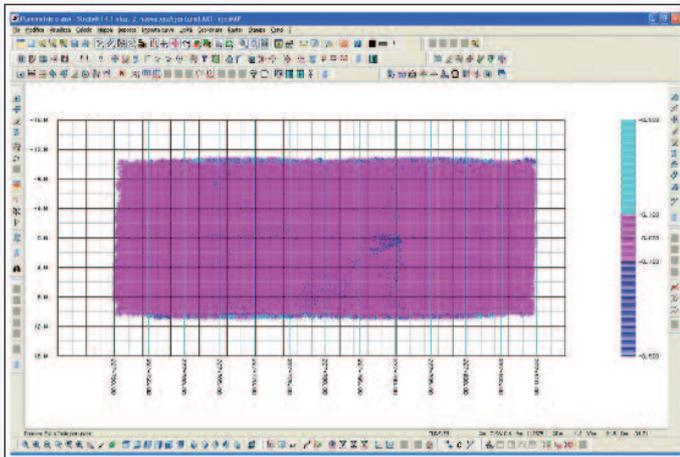


7. La rappresentazione planimetrica delle zone di sottospessore e sovrassessore



vrappesore rispetto alla sezione teorica di progetto, Strato® permette di rappresentarli anche planimetricamente, completi di riferimenti longitudinali e trasversali, con colorazioni personalizzabili per intervalli di valore (Figura 7).

Ulteriore funzionalità di Strato® è quella di rappresentare, sempre planimetricamente, il grado di rugosità (planarità) della volta rilevata rispetto alla calotta teorica di progetto. La rappresentazione viene effettuata differenziando le zone tra quelle che sono in tolleranza e quelle oltre, distinte per rugosità concava o convessa (Figura 8).



8. La rappresentazione planimetrica della planarità

La suddetta procedura automatica, indispensabile quando si debbano estrarre sezioni in numero molto elevato, è comune funzione di un tempo macchina necessario per l'elaborazione dipendente dalle caratteristiche del computer utilizzato, dalla dimensione dei file da elaborare e dal numero di sezioni richieste e può essere non trascurabile.

A titolo di esempio, nel caso presente è stata impiegata una macchina con processore IntelCorei5 2320 con ram 8GB DDR3 e la velocità di estrazione è risultata pari a circa 0,03 sezioni /s.

Ne deriva che l'estrazione delle sezioni, esclusa la vestizione e l'allestimento grafico degli elaborati, per i complessivi 9 km ha richiesto circa 100 ore di lavoro anche se non consecutive. Tale procedura svolta con procedure non automatiche sarebbe stata antieconomica.

Conclusioni

Con il presente lavoro si è voluto dimostrare l'innegabile vantaggio di impiegare strumentazione laser scanning, in abbinamento al software Strato®, rispetto alle tradizionali tecniche di rilevamento topografico nel caso sia richiesta l'estrazione di un gran numero di sezioni in galleria, oltre naturalmente ad avere risultati molto più completi relativi alla qualità del lavoro eseguito. ■

* *Socio dello Studio Grassi di Geom. Otello Grassi, Geol. Alessio Grassi e Ing. Silvia Grassi di Perugia*