

Capitolo II

LA RAPPRESENTAZIONE DELLA SCENA DEL CRIMINE: DALLA DESCRIZIONE NARRATIVA AI RILIEVI TRIDIMENSIONALI

A. Galassi, D. Gaudio, P. Martini, L. Saravo, M.
Sgrenzaroli e G. Vassena

Sommario: 1. Il verbale di accertamenti urgenti e di ispezione come rilievo narrativo. – 2. Il rilievo topografico. – 3. Il rilievo fotografico. – 4. La sistematica del rilievo fotografico nel corso del primo intervento. – 5. La sistematica del rilievo fotografico nel corso delle attività CSI. – 6. Il rilievo fotografico sul cadavere. – 7. La fotocamera: principi e struttura. – 8. Il funzionamento della fotocamera. – 9. Le tecniche fotografiche. – 10. La fotosferica. – 11. La camera a campi di luce. – 12. Il *laser scanner* terrestre: principi di funzionamento e tipologie di strumenti. – 13. Il *range scan*. – 14. Lo stato dell'arte: quadro operativo per la scelta e l'utilizzo; campi di applicazione dal micro al macrocosmo. – 15. Concetti base per l'impostazione di un progetto di scansione. – 16. Concetti base per la rilevazione dei dati. – 17. Campi di applicazione forense rispetto alla scala degli oggetti da rilevare. – 18. L'affidabilità del rilievo strumentale. – 19. I *laser scanner* dal rilievo topografico alla ricostruzione delle dinamiche (la BPA e le traiettorie da sparo). – 20. Una sperimentazione su tracce di calzature o pneumatici. – 21. *Lesson learned*. – 22. Bibliografia. – **Procedure operative.**

12. Il *laser scanner* terrestre: principi di funzionamento e tipologie di strumenti *

I sensori tridimensionali sono strumenti che permettono di generare un'immagine 3D della scena che inquadrano. A differenza della tradizionale fotografia, sono in grado di descrivere l'oggetto rilevato nelle sue tre dimensioni spaziali (x, y, z) riuscendo a restituire una misura oggettivizzata ed arrivando, perciò, a sostituire completamente il rilievo planimetrico classico. Possono descrivere la superficie esterna dell'oggetto oppure

* A. Galassi, D. Gaudio, M. Sgrenzaroli, G. Vassena.

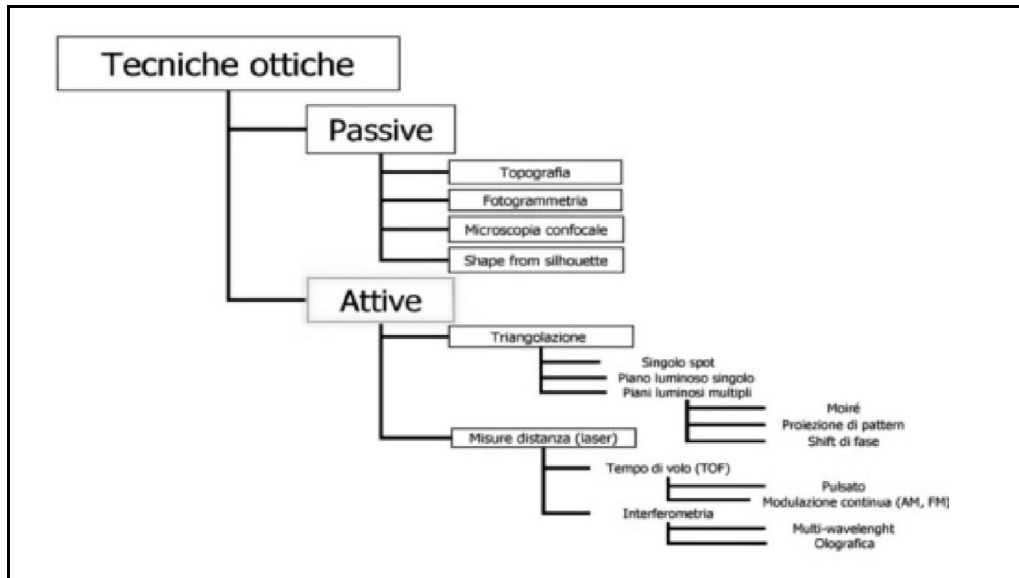


Fig. 100. – Tecniche di misura 3D.

tutto ciò che sta all'interno del suo volume. Nei prossimi paragrafi s'affrontano le tecniche di misura che prevedono la rappresentazione della sola superficie esterna dell'oggetto (Fig. 100).

Sono considerati *scanner* 3D gli strumenti in grado di acquisire le coordinate spaziali di una data regione o della superficie di un oggetto, in modo automatico, sistematico e con un'alta velocità. Lo strumento viene definito *scanner* poiché l'acquisizione avviene secondo specifici criteri di organizzazione dei dati raccolti, analoghi a quelli degli strumenti di scansione tradizionali, come ad esempio lo *scanner* piano. Questi criteri possono essere riassunti, appunto, nella capacità di operare in modo automatico e sistematico, nella velocità d'acquisizione (si arriva a migliaia di punti al secondo) e nella possibilità di avere accesso ai dati in tempo reale (Crosilla, Galetto, 2003).

Esistono molteplici strumenti di scansione che si differenziano per: tecnologia utilizzata (*laser* a tempo di volo, *laser* a differenza di fase, luce strutturata); principio di misurazione delle coordinate tridimensionali dell'oggetto (misurazione diretta "*ranging*", a triangolazione); strategia di scansione (statico, in movimento su mezzo mobile terrestre, in movimento su aereo o elicottero, mobile su imbarcazione).

In questo studio, si focalizzano gli strumenti a scansione *laser* di tipo terrestre, strumenti cioè che operano staticamente e che basano la modalità di misura con tecnologie *laser* sia con principio di misurazione diretta che a triangolazione.

Il principio alla base delle differenti tipologie di *laser scanner* può essere così riassunto: la proiezione di un raggio di luce monocromatica sull'oggetto e l'analisi del segnale di ritorno (Vassena, Sgrenzaroli, 2007).

In generale, si distinguono due principali famiglie di scanner: i *ranging scanners* (scanner a misura diretta dalle distanza) ed i *triangulation scanners* (scanner a triangolazione). Nei primi, la posizione dell'emettitore *laser* e del ricevitore coincidono. Nei secondi, emettitore e ricevitore sono separati da una distanza nota a priori (*base line*) sulla quale si basa il principio della triangolazione. All'interno delle due famiglie, esistono poi altre differenziazioni sul sistema di ricezione ed elaborazione del segnale.

Oltre alle coordinate spaziali, alcuni scanner integrano i dati con il valore della **riflettanza** (Fig. 101).

La riflettanza indica la proporzione di luce incidente che una data superficie è in grado di riflettere. Ha un significato fisico ben preciso ed il suo valore è legato alle caratteristiche del materiale di cui è costituita la superficie scandita.

Per gli scanner di tipo *ranging* si distinguono due tecnologie per la misura della distanza: *Time of Flight* (T.O.F.) e Comparazione della Fase.

Il T.O.F. prevede che un impulso *laser* venga emesso verso l'oggetto e che la distanza tra trasmettitore e superficie riflettente sia calcolata in base al tempo impiegato dal segnale tra l'emissione e la ricezione. Questo principio è ben noto poiché è lo stesso utilizzato dalle stazioni totali topografiche ad impulsi. Anche le stazioni totali di ultima generazione possono essere programmate per lavorare in modalità "scanner" ma la velocità d'acquisizione (e, quindi, la densità di punti rilevabili nel tempo e nello spazio) è generalmente più bassa di un *laser scanner*.

Il metodo di comparazione della fase opera grazie ad un raggio trasmesso che viene

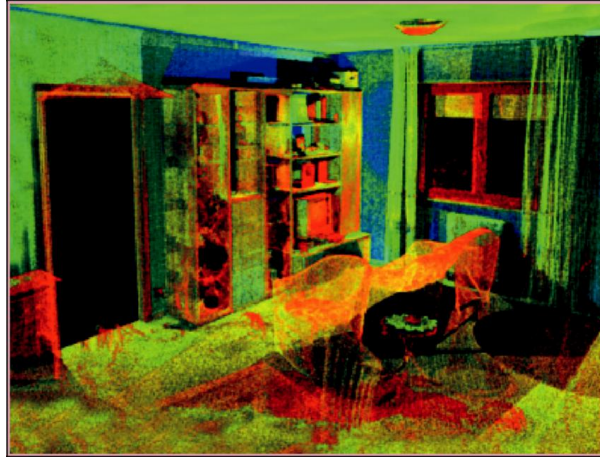
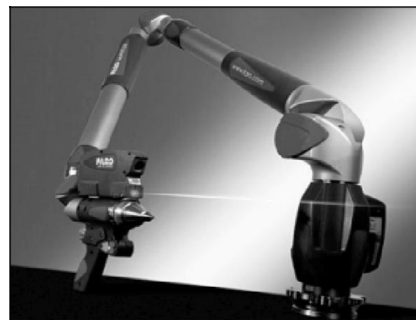


Fig. 101. – Esempio di rilievo laser scanner: i colori che si osservano non sono reali ma generati dalla riflettanza.



Fig. 102. – (a sinistra) Laser ambientale di tipo ranging a differenza di fase (Faro focus 3D).

Fig. 103. – (a destra) Braccio di misura con testa laser a triangolazione (Faro Laser Scan Arm).



modulato da un'onda armonica; tale tecnologia è utilizzata tanto in numerosi distanziometri elettronici quanto in alcuni *scanner laser*. La distanza viene calcolata comparando la differenza di fase tra l'onda trasmessa e quella ricevuta. Questo sistema, utilizzando particolari algoritmi di elaborazione del segnale, può acquisire ad alta velocità. Di solito, la necessità di risolvere eventuali ambiguità di fase limita la portata in distanza di tali strumenti.

In questi paragrafi, sono riportati casi in ambito forense in cui sono stati utilizzati *laser* a scansione di tipo *ranging* che utilizzano il metodo della comparazione di fase (Fig. 102) e strumenti *laser* a triangolazione montati su braccio di misura (Fig. 103).

