

APPLICAZIONE DELLA TECNICA LASER SCANNING AL RILEVAMENTO E MODELLAZIONE 3D DI EVENTI CRIMINOSI

Alberto GUARNIERI, Francesco PIROTTI, Antonio VETTORE

*CIRGEO, Centro Interdipartimentale di Ricerca di Cartografia, Fotogrammetria, Telerilevamento e SIT
Università di Padova, Agripolis, 35020 Legnaro (PD); Tel: +39-049-8272688 ; Fax: +39-049-8272686
e-mail: antonio.vettore@unipd.it ; cirgeo@unipd.it

Riassunto

L'acquisizione di misure accurate durante il sopralluogo sulla scena di un crimine rappresenta in molti casi una vera e propria sfida per gli investigatori e gli specialisti delle indagini criminali. La disponibilità di una rappresentazione 3D virtuale del luogo oggetto dell'evento potrebbe consentire di risolvere alcune problematiche che spesso affliggono le indagini, come per esempio rilievi imprecisi e la necessità quindi a volte di dover tornare sulla scena per riacquisire le misure "mancanti". Inoltre un modello 3D completo permetterebbe di visualizzare la scena da qualsiasi angolazione ed applicare ad essa diverse forme di simulazione onde pervenire ad una ricostruzione della dinamica del crimine il più possibile verosimile

Scopo di questo lavoro è quindi indagare se e come la tecnica laser scanning terrestre possa essere impiegata con successo per supportare l'attività degli organi di Polizia nella ricostruzione della scena del crimine. L'analisi critica dei risultati ottenuti, presentati in questo lavoro, vuole costituire un primo tentativo di affrontare il tema della modellazione 3D mediante TLS applicata ad un settore fino ad ora poco considerato per le sue possibili implicazioni e sviluppi.

Abstract

Obtaining accurate measurements when documenting crime scenes represents in most cases a very challenging task for Police investigators and forensic scientists. The availability of a 3D virtual representation of the crime site would allow to solve for a few issues that often affect investigations, like for instance inaccurate tape measurements, a global view of the environment, the need to go back to get other previously "missed" measurements, without which a plausible reconstruction of the incident dynamic could be compromised. In this paper we investigate about the use of terrestrial laser scanning technique as a support tool to Police investigators for crime scene reconstruction. To this aim data collected from a simulation of a murder scene have been properly analysed. This study should be regarded as a first attempt to deal with the application of TLS-based 3D modeling to an activity field, which could widely benefit from modern surveying techniques.

1. Introduzione

La ricostruzione 3D virtuale di un ambiente reale basata sull'impiego di laser scanner terrestre (TLS) è stata sinora ampiamente sfruttata come utile mezzo per la documentazione e l'estrazione di misure in svariate applicazioni, in particolar modo nell'ambito della conservazione dei Beni Culturali e nel rilievo di infrastrutture civili. La generazione di singoli modelli 3D o di interi siti richiede l'acquisizione di dati 3D. Tale processo può essere compiuto utilizzando differenti tecniche di rilievo, nei casi di luoghi con estensione limitata vengono generalmente impiegati due metodi: fotogrammetria *close-range* e laser scanner terrestre. Entrambi gli approcci presentano pro e contro in funzione della dimensione degli oggetti da rilevare e della complessità della scena, livello di dettaglio (LOD) desiderato, tempo ecc. Questo argomenti sono già stati ampiamente discussi in letteratura, ad ogni modo sono in atto ulteriori ricerche in merito soprattutto per quanto riguarda

