

LA RICOSTRUZIONE 3D DI UN INCIDENTE STRADALE

A. Guarnieri, A. Vettore

CIRGEO – Centro Interdip. di Ricerca di Cartografia, Fotogrammetria, Telerilevamento e SIT
Università di Padova – viale dell'Università 16, 35020 Legnaro (PD)
e-mail: cirgeo@unipd.it; antonio.vettore@unipd.it

Sommario

Il tema affrontato in questo articolo riguarda lo studio dell'applicabilità della tecnologia laser scanning terrestre al rilevamento e ricostruzione della scena di un incidente stradale. Il lavoro proposto ha riguardato due aspetti strettamente legati tra loro: la disponibilità di TLS atti al rilevamento speditivo e sufficientemente dettagliato di una scena di un sinistro e l'analisi delle capacità del software di modellazione 3D di estrarre dalla scena ricostruita quell'insieme di informazioni richieste dalle procedure di indagine attualmente adottate nel campo infortunistico stradale. A tal fine è stata effettuata dapprima una serie di rilievi utilizzando principalmente il laser scanner Leica HDS3000, successivamente i dati acquisiti sono stati elaborati in Polyworks e Raindrop Geomagic. Dalle esperienze condotte sul campo e dalle scene così ricostruite si è cercato di evidenziare le problematiche connesse all'impiego del TLS nel settore infortunistico e di individuare possibili soluzioni. Si riportano quindi i primi risultati di questa sperimentazione ed alcune considerazioni sulla possibilità di impiegare produttivamente il laser scanner terrestre nell'ambito dell'infortunistica stradale.

Abstract

The topic addressed in this paper deals with the study about the application of terrestrial laser scanning technology to the survey and reconstruction of a car crash scene. The proposed work has concerned two strictly related aspects: the availability of TLS suited to perform a fast and enough detailed survey of a car accident and the evaluation of the capability of the 3D modeling software for extracting from the reconstructed scene the same dataset employed by currently investigation procedures. To this aim a set of surveys have been carried out with the Leica HDS 3000 laser scanner and acquired data have been processed in Polyworks and Raindrop Geomagic. Through the analysis of performed tests and of reconstructed scenes, main issues and possible solutions related to the application of TLS systems for car accident reconstruction have been investigated.

In this paper preliminary results of such tests along with a few remarks about the practical use of a TLS sensor for car crash data acquisition and analysis will be discussed.

1. Introduzione

Gli accertamenti relativi ad un incidente stradale consistono nell'identificazione delle persone e veicoli coinvolti, nel raccogliere le testimonianze, nell'analizzare e riprodurre il luogo del sinistro e ogni altro elemento che può essere messo in relazione con la produzione del sinistro medesimo. Tali risultanze costituiscono di fatto la fonte d'informazione primaria per poter valutare i comportamenti adottati dalle persone coinvolte in un incidente stradale e definire l'attribuzione delle responsabilità. Tra le operazioni solitamente eseguite dagli organi di Polizia nell'area teatro dell'incidente, il