13. Il *range scan* *

Con l'espressione *range scan* s'intende una nuvola di punti (ordinata nello spazio) acquisita da una singola posizione di scansione (Vassena, Sgrenzaroli, 2007). La misura di tempo o la differenza di fase vengono convertite in misure di distanza tra il punto di emissione del segnale *laser* (posizione dello strumento *laser*) e gli oggetti colpiti dal raggio *laser*. Noti, inoltre, gli angoli azimutali e zenitali del sensore *laser* al momento dell'emissione del raggio, è possibile rappresentare i punti misurati nello spazio secondo una griglia ordinata di punti. La griglia è determinata dal regolare spostamento del raggio *laser* (grazie alla rotazione di specchi interni allo strumento o alla rotazione dello strumento stesso) che scansiona in modo regolare l'oggetto da rilevare. Attraverso la griglia regolare d'acquisizione è possibile organizzare i dati di riflettanza

in un'immagine 2D (immagine di riflettanza) di cui è noto il punto di acquisizione (posizione dello strumento *laser*). Per ogni pixel dell'immagine 2D di riflettanza, è nota la posizione x, y, z in 3D del punto relativo. Un *range scan* viene distinto da una generica nuvola di punti in cui non è noto il punto di acquisizione e in cui viene persa l'informazione relativa alla griglia regolare di acquisizione (Fig. 104).

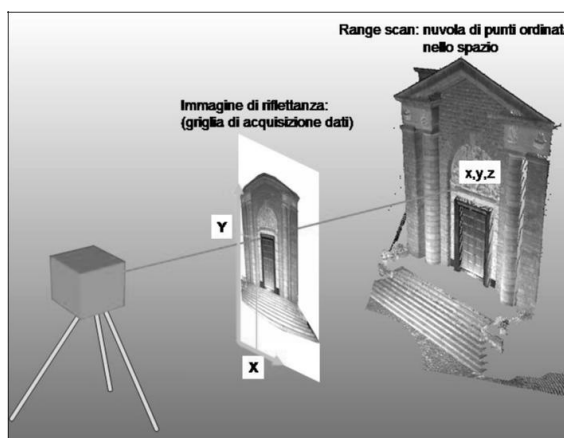


Fig. 104. – Esempio di funzionamento di un range scan.

* A. Galassi, D. Gaudio, M. Sgrenzaroli, G. Vassena.

14. Lo stato dell'arte: quadro operativo per la scelta e l'utilizzo; campi di applicazione dal micro al macrocosmo *

Le diverse tipologie di *laser scanner* implicano differenze nell'accuratezza di misura, nella distanza e nelle modalità di acquisizione, nella risoluzione della nuvola di punti (Marbs, 2002).

Allo stato attuale, non esiste un unico strumento in grado di soddisfare contemporaneamente tutte queste esigenze. La scelta dello strumento deve essere effettuata in base alle esigenze specifiche di utilizzo sulla base di molteplici caratteristiche:

- accuratezza;
- velocità di acquisizione;
- *range* di misura;
- lunghezza d'onda del segnale in base alle possibili sorgenti di rumore esterno (luce solare, umidità) e delle caratteristiche di riflettività delle superfici esterne;
- campo visivo dello strumento;
- dotazione di camere digitali interne od esterne;
- facilità di trasporto;
- tipo di alimentazione;
- qualità del *software* d'acquisizione.

Accuratezza

Si presenta come fattore determinante nel caso del rilievo architettonico o industriale ove è necessario visualizzare anche piccoli dettagli. Importante, ma non fondamentale, in occasione di rilevamenti ambientali.

La qualità globale nell'acquisizione della nuvola di punti deriva dalla combinazione delle accuratezze ottenute nella misura delle singole caratteristiche fisicogeometriche ed è, inoltre, influenzata da caratteristiche intrinseche all'oggetto rilevato e dalle condizioni ambientali.

I dati tecnici forniti dai diversi costruttori di *laser scanner* non sono sempre facilmente comparabili tra loro poiché basati su criteri differenti. Inoltre, essendo prodotti in serie piuttosto limitate, la stessa accuratezza può variare da strumento a strumento a causa di differenze nell'eseguire la calibrazione iniziale in fase di produzione.

Le caratteristiche fisicomeccaniche che concorrono al raggiungimento delle accuratezze finali possono essere:

* A. Galassi, D. Gaudio, M. Sgrenzaroli, G. Vassena.

L'accuratezza angolare

L'impulso *laser* viene direzionato sull'oggetto mediante la rotazione di specchi deflettori o di prismi; la conoscenza degli angoli di rotazione nelle due direzioni, orizzontale e verticale, associata alla misura di *range*, permette di risalire alla posizione del punto nello spazio. Ogni deviazione angolare corrisponde ad un errore di posizionamento: il punto, nel caso dei *ranging scanner*, risulta essere appartenente alla sfera di raggio pari alla distanza oggetto-ricevitore, ma si trova in un punto della superficie non corrispondente a quello reale.

L'accuratezza nella misura delle distanze

I *ranging scanner* misurano la distanza oggetto-ricevitore mediante il principio del T.O.F. oppure mediante le differenze di fase. In questo tipo di *scanner*, l'accuratezza varia in modo lineare rispetto alla distanza e con valori che dipendono dalla tipologia di *laser* e si rimanda per queste alle accuratezze fornite dai costruttori in base al *range* di acquisizione di ciascun *laser scanner*. Per i *triangulation scanner* l'accuratezza diminuisce, invece, con il quadrato della distanza *scanner*-oggetto. Si ha, quindi, un andamento di tipo parabolico, con il quale è possibile esprimere l'andamento accuratezza-distanza. È utile osservare inoltre che la curvatura della parabola risulta crescere al diminuire della base di triangolazione. Base che, per ragioni pratico-costruttive, deve rimanere contenuta in poche decine di centimetri.

La risoluzione

È la capacità di rilevare e rappresentare oggetti di dimensioni minime, ovvero la densità massima della nuvola di punti. Tecnicamente, sono due le caratteristiche che concorrono alla determinazione della risoluzione: il minimo incremento angolare possibile, degli organi di direzionamento (specchi, prismi, parti meccaniche); le dimensioni dello *spot laser*.

Un ridotto passo angolare permette di contenere le distanze tra i punti della nuvola; le dimensioni contenute dello *spot* permettono di determinarne con minore ambiguità il suo centro. La risoluzione ottenibile è uno dei fattori principali che determinano la scelta di utilizzo di uno strumento piuttosto che di un altro. In funzione della finalità del rilevamento, si può avere la necessità di raggiungere elevate risoluzioni da brevi distanze.

L'influenza della riflettività della superficie

Il segnale *laser* di ritorno dalla superficie deve essere rilevato dal sensore dello strumento; nel caso dei *ranging scanner*, da un'unità di ricezione per determinare la distanza; nel caso dei *triangulation scanner*, da un sensore che rileva l'angolo di inciden-

za. In entrambi, oltre che da fattori esterni, l'intensità del segnale di ritorno dipende dalle caratteristiche fisiche dell'oggetto colpito, in particolare dalla riflettività della sua superficie.

Le condizioni ambientali

Temperatura, condizioni atmosferiche ed interferenze di radiazioni luminose o altri campi elettromagnetici, possono influenzare l'accuratezza delle misure. In fase di acquisizione e per la successiva interpretazione dei dati può essere utile raccogliere queste informazioni al momento dell'acquisizione.

Influenti sono la presenza di polvere in sospensione o la presenza di pioggia o foschie.

Velocità di acquisizione

Fattore decisamente rilevante per quanto riguarda la produttività del rilevamento è la velocità di acquisizione. La durata di ogni singola scansione, infatti, può durare da alcuni secondi ad alcune decine di minuti. Ciò dipende dal campo visivo di acquisizione, dal passo angolare, dal principio di misura del *range* (tempo di volo, differenza di fase, triangolazione), dalla distanza dell'oggetto, dalla velocità dei sistemi meccanico-ottici di puntamento e deflessione.

Supponendo di operare la scansione dello stesso oggetto con diversi strumenti, a parità di campo di acquisizione e di passo angolare, il sistema di misurazione del *range* incide moltissimo sulla velocità di acquisizione del singolo punto.

Allo stato attuale tra gli scanner statici, quelli che adottano tecnologia a differenza di fase risultano i più rapidi in acquisizione.

Range di misura

La distanza massima cui il sensore può effettuare la misura di distanza gioca un ruolo fondamentale nella scelta del tipo di strumento da utilizzare. Le portate dei *laser scanner* in commercio vanno attualmente da alcune decine di centimetri ad alcune centinaia di metri. In tutti i casi, all'aumentare della portata, corrisponde una diminuzione della risoluzione d'acquisizione; quindi, per scansioni a lunga distanza (oltre il centinaio di metri), si possono avere risoluzioni centimetriche o decimetriche.

Il valore massimo di portata raggiungibile dipende dalle caratteristiche del segnale emesso, dalla direzione con cui il raggio *laser* colpisce la superficie dell'oggetto e, soprattutto, dalle caratteristiche di riflettività della superficie. Materiali con elevato potere radio-assorbente e superfici molto inclinate, riducono l'intensità del segnale di ritorno allo strumento, limitandone la portata.

Caratteristiche del segnale laser

Le caratteristiche del segnale emesso dallo strumento (generalmente *laser* nelle lunghezze d'onda dell'infrarosso vicino, o del colore verde) possono subire disturbi ed interferenza in presenza di sorgenti luminose artificiali, luce solare ed altre radiazioni luminose prodotte dal riflesso di oggetti vicini, condizioni particolari della superficie colpita. I *laser* utilizzati fanno sì che la misura del *range* non sia invece influenzata da sorgenti radio di alcuna frequenza.

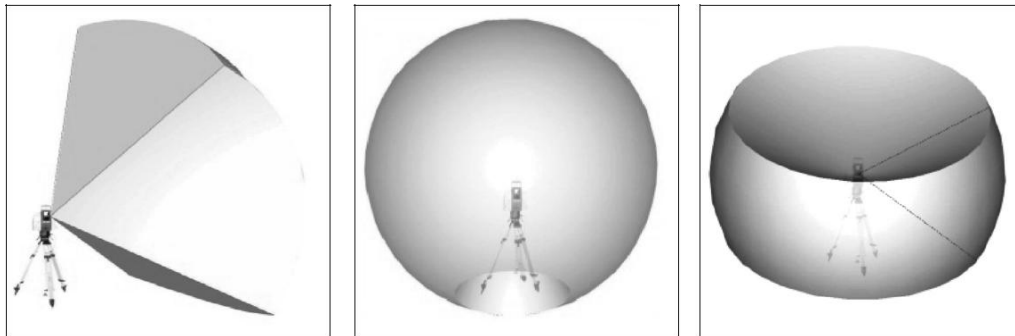
Le principali condizioni che possono influire sono:

- le caratteristiche di riflettività del materiale: materiali con elevate capacità radio-assorbenti o materiali che vengono attraversate dal segnale limitano le misure di *range*;
- le condizioni d'umidità della superficie;
- le condizioni ambientali: un elevato grado d'umidità nell'atmosfera causa una forte dispersione del segnale ed il suo conseguente riduzione d'intensità;
- la costante dielettrica del materiale. Materiali con caratteristiche di assorbimento in alcune lunghezze d'onda possono risultare di difficile misurabilità con strumenti *laser* che lavorino in tali lunghezze d'onda.