l'integrazione delle due metodologie citate (Alshawabkeh, Haala, 2004). Fino ad ora, rappresentazioni 3D il più possibile fedeli di una scena del crimine sono state prodotte utilizzando la fotogrammetria *close-range* come alternativa ai classici metodi di rilevamento (Iwitness, 2006). D'altra parte, i vantaggi offerti da un modello 3D rendono il laser scanner terrestre potenzialmente molto utile per eseguire indagini di una scena del crimine. Infatti l'acquisizione di misure accurate nel corso dell'analisi del luogo oggetto di un evento criminoso costituisce un momento fondamentale per l'attività investigativa. In molti casi le misurazioni effettuate manualmente risultano poco accurate per eseguire ricostruzioni 2D e 3D affidabili, inoltre qualora la scena sia stata ripulita non vi è più la possibilità di ritornare sul luogo teatro del crimine per eseguire le misure mancanti, senza le quali una ricostruzione plausibile della dinamica dell'accaduto può essere seriamente compromessa. La possibilità quindi di disporre di una sorta di "istantanea" digitale della scena del crimine al momento del sopralluogo, conservabile immutata nel tempo, il livello di dettaglio tipicamente ottenibile in un modello 3D basato su dati laser, costituiscono delle importanti caratteristiche a favore dell'impiego di strumenti TLS come supporto dell'attività investigativa. Un ulteriore pregio di un modello 3D consiste nella possibilità di cambiare a proprio piacimento il punto di osservazione della scena che può essere così analizzata da differenti prospettive, simulando ad esempio il punto di vista dei protagonisti dell'evento a tutto vantaggio della ricostruzione della dinamica dell'evento stesso. Agli autori risultano finora noti solo due esempi documentati di approccio al problema mediante TLS: (Maptek, 2002) e (IPGU, 2005).

Sulla base di queste considerazioni è stato promosso uno studio volto ad ottenere delle prime indicazioni riguardo l'impiego del laser scanner terrestre (e della modellazione 3D) come strumento di supporto per le attività di indagine e ricostruzione della scena del crimine. Sono state quindi condotte alcune analisi sui dati ottenuti dal rilievo di una scena simulata focalizzando l'attenzione sui seguenti aspetti: 1) possibilità di estrarre dalle nuvole di punti acquisite con un TLS misure ed informazioni utili allo sviluppo delle indagini; 2) valutare l'influenza della geometria e della estensione di un ambiente chiuso, oggetto di un evento criminale, sulle capacità di rilievo di un TLS; 3) valutare se il laser scanner terrestre è in grado di fornire un metodo più veloce ed affidabile per la ricostruzione della scena di un crimine in confronto alle tecniche di rilievo attualmente impiegate; 4) verificare se il TLS consente di acquisire dataset con un livello di dettaglio (LOD) sufficiente da poter ricostruire la traiettoria di proiettili eventualmente rinvenuti sulla scena.

2. Metodologia di ricostruzione di un crimine

Il termine "Scena del crimine" (*Crime Scene*) è utilizzato per indicare, in generale, l'applicazione di metodi scientifici finalizzati al sopralluogo giudiziario, all'analisi di un crimine, alla prevenzione di atti criminali, all'addestramento di personale specializzato per le indagini, al supporto dell'attività forense, di sorveglianza e di pianificazione di eventi critici. In particolare, il sopralluogo giudiziario (*Crime Scene Investigation*) rappresenta il punto di partenza di fondamentale importanza in un'inchiesta di polizia, in quanto costituisce la fase nella quale vengono ricercati gli indizi materiali indispensabili (mezzi di prova per il Tribunale), nonché gli elementi oggettivi di verifica delle testimonianze e delle varie ipotesi che possono venir prese in considerazione per una ricostruzione dei fatti. In quest'ottica ogni oggetto presente sul luogo di un reato e il punto in cui si trova, la posizione della vittima e la dislocazione di eventuali ferite, "raccontano" la dinamica dell'accaduto e forniscono informazioni preziose da elaborare per poter risalire al colpevole.