rilevamento planimetrico del luogo interessato e degli elementi presenti sulla scena (quali ad esempio: posizione statica finale dei veicoli, tracce ematiche, posizione di eventuali feriti e/o cadaveri, eventuali tracce di frenata e quant'altro abbia attinenza con il sinistro), costituisce una delle principali attività di accertamento in loco. Lo scopo delle varie operazioni eseguite è quello di "fissare" nel tempo la scena finale dell'incidente e gli elementi oggettivi che con esso hanno attinenza: una volta modificato lo stato dei luoghi, esse non potranno mai più essere eseguite. In particolare, l'importanza del rilevamento topografico non si esaurisce nella sola produzione di un elaborato grafico dell'incidente ma si protrae nel tempo in quanto costituisce la base di successive attività investigative ed offre la possibilità di riprodurre, anche a distanza di tempo, la scena in scala (a volte direttamente sul posto) con tutti gli elementi rilevati, soluzione questa a cui si ricorre quando in sede di giudizio sono necessarie informazioni supplementari. Date queste premesse e considerando le possibilità di rilevamento offerte dalla tecnica laser scanning terrestre, si ritiene che la disponibilità di un modello 3D di un incidente stradale, potrebbe costituire una valida base dati su cui eseguire alcuni tipi di accertamenti. L'elevato grado di dettaglio ed il livello di precisione proprio di tale forma di rappresentazione della realtà sono sicuramente più che sufficienti a soddisfare le esigenze di analisi metrologica tipiche del settore dell'infortunistica stradale, senza peraltro trascurare i vantaggi offerti da una visualizzazione 3D della scena e la possibilità di conservare i dati digitali inalterati per lungo tempo. In questo lavoro si riporta quindi una parte dei risultati ottenuti nell'ambito di uno studio volto a verificare l'applicabilità della tecnologia laser scanning terrestre al rilevamento e ricostruzione della scena di un incidente stradale. In particolare sono stati analizzati due aspetti, strettamente legati tra loro: la disponibilità di TLS atti al rilevamento speditivo e sufficientemente dettagliato di una scena di un sinistro e l'analisi delle capacità dei software di modellazione 3D di estrarre dalla scena ricostruita quell'insieme di informazioni richieste dalle procedure di indagine attualmente adottate nel campo infortunistico stradale. Al fine di fornire una valutazione il più possibile oggettiva dei risultati ottenuti sono stati presi in considerazione alcuni fattori ritenuti tra i più significativi, sia dal punto di vista hardware che software, nell'ambito del processo elaborativo che va dal rilievo laser scanner della scena alla sua ricostruzione 3D. Nei paragrafi successivi vengono presentati i risultati ottenuti a seguito della simulazione di un incidente stradale, con particolare riguardo ai seguenti aspetti: 1) risposta del laser al variare della colorazione delle carrozzeria dei veicoli e dell'angolo di incidenza del fascio laser rispetto al veicolo; 2) risoluzione ottimale di scansione, in funzione delle prestazioni dello strumento di acquisizione e del livello di accuratezza ottenibile nelle successive fasi di elaborazione al computer; 3) comparazione dei risultati dell'allineamento delle scansioni eseguito sia in Polyworks sia in Geomagic. Una più ampia e dettagliata analisi dello studio eseguito è reperibile in (Guarnieri, 2005), mentre per una descrizione esauriente delle tecniche di rilevamento adottate dagli organi di Polizia in sede di incidente si vedano (Marcon, Marcon, 1990) e (Singia, 2004).

2. Materiali e Metodi

La valutazione dell'effettiva maturità della tecnologia laser scanner terrestre per il rilevamento e la successiva ricostruzione di una scena infortunistica è stata basata essenzialmente sull'analisi dei risultati di un incidente simulato. In particolare, tenendo conto che nelle operazioni di rilevamento di un sinistro sono richieste rapidità di esecuzione, acquisizione di tutte le misure necessarie ad una corretta ricostruzione planimetrica della scena ed impiego di un numero ridotto di operatori, le simulazioni sono state condotte con il duplice obiettivo di: a) verificare se dai dati acquisiti da TLS è possibile ricavare lo stesso tipo di misure normalmente effettuate in sede di sopralluogo sulla scena dell'incidente; b) individuare le capacità di impiego di un TLS sulla scena di un sinistro in termini di tempo richiesto per il rilievo completo della stessa, personale necessario, dislocazione delle stazioni di presa in rapporto alla morfologia ambientale. Lo studio ha comportato quindi una fase sperimentale in cui sono state effettuate delle simulazioni di incidenti: le scene sono state

rilevate con il laser scanner Leica HDS3000 e successivamente elaborate in Polyworks Modeler/Inspector e Raindrop Geomagic. Per quanto riguarda le caratteristiche tecniche sia dei sensori di misura che dei software di modellazione impiegati si rimanda alla bibliografia.

3. Effetti delle superfici dei veicoli sulla risposta laser

Nell'ambito della sperimentazione condotta, in un solo caso è stato possibile operare su un evento reale, un incidente verificatosi lungo l'autostrada del Brennero all'altezza dell'uscita di Verona Nord: la scena è stata rilevata con il sistema Riegl LMS-Z360 (Figura 1). Nonostante sia stata acquisita un'unica scansione panoramica, l'incidente dell'A22 ha consentito di avere delle prime indicazioni sull'efficacia del laser scanner Riegl in situazioni in cui la velocità di acquisizione costituisce un fattore fondamentale.



Figura 1- Rilievo di un incidente stradale sulla A22 con laser scanner Riegl LMS-Z360i.