Campo visivo

In commercio esistono tipologie di *scanner* che, dal punto di vista del campo visivo di acquisizione, vengono raggruppati in tre categorie principali: i *Camera Scanner*, i *Panorama Scanner* e gli *Scanner* che adottano una soluzione intermedia.

I *Camera Scanner* (Fig. 105) hanno un limitato campo visivo, paragonabile a quanto accade in una fotocamera, l'intervallo angolare di scansione è limitato, sia sul piano orizzontale sia verticale. Questo tipo di *scanner* è pratico per utilizzi legati al rilevamento ambientale e, quindi, per scansioni di superfici situate a lunga distanza. I *Panorama Scanner* (Fig. 106) hanno un campo visivo quasi sferico, limitato unicamente dalla base dello strumento. La quasi totale copertura del campo visivo fa sì che questo tipo di



Figg. 105, 106 e 107. – Esempi di Camera Scanning, Panorama Scanning, Scanning di tipo ibrido.

strumento si presta molto bene alla scansione di interni di edifici. Il terzo tipo di *scanner* (Fig. 107) è rappresentato da sistemi che possono compiere rotazioni complete solamente attorno ad uno degli assi. La rotazione attorno al secondo asse è, invece, limitata entro i 60°-70°.

Possibilità di integrare fotocamere digitali

L'acquisizione delle prese fotografiche, necessarie per la realizzazione del modello triangolato mappato con la *texture*, può avvenire in tre modi differenti. La fotocamera può essere interna allo scanner, esterna ma integrata al sistema *laser scanner*, oppure può essere una fotocamera esterna utilizzata direttamente dall'operatore.

Nel caso l'apparecchiatura possieda una fotocamera interna, l'immagine digitale viene acquisita dallo strumento contemporaneamente alla scansione. Generalmente, in questi casi, l'immagine acquisita presenta una qualità piuttosto bassa, a causa della limitatezza dell'apparecchiatura fotografica.

Un'ottima soluzione adottata da alcuni produttori è quella di montare solidalmente una fotocamera alla testa dello scanner. Di questa fotocamera sono noti i parametri interni, la posizione e distanza focale e puntamento vengono controllati dallo stesso *software* di interfaccia dello strumento o da *software* esterni. L'utilizzo di camere esterne necessita di *software* adatti alla riproiezione delle foto ma permette di effettuare acquisizioni *laser* e fotografiche indigenti.

Facilità di trasporto

La praticità e la semplicità di trasporto dello strumento risultano essere fattori determinanti nel caso si debbano realizzare scansioni di zone difficilmente raggiungibili con adeguati mezzi di trasporto. Le principali caratteristiche:

- il peso e le dimensioni dello strumento;
- la resistenza ad urti e vibrazioni che possono verificarsi durante il trasporto;
- qualità della custodia fornita a corredo dell'apparecchiatura;
- la possibilità di utilizzare dispositivi di protezione dello strumento quando posto in stazione nella posizione di presa.

Software di acquisizione ed archiviazione dati

L'utilizzo dello strumento necessita di un'interfaccia *software* installata su PC. La sua qualità si può valutare considerandone le caratteristiche d'intuitività dell'interfaccia grafica e della scelta delle funzioni, nonché dalla serie di controlli che permette di effettuare sull'*hardware* :

- possibilità di avere una *preview* delle scansioni;
- possibilità di avere una stima del tempo di scansione;

- possibilità di lavorare contemporaneamente su finestre di presa a differente risoluzione;
- possibilità di acquisizione automatica dei *target*.

15. Concetti base per l'impostazione di un progetto di scansione *

Progettazione punti di presa laser

Il *laser scanner* (terrestre) è uno strumento topografico che permette di acquisire una grande quantità di coordinate spaziali in breve tempo. È possibile rilevare completamente le geometrie di un oggetto, rimandando la fase di elaborazione dei dati in ufficio attraverso l'estrazione degli elementi caratteristici (es.: spigoli) e la riduzione del rilievo *laser* ad elementi classificabili e rappresentabili attraverso un disegno CAD 2D o 3D. L'approccio di rilevamento con *laser scanner* semplifica e velocizza le operazioni di rilevamento. Riduce, infatti, notevolmente i tempi d'acquisizione dati in campagna, rende possibile il rilevamento di geometrie complesse e riduce la possibilità di errore o dimenticanze durante l'acquisizione. La semplicità e la velocità d'acquisizione non devono, però, fare trascurare che la fase di progettazione delle prese con *laser scanner* sia supportata da un'adeguata acquisizione d'immagini fotografiche qualora si richieda la mappatura delle foto sul modello 3D e la corretta disposizione degli eventuali *target*.

In primo luogo vanno stabilite:

- la tipologia di oggetto da rilevare: la dimensione dell'oggetto, i luoghi per posizionare lo strumento e la complessità geometrica dell'oggetto stesso, vincolano la scelta dello strumento da utilizzare;
- la tipologia di risultato finale da ottenere. È bene stabilire *a priori* qual'è il risultato che si vuole ottenere dal rilevamento con *laser scanner*.

Stabiliti e decisi i precedenti punti, si può procedere alle specifiche fasi di progettazione del lavoro di scansione. In generale, gli accorgimenti per rilevare correttamente un oggetto sono:

- acquisire scansioni *laser* da più posizioni;
- acquisire immagini digitali (o digitalizzate) da camere digitali (o analogiche) calibrate o non calibrate, lì dove si rivela necessario avere informazione di colore sulla geometria 3D;
- acquisire eventuali coordinate dei *target* posizionati all'interno dell'area rilevata o sull'oggetto da rilevare, per garantire la geo-refenziazione dei dati *laser*.

Ogni tipologia di rilevamento ha aspetti particolari da risolvere caso per caso, ma è possibile fornire dei criteri generali per progettare le fasi di scansione:

* A. Galassi, D. Gaudio, M. Sgrenzaroli, G. Vassena.

– **riduzione di ombre ed occlusioni:** la posizione dello *scanner* va scelta in modo da garantire la maggior visibilità dell'area da rilevare riducendo i fenomeni d'ombra dovuti alla presenza di oggetti, sottosquadri, ecc. Per essere sicuri di aver ridotto al minimo le zone d'ombra, è particolarmente utile utilizzare la strategia di “pre-registrare” le scansioni *in loco*. È possibile unire le scansioni tra loro senza l'utilizzo di *target*. La prima parte di tale procedura consiste “nell'avvicinare manualmente” una scansione all'altra utilizzando dei punti comuni nelle zone di sovrapposizione delle scansioni. Questo veloce sistema – se svolto in campagna – permette già di verificare con buona approssimazione dove rimangono le zone d'ombra ed eventualmente di realizzare nuove scansioni per garantire la completezza dell'acquisizione;

– **angolo d'acquisizione:** la qualità di punti 3D rilevati dal *laser scanner* sono in funzione anche dell'angolo con cui il raggio *laser* incide sulla superficie da rilevare. Se l'angolo di incidenza è troppo elevato può accadere che il segnale di ritorno non sia corretto o, addirittura, non venga effettuata la misura;

– **buona sovrapposizione tra le scansioni:** questo criterio risponde essenzialmente a due esigenze: 1) garantire la completezza del rilevamento (evitare ombre, occlusioni); 2) garantire una buona unione delle scansioni nel caso in cui si utilizzi una metodologia di unione senza l'uso di *target*;

– **risoluzione omogenea delle scansioni:** serve a garantire un'omogeneità geometrica del rilievo *laser scanner* sia in termini di accuratezza nella misura della distanza che di “densità” della nuvola di punti 3D. Generalmente, gli *scanner* permettono di gestire questa quantità che comunque varia al variare della distanza dell'oggetto dal *laser scanner*;

– **visibilità dei target:** è un criterio importante per la scelta delle posizioni di scansione, da utilizzare per la geo-referenziazione delle scansioni o la loro unione. Se si procede unendo le scansioni senza l'uso dei *target* e *a posteriori* si utilizzano per la geo-referenziazione le coordinate di *target* o punti di controllo sull'oggetto, si deve comunque garantire la visibilità dei almeno 3 *target* (o punti di controllo) dall'insieme delle varie viste.

Progettazione acquisizioni immagini 2D

Lo *scanner laser* acquisisce due tipi d'informazione: la posizione nello spazio del punto rilevato (punti 3D) e un valore di riflettanza, cioè la risposta in intensità dell'oggetto colpito dal raggio *laser*.

Questa informazione di riflettanza può essere vista come un'immagine 2D (generalmente in toni di grigio), automaticamente “mappata” sulla nuvola di punti (o sul relativo modello triangolato).

La possibilità di applicare con un processo fotogrammetrico altre immagini 2D sulla geometria 3D rilevata con *scanner laser*, permette di aumentare ulteriormente il contenuto informativo del rilevamento poiché semplifica la visualizzazione, rendendo le scansioni più vicine alla sensibilità dell'occhio umano nell'osservare un oggetto, aggiungendo informazioni tematiche che semplificano le operazioni di misura e l'estra-

zione di elementi geometrici sul modello 3D. L'individuazione di dettagli geometrici, l'analisi di superfici con macchie di sangue o tracce superficiali, sono solo alcuni esempi delle informazioni che si possono ricavare grazie all'associazione di foto e geometria in ambito forense; permette di combinare tra loro informazioni spettrali (Visibile, Infrarosso) posizionandole correttamente nello spazio nel caso si utilizzino camere con diverse sensibilità spettrali; permette di creare modelli 3D fotorealistici per prodotti multimediali, visite virtuali o animazioni 3D.

Per garantire un buon risultato nella fase di mappatura delle immagini 2D sul modello 3D e ridurre i tempi di questa fase del processo d'elaborazione, si riportano alcuni suggerimenti pratici.

– **Qualità delle immagini.** In generale la buona qualità delle foto acquisite è la miglior garanzia di un buon risultato finale nel processo di mappatura delle foto. Le immagini che riprendono l'oggetto rilevato devono avere caratteristiche di luminosità e contrasto omogenee tra loro e adeguate ad individuare i particolari d'interesse. Se si opera in interni, durante le fasi d'acquisizione delle foto, è necessario evitare problemi di sovraesposizione e sottoesposizione. Particolare attenzione va posta alla presenza di finestre o vetrate che possono creare riflessi o sovra/sottoesposizioni. Se si opera in esterno, la fonte di luce principale è generalmente quella solare. Vanno, quindi, controllati gli effetti d'ombre generate dal sole che interagisce con l'oggetto da rilevare al passare del tempo. In questo senso può essere utile acquisire immagini 2D in giornate di cielo nuvoloso, con luce solare diffusa (Lingua, Rinaudo, 2001).