La scena di un crimine, ad esempio un delitto, diventa così un vero e proprio puzzle da ricostruire tassello dopo tassello, seguendo un rigoroso percorso metodologico che passa attraverso quattro momenti fondamentali: l'esame della scena al momento del sopralluogo, la documentazione (schizzi, planimetrie, fotografie, note), la repertazione delle evidenze (oggetti, tracce biologiche, documenti ed eventuali testimonianze), la ricostruzione della dinamica dell'evento tramite l'analisi delle informazioni acquisite e la formulazione e validazione delle ipotesi investigative. Ovviamente la validità del risultato ottenuto dal processo di ricostruzione dell'accaduto dipende principalmente

dai seguenti fattori: esperienza degli investigatori, livello di “contaminazione” della scena da fattori esterni (es. curiosi, prima persona arrivata sul luogo, investigatori stessi, ecc.), capacità identificare, delimitare correttamente ed assicurare l’area teatro dell’atto criminale. Errori di vario tipo commessi durante le operazioni di sopralluogo possono inficiare pesantemente la correttezza della ricostruzione della scena, soprattutto nel caso in cui questa sia stata successivamente “ripulita” rendendo impossibile ripetere ulteriori sopralluoghi. Sotto questo punto di vista, l’utilizzo di tecniche moderne di rilevamento 3D che consentano di “congelare” la scena nel tempo e analizzarla da prospettive differenti (es. laser scanner terrestre) potrebbero contribuire efficacemente allo svolgimento dell’attività di *Crime Scene Investigation*.

3. Materiali e metodi

Al fine di valutare l’applicabilità della tecnica laser scanning terrestre per la ricostruzione della dinamica di un evento criminoso è stata ricreata la scena di un omicidio all’interno di una stanza di circa 5m x 3.5m x 2.5m, simulando anche la presenza di un cadavere, una serie di tracce ematiche e producendo infine tre fori di proiettile calibro 32mm su una parete della stanza, sparando da una distanza di circa 3m (Figura 1). L’ambiente è stato quindi rilevato utilizzando un laser scanner *long-range* (Leica HDS 3000) ed uno strumento triangolatore, il BIRIS (Vettore, 2000), quindi di tipo *close-range* (Figura 2). Quest’ultimo, dato il limitato volume di acquisizione (100° H x 25° V, distanza: 30-50cm) e l’elevata accuratezza di misura ($50\mu\text{m}$), è stato impiegato solamente per il rilievo dei fori di proiettile al fine di stimarne la possibile traiettoria.



Figura 1: Ricostruzione della scena di un omicidio



Figura 2: BIRIS, vista frontale

Grazie alla testa rotante ed alla semplicità della scena, il rilievo completo mediante HDS 3000 ha richiesto il posizionamento dello strumento su due sole stazioni poste alle estremità opposte della stanza. Le corrispondenti scansioni sono state eseguite con tre differenti risoluzioni spaziali: 2mm e 5mm per la zona attorno ai fori di proiettile, 5mm per il cadavere ed 1cm per tutto l’ambiente. Questa strategia di ripresa ha consentito non solo di rilevare gli elementi di interesse con un appropriato livello di dettaglio ma anche di poter “unire” tra loro, in modo più accurato, le nuvole di punti acquisite dai due laser scanner impiegati. Infatti a causa dei differenti volumi in cui tali strumenti tipicamente operano, i corrispondenti *dataset* si differenziano sia nella risoluzione spaziale, per almeno un ordine di grandezza, sia nella precisione di misura, per due ordini di grandezza (un esempio del differente contenuto di rumore è visibile in figura 3). Queste caratteristiche possono creare delle difficoltà nella fase di registrazione di scansioni multirisoluzione basate

sul metodo ICP o sue varianti (Rusinkiewicz, Levoy, 2001), come già posto in evidenza in un precedente analogo lavoro (Guarnieri, Vettore, 2005). Pertanto, il dataset a 2mm è stato utilizzato come “tramite” per meglio allineare tra loro le scansioni dei fori di proiettile acquisite a diversa risoluzione spaziale: 1cm per l’HDS 3000 e 0.4mm per il BIRIS. Il risultato di questa fase è illustrato in figura 4. L’elaborazione dei dati è stata interamente eseguita in Polyworks Modeler/Inspector; alcune prove di visualizzazione e rendering della scena rilevata sono state effettuate anche in Cyclone. Complessivamente l’acquisizione delle misure ha richiesto un tempo di circa 70 minuti, di cui 30 min. per l’HDS 3000 (considerando anche i tempi di setup dello strumento e di spostamento tra le due stazioni) e 40 min. per il BIRIS (incluso il tempo necessario per la calibrazione in loco).