Da questo punto di vista lo strumento ha dimostrato tutta la sua validità, rilevando la scena in circa 2 minuti ad una risoluzione (media) di 1 cm. Benchè a prima vista la geometria delle vetture coinvolte sia apparsa completamente acquisita, in realtà osservando successivamente la scena è risultata chiaramente visibile la mancanza quasi totale di dati relativi alla Fiat Uno nera (Figura 2). Inoltre, ad una più attenta analisi della scansione si è notata la mancanza di punti anche in corrispondenza degli pneumatici. Il fatto che in entrambi i casi gli oggetti in questione erano di colore scuro (nero), ha portato ad ipotizzare che la causa di questo fenomeno fosse da attribuire ad una particolare sensibilità dello strumento nei confronti del colore delle superfici metalliche, legata probabilmente all'interazione tra la lunghezza d'onda del laser (infrarosso) ed il materiale di cui sono composte le carrozzerie dei veicoli. Poichè un TLS può essere efficacemente impiegato sulla scena di un incidente stradale solo se è in grado di acquisire dati indipendentemente dalla tipologia dei veicoli coinvolti, si è ritenuto indispensabile condurre degli approfondimenti in merito, analizzando la risposta laser al variare del colore degli automezzi.

In una fase successiva alcune autovetture di diverso colore sono state quindi rilevate con il laser scanner Leica HDS 3000, allo scopo di verificare se anche questo strumento presentasse problemi analoghi. In generale lo strumento non sembra risentire in modo particolare dell'effetto del colore dell'oggetto ripreso, anche se permane una certa difficoltà dell'HDS di rilevare completamente la superficie del veicolo in presenza di carrozzerie di colore scuro, tendente al nero (Figura 3). Tale difficoltà inoltre risulta più accentuata al variare dell'angolo di presa: evidentemente allontanandosi dalla condizione di presa normale, il fenomeno della riflessione del segnale laser tende a prevalere rispetto a quello della diffusione, rendendo più difficile la ricezione del segnale di ritorno. Si confronti a tal proposito la figura 4 a) con la 4 b), in cui compare in entrambe la stessa automobile (Fiat Punto) orientata però diversamente rispetto al laser.

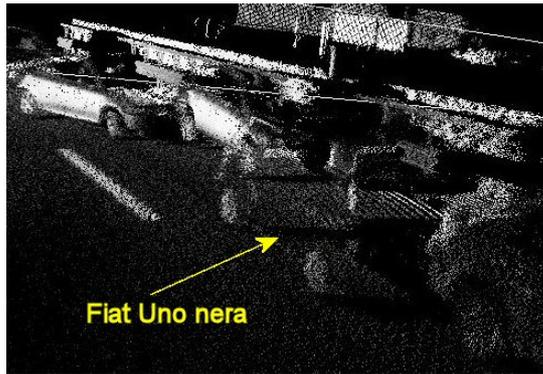


Figura 2- Risposta del Riegl su veicolo di colore nero.



Figura 3- Esempio di risposta del Leica su carrozzerie di diverso colore.

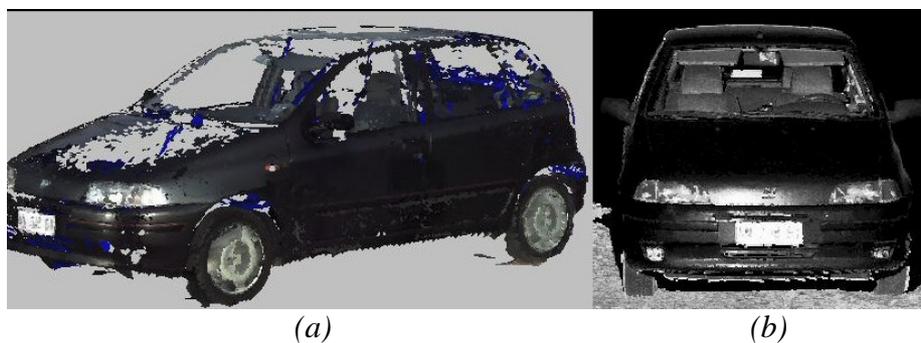


Figura 4- Effetti della diversa angolazione di ripresa

4. Il problema del LOD

Il rilevamento della scena di un incidente mediante TLS deve tenere conto di alcuni fattori, quali ad esempio: la velocità di scansione, il tempo di messa in stazione dello strumento ed il numero di stazioni di presa necessarie. Viene quindi spontaneo chiedersi su quale parametro sia possibile intervenire in modo efficace per rendere più speditivo il rilievo compatibilmente con il tipo di TLS impiegato e con il contesto in cui ci si trova ad agire. A seguito di un'attenta analisi dei vari fattori che più incidono sui tempi del rilievo e sulla base di precedenti esperienze di rilievo 3D condotte in ambiti differenti da quello in oggetto, la risoluzione di scansione è apparsa come l'elemento che, a parità di altri fattori, possa consentire di ottimizzare i tempi del rilievo, essendo un parametro gestibile direttamente dal rilevatore. Al fine di individuare un possibile valore indicativo per la risoluzione di scansione (*LOD, Level of Detail*), sono state condotti alcuni test sulle scansioni ottenute dall' HDS 3000, secondo una procedura così strutturata:

1. Rilevamento della scena simulata alla minima risoluzione possibile, compatibilmente con la divergenza del fascio laser. Le scansioni sono state eseguite con passo medio di 5 mm;
2. Sottocampionamento ad 1 cm, 2 cm e 3 cm delle nuvole di punti acquisite a 5 mm;
3. Allineamento in Polyworks e Geomagic delle scansioni alle varie risoluzioni.