– **Posizione di presa della foto nadirale.** Rispetto alla superficie 3D su cui s'intende effettuare la riproiezione dell'immagini. Con questa indicazione s'intende suggerire d'evitare prese fotografiche troppo angolate (scorciate) rispetto all'oggetto rilevato.

– **Punto di vista della fotocamera vicina al punto di acquisizione del *laser scanner*.** Questa indicazione è un corollario del precedente in quanto in questo modo risulta più semplice garantire corrispondenza tra l'informazione geometrica (punti 3D) e l'informazione di colore (immagini 2D). Questo criterio riduce anche la possibilità che elementi della geometria 3D non siano visibili nella foto e viceversa.

– **Campo di vista dell'inquadratura fotografica.** Nell'acquisizione fotografica va tenuto conto che il processo di calibrazione e riproiezione delle immagini 2D sul modello 3D richiede la selezione di un numero sufficiente di punti 3D riconoscibili sulle immagini 2D. Tali punti devono essere distribuiti in modo adeguato su geometrie non complanari all'interno dell'immagine. Questa osservazione indica che può risultare difficile (se non fotogrammetricamente impossibile) riproiettare immagini di dettaglio in cui vi siano pochi elementi geometrici riconoscibili o localizzati su un unico piano.

Eventuale posizionamento di target

Durante la fase di acquisizione dei dati *laser* può essere necessario posizionare dei *target* "visibili" dal sensore. I *target* possono essere di diverse tipologie. I costruttori generalmente suggeriscono alcune tipologie di *target* artificiali (sfere, *target* piani, ecc.).

L'utilizzo dei *target* serve a:

- unire le scansioni tra di loro sulla base di *target* visibili tra una scansione e l'altra (opzionale se le scansioni sono ben sovrapposte e si dispone di un *software* in grado di effettuare allineamenti senza uso di *target*);
- geo-riferire una o più scansioni rispetto ad un sistema di riferimento esterno e, quindi, poter roto-traslare ciascuna scansione in un unico sistema di riferimento;
- qualora la sovrapposizione tra scansioni sia adeguata, procedere anche senza l'uso di *target* ed utilizzare i *target* per geo-riferire l'intero modello ottenuto con l'allineamento automatico delle scansioni.

Comunque si decida di procedere, è fondamentale studiare il corretto posizionamento dei *target* per garantire la visibilità dai punti di scansione ed una distribuzione spaziale adeguata; 3 *target* allineati rispetto al punto di scansione non permettono di effettuare correttamente la roto-traslazione della nuvola di punti, una distanza dal punto di scansione che permetta da un lato di scansionare i *target* ad una medesima risoluzione e dall'altro che rispetti una adeguata distribuzione spaziale dei *target* stessi.

Durante la fase di rilevamento in campagna, è molto importante creare lo schema di acquisizione, sia delle scansioni sia delle relative immagini 2D, e la posizione dei *target* rispetto ai punti di scansione. Se si possiede già una mappa schematica dell'area in cui vengono effettuate le scansioni, è molto utile segnare su di essa le varie informazioni, altrimenti è opportuno crearsi un schema dell'area prima di iniziare i lavori. Si suggerisce di segnare su tale mappa schematica:

- la posizione dello *scanner* durante le varie scansioni, adottando un numero progressivo per ogni punto di scansione;
- il codice delle immagini;
- la posizione dei *target*, adottando un numero progressivo.

16. Concetti base per la rilevazione dei dati *

La fase d'elaborazione dati segue la precedente fase d'acquisizione.

Dopo un rilevamento *laser scanner*, i dati raccolti con cui iniziare le successive fasi di elaborazione e restituzione possono essere:

- scansioni *laser (range scan)*;
- immagini digitali;
- coordinate *target* (opzionali);
- schema di acquisizione dati.

Generalmente, ogni *laser scanner* è dotato di un *software* di acquisizione dati che permette di pilotare lo *scanner*, scegliendo i vari parametri dell'acquisizione ed effettuare alcune operazioni di preelaborazione.

* A. Galassi, D. Gaudio, M. Sgrenzaroli, G. Vassena.

Per descrivere in modo sintetico i vari passaggi di elaborazione dei dati *laser* e immagini, si è utilizzato come schema quello previsto dal *software JRC 3D Reconstructor* (www.gexcel.it).

Le fasi di elaborazione dati possono essere così schematizzate (Beraldin, Guidi, Russo, 2010):

1. **fase di organizzazione ed importazione dei dati:** prima di importare i dati rilevati in campagna, si definisce e struttura un progetto che sarà costituito da tutti i dati importati (*range scan*, foto, coordinate *target*) e da tutti i dati successivamente elaborati o estratti. I dati *laser* vengono importati nel formato nativo proveniente dal *laser scanner* e convertiti in un formato interno al *software* per le successive elaborazioni;

2. **fase di pre-processamento (filtraggio dati, calcoli preliminari):** deve essere effettuata subito dopo l'importazione. In questa fase preliminare, vengono calcolati, per ciascuna scansione, alcuni parametri fondamentali per le successive fasi di elaborazioni: normali locali dei punti, estrazione delle principali linee caratteristiche dell'oggetto rilevato per le successive fasi di creazione delle *mesh*. L'utente può anche filtrare i dati per eliminare eventuale rumore ed eliminare punti purché non necessari alle fasi successive. Si noti che l'eliminazione di punti dalla scansione non implica una loro perdita definitiva. I punti cancellati possono infatti essere facilmente ripristinati. Questo è molto importante in ambito forense perché risulta molto più difficile manipolare i dati *laser* rispetto alla fotografia tradizionale;

3. **fase di allineamento:** si descrive in questo caso l'allineamento senza uso di *target* che evita il posizionamento di *target* (sfere, ecc.) in fase di acquisizione. Il processo prevede una pre-registrazione in cui è sufficiente individuare tre punti comuni a due scansioni (*target* naturali), che permettano di "avvicinare" tra loro le scansioni; una registrazione automatica in cui un processo iterativo trova in automatico punti comuni tra le due scansioni.

La procedura va ripetuta tra le varie scansioni con zone comuni;

4. **fase di triangolazione (*meshing*):** il processo di *meshing* trasforma un insieme di punti 3D in una superficie costituita da triangoli che connettono tra loro i vari punti, secondo parametri che l'utente può modificare. Nel caso specifico, il tipo di rappresentazione a superfici disponibile nel *software JRC 3D Reconstructor* è a triangoli (triangolazione). Gli scopi principali del processo di triangolazione possono essere così riassunti: a) riduzione del numero di punti; b) riduzione di un nuvola di punti non connessi ad elementi connessi e continui (superfici); c) misurazioni di superfici degli elementi connessi e continui; d) mappatura su superfici delle informazioni 2D di colore (immagini) a risoluzione superiore rispetto a quella possibile su un nuvola di punti;

5. **fase di mappatura delle foto (*texture mapping*):** il processo di mappatura delle foto permette di applicare una o più foto 2D sulla geometria 3D acquisita con *laser scanner*. Può essere suddiviso in tre fasi: a) calcolo dei parametri di calibrazione interna ed esterna della camera; b) riproiezione della immagine 2D sul modello 3D; c) mappatura finale con mosaicatura delle immagini e "*blending*" dei colori;

6. **estrazione delle informazioni:** il modello finale ottenuto può essere completa-

mente misurato, possono essere estratte sezioni, viste ortografiche, video di navigazione all'interno del modello. È inoltre possibile utilizzare il modello per stimare traiettorie da sparo e documentare scene del crimine.

17. Campi di applicazione forense rispetto alla scala degli oggetti da rilevare *

Nei paragrafi precedenti sono state sintetizzate alcune linee guida per la scelta e l'utilizzo di strumentazione *laser* e per la successiva elaborazione dei dati concentrandosi soprattutto sulla tipologia *laser scanner* terrestre (Sgrenzaroli, Wolfart, 2002). Ora si cerca di fornire una più generale descrizione dei campi di applicazioni in ambito forense seguendo un criterio legato alla scala degli oggetti rilevati e, di conseguenza, alla tipologia di strumentazione *laser* utilizzabile; si parte da applicazioni a piccola scala, dove si utilizzano strumenti "*long range*" per ambienti di grandi dimensioni, fino alla descrizione di ambiti applicativi in cui è necessario rilevare oggetti di piccole dimensioni con strumentazione "*short range*".

Scala piccola, "*long range*": *laser scanner* terrestri (sia mobili sia statici) a lunga portata (fino a 2 Km) e la possibile combinazione con *laser* aerei ben si presta ad applicazioni di controllo di centri urbani a fini di sicurezza per grandi eventi. La possibilità di ricostruire tridimensionalmente un'area urbana permette di verificare visibilità e vulnerabilità di alcune aree.

Nella Fig. 108 si visualizza in modo schematico un processo di acquisizione di dati tridimensionali in ambiente urbano combinando *laser* aerei e *laser* mobili terrestri.

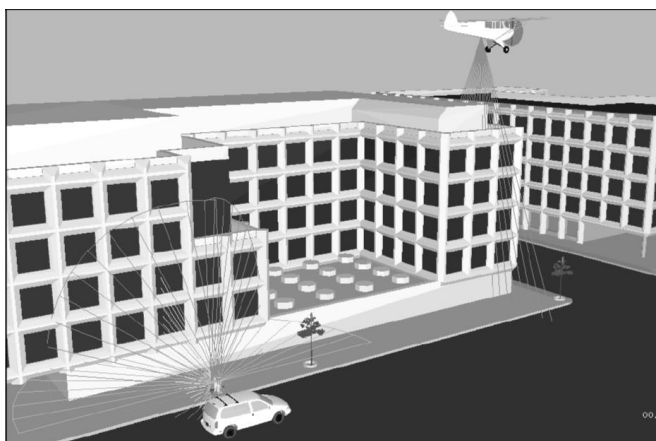


Fig. 108. – Schema acquisizione di dati tridimensionali combinando laser aerei e laser mobili terrestri.

Gli *scanner* a lunga portata permettono, inoltre, di valutare le traiettorie da sparo (Fig. 109).

Scala media, "*middle range*": i *laser* a medio *range* si prestano a molteplici applicazioni in ambito. Si riportano di seguito alcuni di questi ambiti:

* A. Galassi, D. Gaudio, M. Sgrenzaroli, G. Vassena.