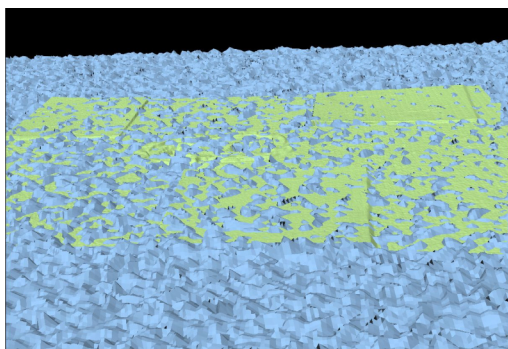


Figura 3: Confronto tra dataset Leica (azzurro) e BIRIS (verde).

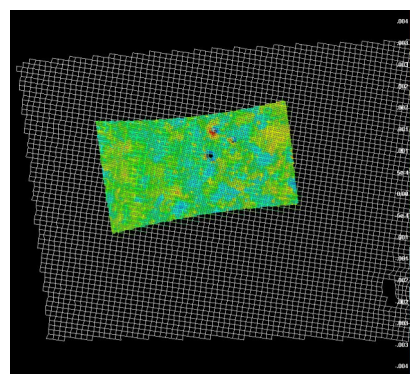


Figura 4: Risultato allineamento tra scansione a 1cm (Leica) e scansione a 0.4mm (BIRIS). Valori in metri.

4. Analisi dei risultati

Lo studio del modello 3D della scena simulata è stato suddiviso in due parti secondo i seguenti obiettivi: a) valutare le possibilità di elaborazione del modello in accordo con i requisiti citati al par. 2 relativamente al sopralluogo giudiziario; b) analizzare le varie possibilità di visualizzazione e rendering offerte dai software impiegati (Polyworks e Cyclone). Per quanto riguarda il primo aspetto si è proceduto inizialmente alla stima della traiettoria dei proiettili approssimando ai minimi quadrati la sagoma di ciascun foro con un cono e considerando come traiettoria l’asse del cono stesso (Figura 5). Il risultato ottenuto in Polyworks/ImInspect (Figura 6) ha evidenziato una buona concordanza con la direzione di tiro effettiva ma in un caso (vettore giallo) la stima dell’inclinazione è stata abbastanza imprecisa. L’efficacia del metodo implementato è fortemente condizionata da due fattori: dalle caratteristiche del materiale del muro (grado di consistenza) e dal numero e distribuzione spaziale dei punti del modello selezionati per l’operazione di *fitting*. D’altra parte una simile difficoltà si riscontra anche nei casi reali, dove la stima della traiettoria viene eseguita inserendo un’asta metallica graduata nel foro del proiettile per valutarne profondità ed inclinazione. Certamente nella situazione in cui siano presenti di due o più fori disposti da parti opposte l’uno rispetto all’altro la ricostruzione balistica risulta più affidabile, come evidenziato nel caso di studio riportato in (Iwitness). Ad ogni modo va ricordato che accanto alla semplice analisi del foro ulteriori evidenze, riscontrate sulla scena del crimine, concorrono all’individuazione della traiettoria più plausibile percorsa dal proiettile.

Tutti i software di modellazione 3D più comunemente impiegati mettono a disposizione dell’utente vari strumenti per misurazione di angoli, distanze, aree e volumi, con differenti opzioni di renderizzazione e salvataggio dei risultati. Queste funzioni risultano quindi molto utili nel caso dell’analisi di una scena del crimine per stabilire le posizioni relative degli elementi di interesse rilevati durante la scansione laser.