In realtà non è stato possibile ottenere scansioni simili in Polyworks ed in Geomagic, a parità di passo impostato, in quanto i due software eseguono questa operazione in modo differente. In Geomagic è stato adottato un sottocampionamento uniforme, piuttosto che random, mentre in Polyworks le scansioni sono state decimate in modo differente, sulla base delle opzioni offerte dalla procedura di interpolazione che si attiva all'atto dell'importazione dei dati in tale software. Le

scansioni elaborate in Polyworks non presentano pertanto la stessa densità spaziale di quelle di Geomagic, benchè, come è facile intuire, le variazioni siano comunque contenute.

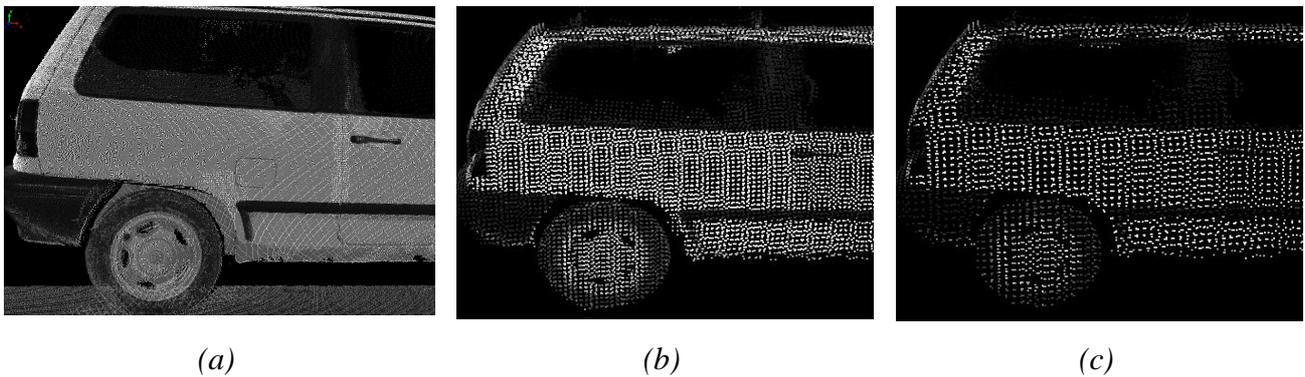


Figura 5- Confronto tra scansione a 5mm in (a) e scansioni sottocampionate a 2cm (b) e 3 cm (c)

Poiché le scansioni decimate a 3 cm sono risultate troppo “sgranate” per poter essere utilizzate con successo per l’allineamento in Geomagic e per l’estrazione di misure dal modello, non sono state prese in considerazione nelle fasi successive di elaborazione. Conseguentemente si ritiene che un passo di 2 cm possa essere considerato indicativamente come valore ottimale per quanto riguarda la risoluzione di scansione.

5. Allineamenti a risoluzione di scansione variabile

Tutte le prove di registrazione sono state condotte utilizzando la stessa procedura sia in Polyworks che in Geomagic, ovvero: selezione manuale dei matching points, quindi allineamento delle scansioni coppia a coppia ed infine applicazione dell’algoritmo di registrazione globale (ICP). Quest’ultimo è stato sempre ripetuto due volte allo scopo di affinare ulteriormente il risultato, decrementando il volume di ricerca dei punti vicini ad ogni avvio della routine. In alcuni casi si è fatto ricorso a target non retroriflettenti, posti a terra intorno ai veicoli o comunque all’interno dell’area rilevata, come ausili per la selezione dei punti omologhi. L’obiettivo era quello di verificare se l’adozione di target potesse migliorare effettivamente il risultato della registrazione rispetto alla selezione di semplici features naturali riconosciute all’interno della scena. Si sottolinea a tal proposito che le scansioni relative ai singoli target sono state mantenute alla risoluzione nativa di 5 mm per poterli meglio identificare al variare della risoluzione spaziale. Tutti i risultati ottenuti sono riassunti per maggiore chiarezza in tabella 6, in funzione del valore di deviazione standard visualizzato nella finestra di output di Geomagic e dell’RMS calcolato nel caso di Polyworks relativi all’errore residuo di allineamento.