– documentazione di scene del crimine. Il *laser scanner* permette un'acquisizione rapida e completa di tutti i dettagli senza rischi di modifiche della scena e una completa ricostruzione 3D (per dettagli si rimanda al § 21 dove si descrive un caso applicato) (Goncalves, 2003);

– rilevamenti in caso di incidenti stradali e di incidenti sul lavoro. Gli strumenti *laser* si rivelano, in questi casi, estremamente efficaci e rapidi per raccogliere le informazioni in mo-

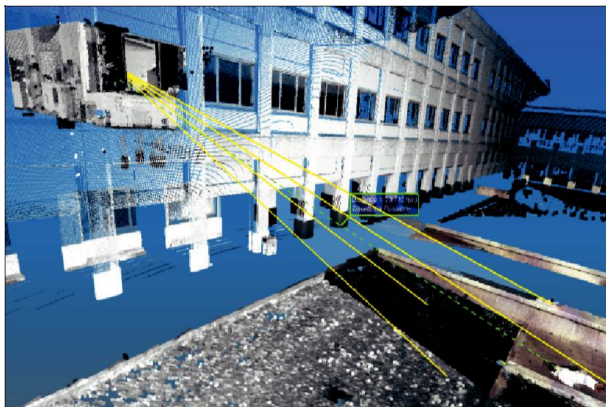


Fig. 109. – Simulazione di una traiettoria di sparo da una stanza di un edificio.

do completo e in 3D, facilitando tutte le operazioni di misura senza dovere ritornare *in loco* (Migliari, 2002);

– rilevamenti a fini peritali ed assicurativi in caso di incendi, crolli od altri eventi naturali o antropici. Nella Fig. 110 si riporta una vista tridimensionale di una capannone danneggiato da un incendio; la documentazione *laser* permette una più rapida e completa valutazione dei danni (Gonçalves, Hogg, Sequeira, Wolfart, 1999).

Scala grande, “close range”: i *laser* a triangolazione ed in particolare i bracci con testa *laser* a triangolazioni, si sono rivelati efficaci in molte delle applicazioni forensi di seguito descritte. In particolare, efficace si è dimostrata la sovrapposizione di immagini fotografiche ad altra risoluzione su modelli tridimensionali per potere cogliere e documentare dettagli di piccole dimensioni senza interferire sui campioni stessi.

Gli ambiti applicativi sono:

– acquisizioni tridimensionali di lesioni: modelli digitali di lesioni di varia natura, sia sullo scheletro che su cadavere. La tecnologia *laser scanner* permette di riprodurre la lesione in ambiente virtuale o di ottenere la scansione 3D della replica manuale. L'acquisizione di lesioni di varia natura su tessuto molle permette di “congelarle” per un tempo indeterminato migliorando la conservazione dei re-



Fig. 110. – Documentazione 3D di un deposito distrutto da un incendio.

perti, agevolando lo studio medico legale, ma anche la documentazione da presentare in dibattimento;

- modelli tridimensionali di organi in fase di analisi autoptiche; anche in questo caso, la sovrapposizione di modelli 3D e immagini 2D permette di documentare in modo efficace e senza compromettere gli organi in fase di analisi;

- antropologia forense: la possibilità di acquisire un elemento scheletrico e riprodurlo in ambiente 3D permette di conservarlo per sempre, di poter effettuare misure ed altre operazioni di studio anche a distanza di tempo ed ottenere archivi virtuali.

L'applicazione al contesto forense

Il *laser scanner*, in buona sostanza, è uno strumento di documentazione e di conservazione dei dati. I vantaggi di una “rivisitazione virtuale” dei luoghi possono essere facilmente intuibili. Bisogna, però, ricordare che ciò che non è stato scannerizzato non può più essere ricostruito. Se, ad esempio, si ha la geometria di un ambiente o di un oggetto, si può utilizzare tale geometria per stratificarci sopra una vecchia foto digitalizzata (Fig. 111), ma senza la geometria non si potrà mai rendere tridimensionale alcuna foto (Cantoni, 2002).

Come esempio di spazio grande in cui impiegare il *laser scanner*, viene facile pensare ad un disastro di massa (v. Sez. II, Parte IV, Cap. V). Questa tipologia di evento si sviluppa per lo più all'aperto, coinvolge zone molto vaste e contiene geometrie molto complesse. Si pensi ad un disastro ferroviario, un incidente stradale con più automezzi, un attentato terroristico con esplosivi. È intuibile che una registrazione della scena con il solo ausilio delle macchine fotografiche o delle telecamere è riduttiva, mentre una serie di scansioni non solo darebbe la visione d'insieme della scena con i già detti vantaggi di potere eseguire misurazioni sulla scansione stessa, ma anche di potere osservare la scena da vari punti prospettici e non essere obbligati ad osservarla dal solo punto di vista dell'operatore, come succede con le riprese video.

Il massimo rendimento del *laser scanner* si ha a medie distanze, quindi in ambienti chiusi qualora vedano il verificarsi di fatti di sangue. La registrazione *laser* “congela” virtualmente la scena al momento della registrazione; più precocemente viene eseguita, più valore probatorio potrà conseguire.



Fig. 111. – Acquisizione della scena del crimine e collocamento del cadavere nell'esatta posizione di rinvenimento attraverso una foto scattata durante il primo sopralluogo.

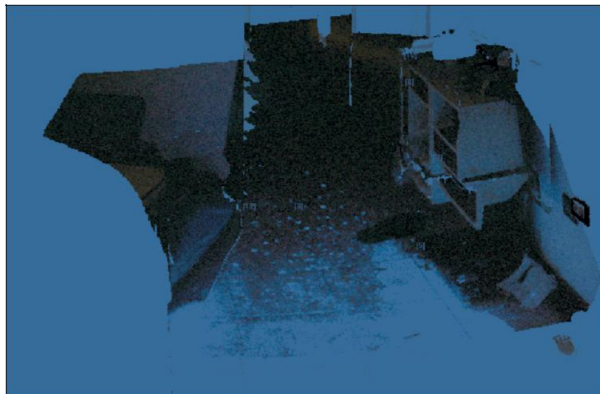


Fig. 112. – Tracce ematiche rilevate con Luminol: l'immagine è stata proiettata sul modello 3D.

Si consideri una scansione che registri una chiazza di sangue la quale, a seguito del repertamento per eseguire l'estrazione del DNA, venga asportata completamente. Le foto, prima e dopo il repertamento, potranno essere sempre “geo-referenziate” nella scansione anche se eseguite a breve distanza focale per identificare in modo univoco ed incontestabile tale traccia a distanza di tempo, ad esempio in sede dibattimentale. Lo stesso si può dire per un suppellettile che venga spostato a se-

guito delle operazioni di sopralluogo: la scansione con il montaggio manuale delle foto (*Camera Calibration*) potrà rilevare spostamenti anche di pochi centimetri.

Anche la possibilità di “montare” sulla scansione le foto di tracce latenti come le chiazze di sangue rivelate dal *Luminol* (Fig. 112) si potrebbe rivelare preziosa in molti casi.

Uno degli impieghi più utili delle registrazioni *laser* è quella di eseguire misure sulla scansione stessa quando i segni sono stati alterati in modo artefatto, le tracce scomparse e gli oggetti spostati. Si pensi all'analisi morfologica delle tracce di sangue in un omicidio; se viene eseguita la scansione, anche l'eventuale alterazione di tali tracce (es.: per il passaggio successivo di operatori negligenti) potrà essere priva di effetti negativi in quanto buona parte delle valutazioni analitiche potranno essere eseguite sulla scansione stessa senza rivisitare materialmente la scena del crimine.

18. L'affidabilità del rilievo strumentale *

Al fine di valutare la bontà del rilievo e la ripetibilità del risultato, è stata condotta una specifica sperimentazione, realizzando una scena del crimine simulata (Fig. 113).

È stato improntato uno scenario tipico di un'azione di fuoco (es.: suicidio) in cui è stata esplosa una cartuccia ed il relativo proiettile si è conficcato nella parte opposta della stanza, passando dal capo del manichino nel quale due squadre operative hanno condotto i previsti rilievi.

Nella tabella sottostante sono riassunte le misure rilevate in comparazione a quelle catturate, in analoghe condizioni, dal *laser scanner*. Tutte le misurazioni sono state con-

* A. Galassi, D. Gaudio, M. Sgrenzaroli, G. Vassena.

SQUADRA I	SQUADRA 2	LASER SCANNER
CAPOSALDO Z mt. 0	CAPOSALDO Z mt. 0	CAPOSALDO Z mt. 0
Z-OMBELICO mt. 8.35	Z-OMBELICO mt. 8.26	Z-OMBELICO mt. 8.30
Z-TESTA mt. 8.20	Z-TESTA mt. 8.10	Z-TESTA mt. 8.15
Z-PIEDI mt. 8.20	Z-PIEDI mt. 8.04	Z-PIEDI mt. 8.12
Z-A mt. 7.70	Z-A mt. 7.56	Z-A mt. 7.63
Z-B mt. 7.75	Z-B mt. 7.66	Z-B mt. 7.71
Z-C mt. 6.80	Z-C mt. 6.68	Z-C mt. 6.79
Z-D mt. 7.60	Z-D mt. 7.45	Z-D mt. 7.55
Z-E mt. 7.80	Z-E mt. 7.67	Z-E mt. 7.76
Z-F mt. 8.42	Z-F mt. 8.25	Z-F mt. 8.36
Z-G mt. 8.05	Z-G mt. 7.87	Z-G mt. 7.94
Z-H mt. 9.30	Z-H mt. 9.15	Z-H mt. 9.21
Z-FORO mt. 12.30	Z-FORO mt. 10.23	Z-FORO mt. 12.24

dotte partendo da un punto preso come riferimento fisso, cioè l'angolo posteriore de-stro del locale, contraddistinto come "Punto Z".

È possibile evidenziare, confrontando i dati riportati, come siano difformi le misure eseguite sulla scena del crimine tra le due squadre. All'aumentare della distanza di misurazione, aumentano le discrasie nelle varie misurazioni.



Fig. 113. – Scena del crimine simulata.