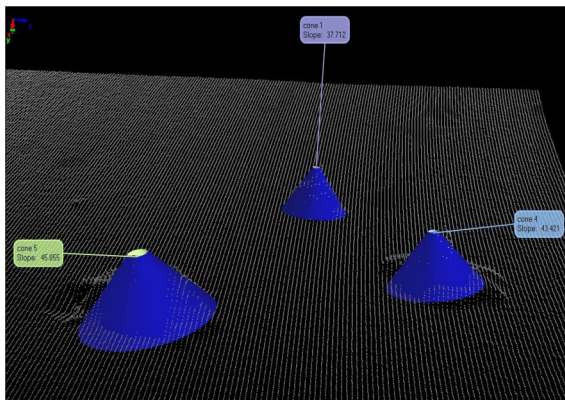


Figura 5: Approssimazione dei fori con coni



Figura 6: Stima delle traiettorie dei proiettili.

In alcuni casi le operazioni di misura su oggetti parzialmente nascosti possono essere facilitate utilizzando appositi *tools* di selezione che consentono di rimuovere temporaneamente dalla scena gli oggetti indesiderati e ripristinare successivamente la geometria originale. I medesimi strumenti possono essere inoltre impiegati per marcare delle zone sul modello 3D in modo da individuare la posizione nella scena di determinate evidenze. Benchè concettualmente semplice, tale funzionalità ha il grande pregio di operare su una copia virtuale della scena reale senza introdurre alcun tipo di contaminazione, fattore fondamentale per la corretta ricostruzione della dinamica dell'evento. Per quanto riguarda la produzione di rappresentazioni planimetriche le prove effettuate in Polyworks hanno mostrato che tale obiettivo non è ottenibile direttamente a partire dalla nuvola di punti o dalla corrispondente *mesh*, bensì richiede l'espletamento di alcuni passi intermedi quali la definizione di un piano di riferimento rispetto al quale segmentare il modello e la rettificazione (generalmente manuale) delle polilinee così ottenute.

Dal punto di vista delle capacità grafiche dei software di modellazione utilizzati in questo studio, la visualizzazione più appropriata della scena simulata si è rivelata essere quella basata sulla renderizzazione dei dati laser secondo punti anzichè tramite le modalità *wireframe* o *flat*, benchè all'aumentare del fattore di zoom diminuisca la capacità di discernere i dettagli e si manifestino fastidiosi effetti di “*view-through*” che possono indurre in errore l'utente. Questi problemi risultano attenuati o addirittura assenti sfruttando la modalità *flat*, tipica di Polyworks, software che grazie ad una procedura di interpolazione lineare applicata in fase di importazione dei dati lavora con pseudo-superfici anzichè vere e proprie nuvole di punti. D'altra parte tale caratteristica mostra i suoi limiti nel caso di oggetti con piccola estensione superficiale (es. gambe di una sedia), i quali sono riconoscibili nel modello in “negativo” cioè come zone con assenza di dati. Considerazioni analoghe valgono anche per il confronto tra modello secondo punti e modello triangolato: la *mesh* non rappresenta necessariamente la soluzione migliore sia per quanto riguarda l'estrazione di misure che per le operazioni di visualizzazione e segmentazione del modello 3D.

Interessante risulta infine la possibilità di “colorare” la scena utilizzando vari tipi di informazione radiometrica, come ad esempio il dato RGB ottenuto dalla telecamera integrata all'interno (o all'esterno) del laser scanner, l'Intensità riflessa dagli oggetti rilevati (resa in scala di grigio a 8 bit) oppure una scala di pseudocolori (Cyclone) basata sempre sul dato di Intensità (Figura 7). Considerando i progressi raggiunti nel campo dell'elaborazione delle immagini (*Image Processing*) si può ipotizzare di applicare al dato radiometrico laser algoritmi derivati da tale settore al fine di rivelare o porre in risalto determinate evidenze non immediatamente visibili ad occhio nudo.