Test	RMS Polyworks (mm)	σ Geomagic (mm)
Res. 5 mm, features & target	2,5	12,8
Res. 5 mm, solo target	2,7	18,1
Res. 5 mm, solo features	2,6	17
Res. 1 cm, features & target	2,5	27
Res. 2 cm, features & target	3	40

Tabella 6: Risultati dei test di allineamento con scansioni a risoluzione variabile

Dal confronto tra i risultati ottenuti si nota che per quanto riguarda le scansioni con risoluzione a 5 mm, indipendentemente dal tipo di elementi utilizzati nella fase di pre-allineamento, sia Geomagic sia Polyworks forniscono dei valori che sono ampiamente all'interno della precisione massima accettata per i rilevamenti planimetrici nell'ambito dell'infortunistica stradale (10 cm). Viceversa diminuendo il passo di scansione, la nuvola di punti tende a diradarsi e ciò si ripercuote sulla precisione della registrazione, in particolar modo nel caso di Geomagic, mentre Polyworks risulta più performante in tutti i casi. Questa diversità di prestazioni è sicuramente attribuibile sia al diverso tipo di algoritmo di registrazione implementato, sia alla particolare struttura dati adottata da Polyworks, che consente di rendere l'algoritmo stesso non solo più robusto nei confronti del rumore ma anche più performante in presenza di oggetti caratterizzati da superfici di forma particolare, come appunto quelle delle autovetture.

6. Conclusioni

In questo articolo sono stati presentati alcuni dei risultati preliminari relativi allo studio dell'applicabilità della tecnologia laser scanning terrestre al rilevamento e ricostruzione della scena di un incidente stradale. L'indagine è stata focalizzata su due aspetti fondamentali legati all'impiego del laser a scansione: valutare l'idoneità della strumentazione laser attualmente disponibile sul mercato all'esecuzione di rilievi speditivi, dettagliati e sufficientemente accurati della scena di un sinistro e analizzare le capacità dei software di modellazione 3D nell'estrarre dalla scena ricostruita quell'insieme di informazioni richieste dalle procedure di indagine attualmente adottate nel campo infortunistico stradale. Purtroppo l'impossibilità di acquisire dati da scene reali (a eccezione di un unico caso) ha costretto al ricorso alla simulazione di incidenti, espediente che in qualche misura limita la validità dei risultati ottenuti. La sperimentazione sinora condotta ha comunque dimostrato come sia potenzialmente possibile estrarre anche da un modello 3D di un incidente stradale le stesse informazioni acquisite nel corso di un rilievo planimetrico. D'altra parte ulteriori approfondimenti si rendono necessari al fine di risolvere alcune importanti problematiche che al momento ostacolano l'applicazione della tecnica laser scanning terrestre al settore dell'infortunistica stradale. Ad esempio, la rapidità di acquisizione dati rappresenta un fattore fondamentale in ambito infortunistico, attualmente però non tutti gli strumenti TLS in commercio sono in grado a nostro avviso di soddisfare tale esigenza. In particolare dai test effettuati si è evinto che esiste una sorta di *trade-off* tra velocità di scansione, precisione della misura, sensibilità al colore delle superfici delle carrozzerie dei veicoli. In aggiunta vanno considerati anche i tempi di messa in stazione dello strumento, il numero di operatori necessari per eseguire il rilievo, la capacità dello strumento di rilevare completamente le superfici dei veicoli indipendentemente dall'angolo di ripresa. Sulla base dei risultati ottenuti è nostro auspicio che questo lavoro possa servire come punto di partenza per stimolare discussioni e favorire ulteriori approfondimenti sperimentali sull'argomento.

Bibliografia

- Böhler W. (2004), "Comparing different Laser Scanners", *Atti Convegno CISM*, Udine.
- Guarnieri A. (2005), "Applicazione del laser scanner terrestre alla ricostruzione 3D della scena nell'ambito dell'infortunistica stradale", Tesi di Dottorato.
- Marcon G., Marcon L., (1990), "Infortunistica stradale", Ed. CEDAM, Padova.
- Singia O., (2004), "Il rilievo immediato dell'incidente stradale", IVa edizione, Maggioli Editore.
- Soucy M., Laurendeau D., (1995), "A general surface approach to the integration of a set of range views", *IEEE Tran. on PAMI*, vol. 17, no. 4, pp. 344–58.
- Raindrop Geomagic, (2005), <http://www.geomagic.com>
- Polyworks, (2005), <http://www.innovmetric.com>