Fig. 114. – *Visione d'insieme della scena ricostruita mediante scansione eseguita con il laser scanner 3D; si fa riferimento alla misurazione dal punto fisso "Z", angolo posteriore destro della stanza.*

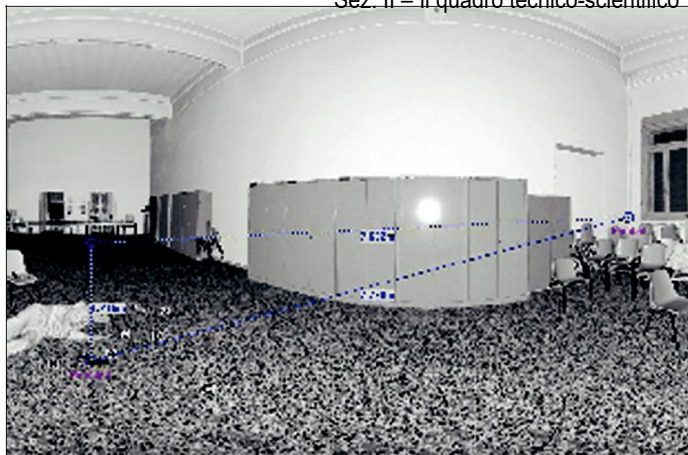
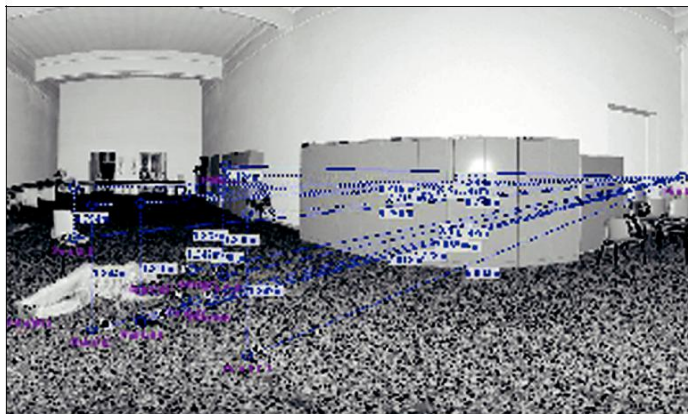


Fig. 115. – *Altra visione d'insieme della scena ricostruita mediante laser scanner 3D, con le relative misurazioni eseguite dal punto fisso "Z".*



Questo vuol dimostrare la possibilità d'imprecisione di lettura dell'operatore, che non sbaglia intenzionalmente ma può errare per semplice distrazione o cattiva percezione della misurazione. È importante, quindi, comprendere come il *laser scanner* riesce, pur con una sua tolleranza (minima rispetto alla misurazione manuale), a riscontrare una misurazione precisa che non contempla errori grossolani e errori di distrazione. Nelle Figg. da 114 a 117 si rappresenta la ricostruzione virtuale dello scenario e delle relative misurazioni.

Close range: i dettagli sul cadavere.

Per rappresentare le potenzialità applicative in ambito forense, sono state effettuate alcune scansioni in sede autoptica mediante apparato "a braccio" (*FARO Laser ScanArm V3*), mentre la successiva elaborazione dei dati è stata esperita mediante *software JRC reconstructor*.

I modelli ottenuti sono esplorabili nelle tre dimensioni e misurabili in ogni loro dettaglio. Inoltre, da questi si possono estrarre ortofoto e video.

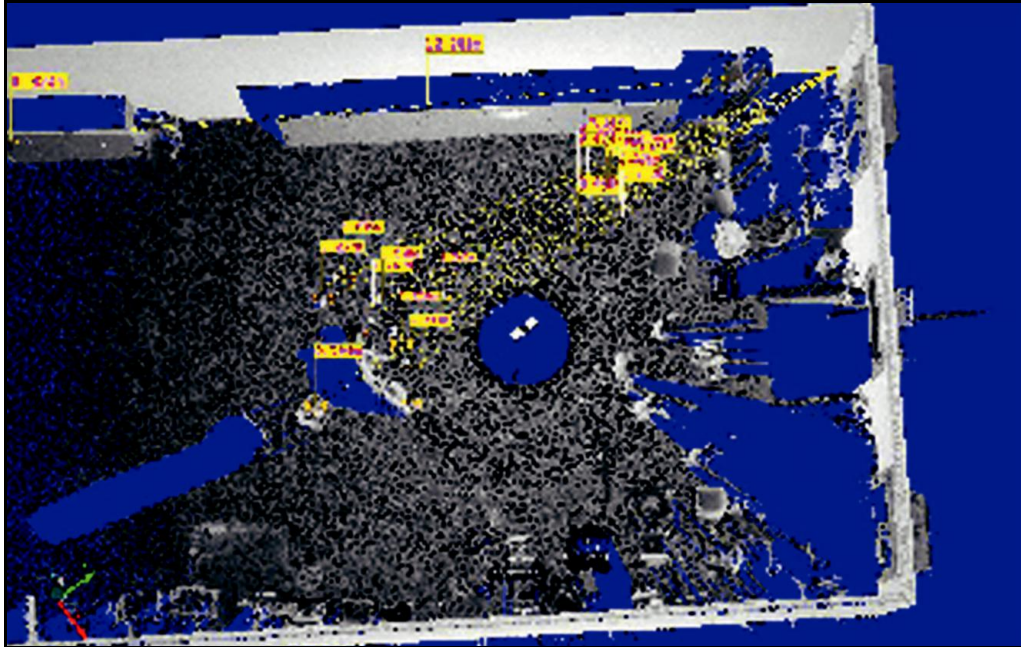


Fig. 116. – *Visione zenitale della scena del crimine ricostruita mediante laser scanner 3D; sono riportate tutte le misurazioni eseguite dal punto fisso "Z", con riferimento alle misurazioni complete, al cadavere e a tutti gli oggetti connessi.*

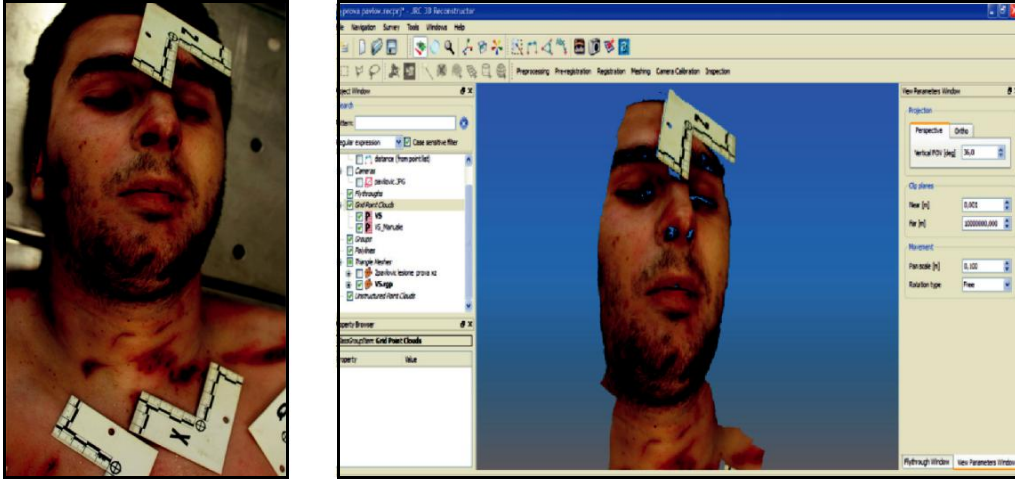
Modello 1: abrasioni correlate ad incidente stradale.

Trattasi di individuo deceduto in seguito ad incidente stradale. Il modello ha lo scopo di documentare le abrasioni presenti sul volto e sul collo (Fig. 118).

Al fine di risaltare le lacerazioni, si è proiettata la foto effettuata in sede autoptica (camera *calibration*) attraverso *3D JRC*, ottenendo il modello "colorato" (Fig. 119).



Fig. 117. – *Visione della nuvola di punti effettuata dal laser scanner in bassa definizione, con successivo inserimento di un particolare ingrandito (parte grigia) eseguito in alta definizione; si possono notare le differenze qualitative delle immagini.*



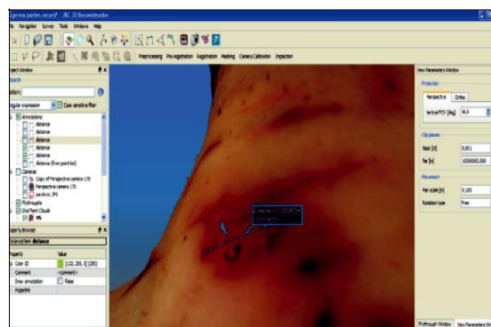
Figg. 118 e 119. – Accostamento tra la foto scattata in sede autptica ed il modello colorato ottenuto (modello elaborato da Ognibene e Gaudio).

È, in tal modo, possibile visionare il soggetto sia nel suo complesso sia in alcuni dettagli, come illustrato nelle rappresentazioni 120 e 121. È evidente che l'elaborazione consente una precisa analisi e misurazione di una lacerazione lineare.

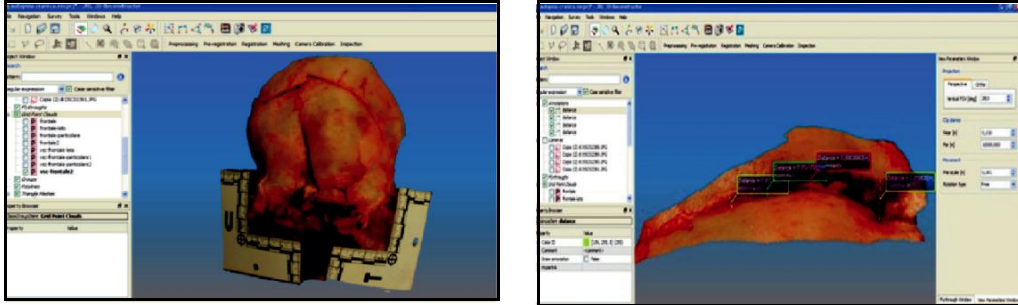
È possibile anche produrre delle ortofoto, cioè delle viste ortografiche 2D estratte dal modello 3D completamente misurabili.

Modello 2: fratture del neurocranio correlato ad incidente stradale.

Il secondo modello riproduce l'osso frontale di un individuo che presentava gravi fratture correlate ad un incidente stradale (Fig. 122). Per mostrare l'andamento del complesso fratturativo attraverso la sola fotogrammetria, in genere è necessario scattare almeno tre foto mostrandole in sequenza, dal momento che non è possibile rilevare i rapporti anatomici nel dettaglio se non attraverso la descrizione narrativa. Oggi questi limiti vengono superati con il model-



Figg. 120 e 121. – Ripresa tridimensionale del volto (in alto) e ortofoto di una singola lacerazione.



Figg. 122 e 123. – Esempio di ripresa virtuale di una frattura sul neurocranio acquisto in sede autptica (foto a sinistra) e relativa analisi della frattura (foto a destra) (modello elaborato da Ognibene e Gaudio).

lo 3D (Canciani, Cannata, Drap, Seinturier, Sgrenzaroli, 2003).