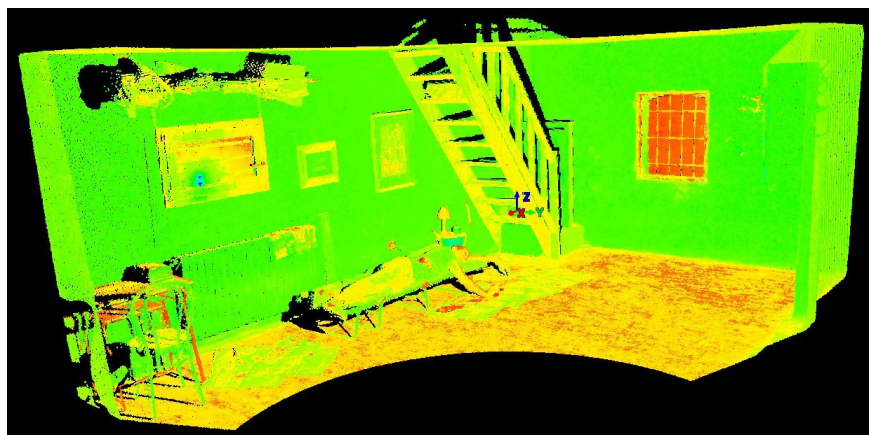


Figura 7: Visualizzazione della scena in pseudocolori

Conclusioni

Lo studio preliminare descritto in questo articolo ha evidenziato le potenzialità del laser scanner terrestre per la generazione di modelli 3D di scene del crimine utilizzabili a supporto dell'attività investigativa. Naturalmente l'efficacia di tale strumento risulta condizionata da diversi fattori, in particolare dalla necessità di mantenere la scena il più possibile incontaminata durante il rilievo e dalla geometria della scena stessa. A tal proposito è ragionevole pensare che le maggiori difficoltà di applicazione del TLS in questo settore si possano riscontrare nel rilievo di ambienti chiusi. Dal punto di vista software, gli strumenti necessari alle varie elaborazioni sono sostanzialmente già disponibili benché essi non siano presenti in un unico prodotto ma semmai distribuiti su pacchetti differenti. D'altra parte esistono in commercio alcuni programmi di tipo CAD sviluppati specificamente per l'analisi di una scena del crimine nei quali è possibile ricreare in 3D alcune tipologie di oggetti reali mediante opportune librerie di simboli (CADZone, 3D EyeWitness).

Infine si segnala che in Italia è attivo da qualche tempo presso l'Unità per l'Analisi del Crimine Violento (UACV) della Polizia di Stato un teatro virtuale nel quale, grazie a specifici strumenti e sensori di realtà virtuale, è possibile riprodurre in 3D una scena del crimine e ricreare in modo molto realistico molti degli elementi necessari all'indagine e verificare così le diverse ipotesi investigative.

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato eseguito nel contesto del PRIN 2004 intitolato "La Carta del Rischio del Patrimonio Culturale: Rilievo, Georeferenziazione, Monitoraggio e Modellazione Multiscala". Coordinatore nazionale Prof. C. Monti, Coordinatore locale Prof. A. Vettore.

Bibliografia

- 3D EyeWitness, http://www.designwareinc.com/3d_prod.htm (sito web visitato il 15/09/2006).
 Alshawabkeh Y., Haala N. (2004). "Integration of digital photogrammetry and laser scanning for heritage documentation and presentations of heritage sites". *Proc. of XXth ISPRS Congress*, Istanbul.
 CAD Zone, <http://www.cadzone.com> (sito web visitato il 15/09/2006).
 Guarnieri A., Vettore A. (2005). "Using TLS to map bullet trajectories in a crime scene", *Proc. of 7th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques*, Vienna.
 IPGU (Investigative and Prosecutive Graphic Unit), <http://www2.fbi.gov/hq/lab/labannual05/labannual05.html>, FBI, USA, (sito web visitato il 15/09/2006).
 Iwitness, Close-Range Photogrammetry, <http://www.iwitnessphotocom.com/solutions/forensic.html> (sito web visitato il 15/09/2006).
 Maptek, http://www.maptek.com.au/news/old_news.html (sito web visitato il 15/09/2006).
 Rusinkiewicz S., Levoy M. (2001). "Efficient variants of the ICP algorithm," *Proc. 3D Digital Imaging and Modeling*, 145-152.
 Vettore A. (2000). "3D Laser scanner BIRIS", *Bollettino SIFET*.