La frattura sul frontale (dal bregma alla glabella) è stata selezionata “virtualmente” e su di essa è stato possibile effettuare numerose misure, come documentato con la Fig. 123.

Il soggetto della scansione può essere anche un elemento scheletrico (Fig. 124). In tal caso il modello 3D può essere molto utile in ambito antropologico forense per eseguire misure antropometriche, documentare lesioni, patologie, per la ricostruzione virtuale di porzioni mancanti, ecc. (Iadecola, 2002).

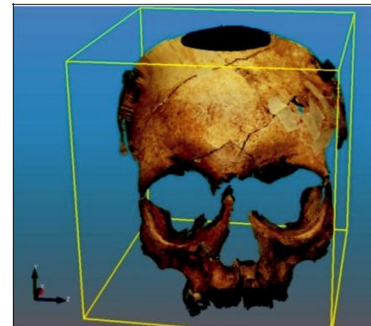


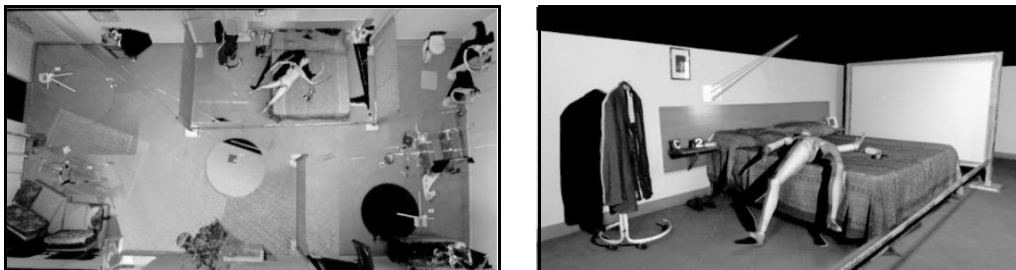
Fig. 124. – Modello 3D di un cranio mal conservato.

19. I *laser scanner* dal rilievo topografico alla ricostruzione delle dinamiche (la BPA e le traiettorie da sparo) *

Come noto, l’analisi delle traiettorie da sparo e l’analisi delle tracce di sangue (BPA) (v. Sez. II, Parte III, Cap. I) sono due momenti fondamentali delle indagini nei casi in cui siano state utilizzate armi da fuoco o si cerchi di ricostruire una dinamica all’interno di una scena del crimine ricca di tracce ematiche (Figg. 125 e 126). Tali momenti possono anch’essi avvalersi dell’utilizzo del *laser scanner*.

Il rilievo della geometria consente di utilizzare i dati all’interno di *software* specifici per la ricostruzione delle dinamiche, di ricollocare i dati rilevanti con una precisione al centimetro (o inferiore) e di ottenere una visuale d’insieme, ed, infine, supporta un’ef-

* A. Galassi, D. Gaudio, M. Sgrenzaroli, G. Vassena.



Figg. 125 e 126. – Virtualizzazione di una scena di un crimine in cui sono coinvolte tracce di sangue con le relative traiettorie calcolate.

ficace analisi controfattuale, importantissima da eseguirsi prima di presentare l'*expertise* in dibattimento.

Non c'è dubbio che oramai si è in possesso di uno strumento che non ha ancora esplorato tutte le sue potenzialità che sono largamente dipendenti non tanto dall'*hardware* quanto da *software* specifici per l'uso forense (abbastanza assenti sul mercato). Infatti, la maggior parte di quelli utilizzati sono *software* per l'analisi progettuale in campo ingegneristico (prevalentemente *reverse engineering*) e sono poco adattabili (o con alcune difficoltà) alle esigenze dell'ambito forense.

Per quanto attiene all'analisi delle traiettorie da sparo, i *laser scanner* possono essere dotati di un "kit balistico" (ad esempio, quelli prodotti da Faro) consistente in una serie di aste di vario diametro (per adattarsi al calibro dei fori) e di palle di polistirolo da infilare nelle aste. Non si hanno dati riguardo all'efficacia e alla diffusione dell'impiego di tale *kit*. Questa considerazione va inquadrata in un più generalizzato problema di scarsità di dati statistici sull'impiego del *laser scanner* sulla scena del crimine legato al fatto che il suo ingresso in ambito forense è abbastanza recente. A ridurre ancor più tale scarsità, c'è la difficoltà di impiegare questa tecnologia in tutte le scene coinvolgenti lesioni da arma da fuoco perché, al momento, i rilievi possono applicarsi solo su traiettorie non troppo ridotte. Nel caso, peraltro molto più frequente, di omicidio con colpo di arma da fuoco inferto a brevissima distanza, il *laser scanner* non può trovare applicazione.

20. Una sperimentazione su tracce di calzature o pneumatici *

Un'interessante applicazione è data dall'esperimento sottostante in cui è stata verificata la possibilità di riprodurre fedelmente i contrassegni generati da una calzatura su un terreno asciutto e polveroso (AlGarni, 2008).

* A. Galassi, D. Gaudio, M. Sgrenzaroli, G. Vassena.

Le tecniche classiche usate in criminalistica prevedono l'impiego di impasti di gesso o, laddove possibile, di gel siliconici in grado di compattarsi in presenza di opportuni catalizzatori (v. Sez. II, Parte II, Cap. III, § 9). Tali sistemi sono ovviamente pratici e, almeno per gli impasti di gesso, a basso costo. Hanno, però, come grosso limite l'accuratezza del rilievo.

Nei casi in specie, è stato usato lo *scanner* Konica Minolta dal momento che la precisione e l'accuratezza degli altri sistemi non avrebbe fornito dati dettagliati (Figg. da 127 a 130).

Il dato digitalizzato ha consentito la misurazione delle minuzie con estrema precisione e riproducibilità consentendo anche l'inserimento del dato nelle commerciali banche dati forensi.



Fig. 127. – Esempio di impronte di calzature su terreno.



Fig. 128. – Esempio di rilievo classico mediante calco in gesso.

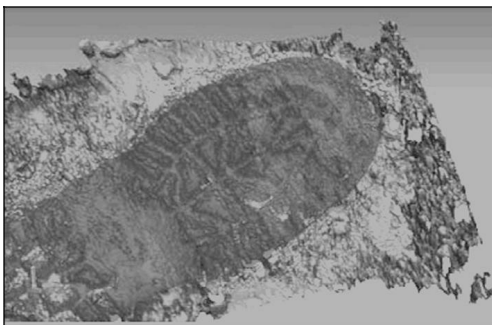


Fig. 129. – Rilievo 3D mediante laser scanner.

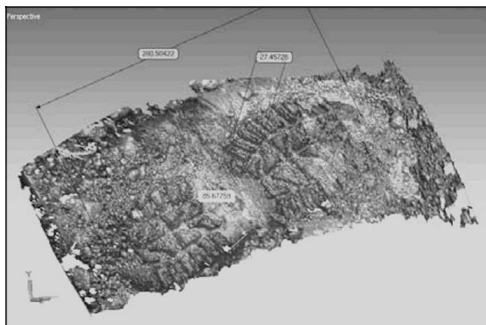


Fig. 130. – Risultato del rilievo 3D con relative misure.

<https://www.3d-forensics.de/index.php/consortium/varie> .

21. Lesson learned *

Si descrivono, ora, le attività di rilevamento in un caso reale in cui è stato utilizzato un *laser* a scansione a medio *range* per rilevare gli ambienti interni di un edificio in cui è avvenuto il ferimento mortale di un agente di pubblica sicurezza raggiunto da un colpo d'arma da fuoco con cartucce a proiettile spezzato.

I dati *laser* rilevati sono stati processati attraverso un *software* di gestione dati per potere simulare e stimare le traiettorie da sparo per stabilire e supportare gli investigatori nello stabilire sullo stato di capacità dell'indagato.

Per il sopralluogo ed il rilievo ambientale è stato impiegato un *laser scanner* della ditta Faro CAM2, tipo Photon20, e le varie scansioni ed analisi successive sono state elaborate con il *software JRC 3D Reconstructor* della ditta *Gexcel* srl.

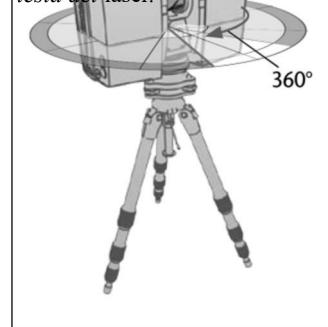
Prima di spiegare le operazioni di sopralluogo e rilievo ambientale e le successive fasi di trattamento dati, si riassumono le caratteristiche principali della strumentazione *laser* e *software* adottate.

Caratteristiche del Laser Scanner Faro Photon20

Il Faro Photon20 *laser scanner* misura fino a 20m e ca-po di 320° in verticale e 360° in orizzontale. La misura della differenza di fase del raggio *laser* viene utilizzata per misurare le distanze tra sorgente e oggetti circostanti e re-stituisce una "nuvola di punti" a coordinate note X,Y, Z rispetto al sistema di riferimento del *laser*. Congiuntamente alla misura di stanza, l'energia retroriflessa da ciascun punto (riflettenza), viene rappresentata su una scala di grigi come una immagine sferica dell'ambiente circostante. Lo strumento è dotato di una macchina fotografica Nikon D200 con obiettivo "fish-eye" montabile sulla testa rotante del *laser*. La macchina fotografica viene comandata dal *software* dello strumento ed esegue dodici pose secondo un angolo giro orizzontale costruendo una foto a 360° dell'ambiente circostante. Le singole pose possono essere montate automaticamente sulla scansione mediante il *software* di elaborazione dello strumento. In

questo modo è possibile aggiungere informazioni di colore alla scansione *laser* e rilevare oggetti o chiazze di materiale biologico od inorganico che sono non visibile dal valore di riflettenza del segnale *laser*. Lo strumento laser può essere comandato da un compu-

Fig. 137. – Schema semplificato di un sistema Faro Laser con indicazione nella rotazione della testa del laser.



* A. Galassi, D. Gaudio, M. Sgrenzaroli, G. Vassena.

ter esterno collegato alla macchina oppure attraverso il *computer* interno. Accessorie allo strumento sono dieci sfere di materiale riflettente che vengono posizionate secondo determinate regole nell'ambiente in modo da poter collegare due scansioni successive acquisite da posizioni diverse (Fig. 137).

Le principali specifiche tecniche dello strumento sono di seguito riportate:

- distanza di acquisizione: 0.6 m – 20 m (PhotonTM 20);
- risoluzione: 0.6 mm – 20 Bit distanza;
- velocità di misura: 120.000 punti/secondi;
- errore di distanza lineare: ± 2 mm a 25 m;
- campo visivo verticale: 320°;
- campo visivo orizzontale: 360°.

Caratteristiche del software JRC 3D Reconstructor e gexcel R³

JRC 3D Reconstructor è un *software* utilizzato per l'elaborazione di dati da *laser scanner* 3D, Scan Arm e dati topografici. *JRC 3D Reconstructor* è sviluppato e commercializzato da *Gexcel*, società *Spin Off* dell'Università degli Studi di Brescia specializzata nel campo delle tecnologie avanzate nel settore della geomatica, sviluppa e commercializza *software* per l'elaborazione di dati tridimensionali acquisiti mediante *laser* a scansione. Attualmente, *JRC 3D Reconstructor* viene utilizzato dall'*International Atomic Energy Agency* (IAEA) per verifiche e controlli nelle centrali nucleari nell'ambito del programma di non-proliferazione dei siti nucleari. Il nuovo strumento *gexcel R³* permette inoltre di gestire grandi nuvole di punti e di condividerle via web. Il *software* permette di eseguire le seguenti fasi di elaborazione di dati acquisiti con il *Laser Scanner* Faro Photon20:

- unione delle scansioni con o senza target per verificare la completezza del rilevamento 3D in fase di scansione;
- sovrapposizione di fotografie alla geometria 3D utilizzando qualsiasi tipo di camera digitale; le fotografie non subiscono deformazione e vengono proiettate alla massima risoluzione;
- controlli nel tempo delle scene scansionate;
- generazione e gestione fotografie misurabili in 3D;
- creazione video in ambienti 3d fotorealistici;
- gestione di grandi nuvole di punti e possibile condivisione via web.

Fornisce, inoltre, strumenti per effettuare misure nel modello tridimensionale elaborato; tra queste di interesse per l'ambito forense, si possono indicare:

- misure di distanze ed angoli;
- aree;
- volumi;
- traiettorie di sparo;
- simulazione di punti di vista e verifica dei punti di visibilità.

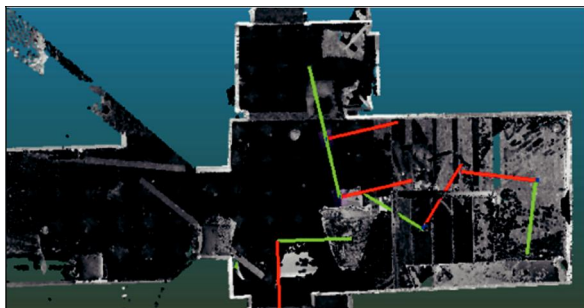
In ambito forense è stato inoltre testato per le seguenti applicazioni:

- controllo di una scena del crimine;
- simulazione di una scena del crimine;
- ispezione dell'area in prossimità di un incidente stradale;
- riproduzione 3D di parti anatomiche umane;
- individuazione e quantificazione di lesione superficiali;
- riproduzione 3D di scheletri umani;
- riproduzione 3D di dentature.

Descrizione della metodologia d'indagine

Per svolgere le operazioni di rilevamento sono state, innanzitutto, considerate le caratteristiche del luogo in cui è avvenuto il fatto, i dati circostanziali rilevanti ai fini dell'analisi e i dati relativi all'esame esterno dell'indagato e dall'analisi autoptica della vittima.

L'ambiente in cui si sono svolti i fatti (quindi, l'oggetto del rilievo) è rappresentato da una ex casa rurale ristrutturata in stabile multifamiliare. L'ambiente interno è disposto su due piani collegati da una rampa di scale. Dalle testimonianze verbalmente raccolte dagli operatori di p.g., presenti ai fatti, la vittima al momento del ferimento era in piedi sul quarto gradino della prima rampa di scale che sale dal piano terra al piano superiore. La vittima stava cercando un contatto con l'indagato fingendosi un medico e stava salendo le scale con le mani alzate. L'indagato si trovava invece al piano superiore in una posizione che si è cercato di stimare attraverso l'analisi dei dati *laser* e correlando



i dati relativi alle caratteristiche della ferita riscontrata sulla vittima stessa.

Il *laser scanner* è stato posizionato all'interno dell'edificio in sei posizioni diverse: 1) nella seconda parte di corridoio rialzata prima delle scale; 2) sulle scale in corrispondenza del punto in cui, secondo le testimonianze, sostava la vittima al momento del ferimento; 3) sul pianerottolo intermedio delle due rampe di scale; 4-5-6) al piano superiore in corrispondenza di ipotetiche zone di sparo (Figg. 138-139).

Figg. 138 e 139. – Modello 3D dell'edificio con indicazione delle sei posizioni di scansione.

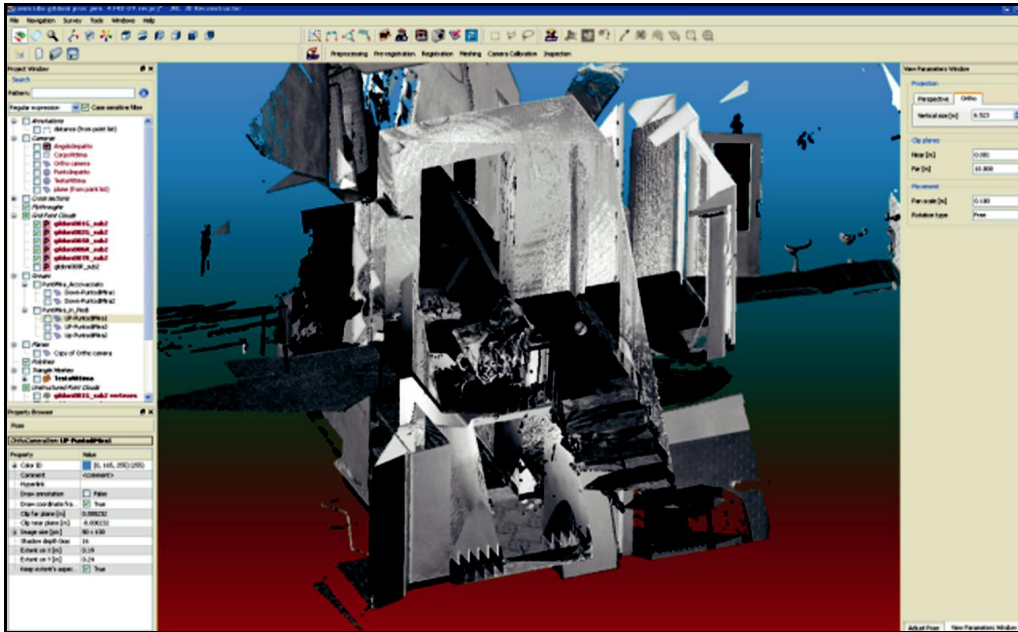


Fig. 140. – Visualizzazione 3D dell'edificio elaborato in JRC 3D Reconstructor secondo quanto emerso dalle indagini.

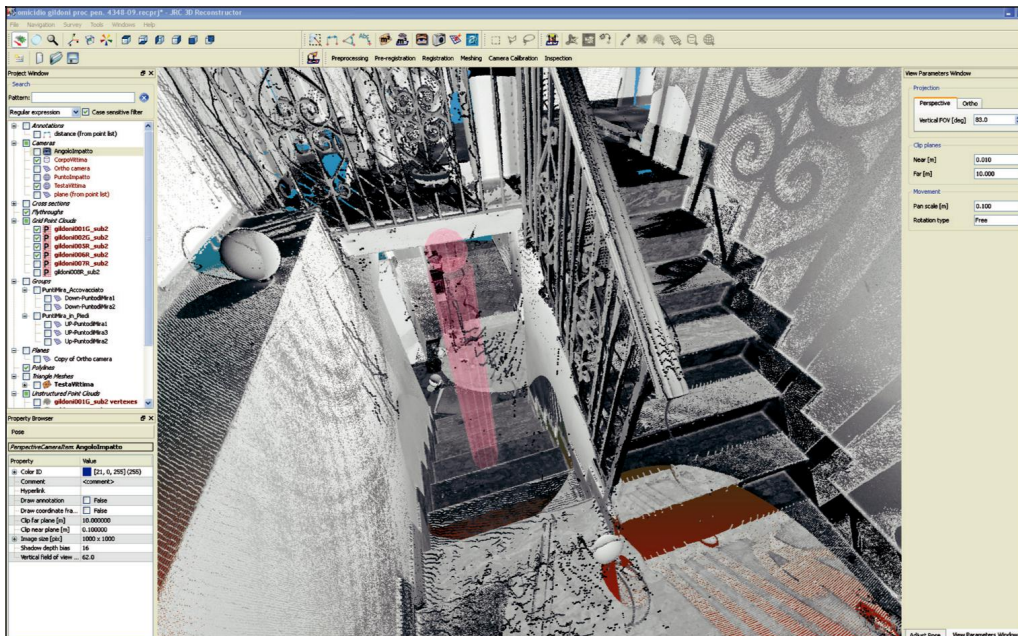


Fig. 141. – Ambiente interno virtualmente ricostruito.

Le varie scansioni sono state collegate tra loro mediante il *software JRC 3D Reconstructor* (Fig. 140) e sono state colorate con la stesura di alcune delle foto eseguite in sede di sopralluogo.

L'unione delle scansioni ha permesso di ricostruire la nuvola di punti e la geometria delle zone dell'abitazione in cui le testimonianze attestano la posizione delle vittime e dell'indagato (Fig. 141).

Nel punto in cui, secondo le testimonianze, sostava la vittima al momento del ferimento, è stato inserito un oggetto virtuale consistente in un cilindro della stessa altezza della vittima sommata all'altezza dei tacchi delle scarpe, pari complessivamente a 184 cm. Su questa figura geometrica è stata inserita una seconda figura consistente in una sfera del diametro di 30 cm che poi è stata alzata con il vertice a 184 cm. Considerato che gli occhi sono posizionati a circa 11 cm sotto il vertice del capo, è stato inserito un riferimento tridimensionale spaziale a 173 cm di altezza.

È stato, quindi, possibile – mediante algoritmo di vincolo della visuale dell'ambiente virtuale al riferimento spaziale inserito dentro la sfera ad altezza occhi – valutare quanto e cosa dell'ambiente poteva vedere la vittima al momento del ferimento (Figg. 142-143).

A questo punto, con centro coincidente con il vertice della sfera posizionata alla altezza della testa della vittima, è stata inserita una seconda sfera del raggio di 2,5 metri (ingombro spaziale del pianerottolo su cui si aprivano le porte interne dei vari ambienti e quindi *range* spaziale massimo di stazionamento dell'aggressore) per poter valutare quali fossero le possibili posizioni dell'indagato al momento dello sparo che ha colpito la vittima. Sono, quindi, stati inseriti riferimenti spaziali complessivamente in sei posi-

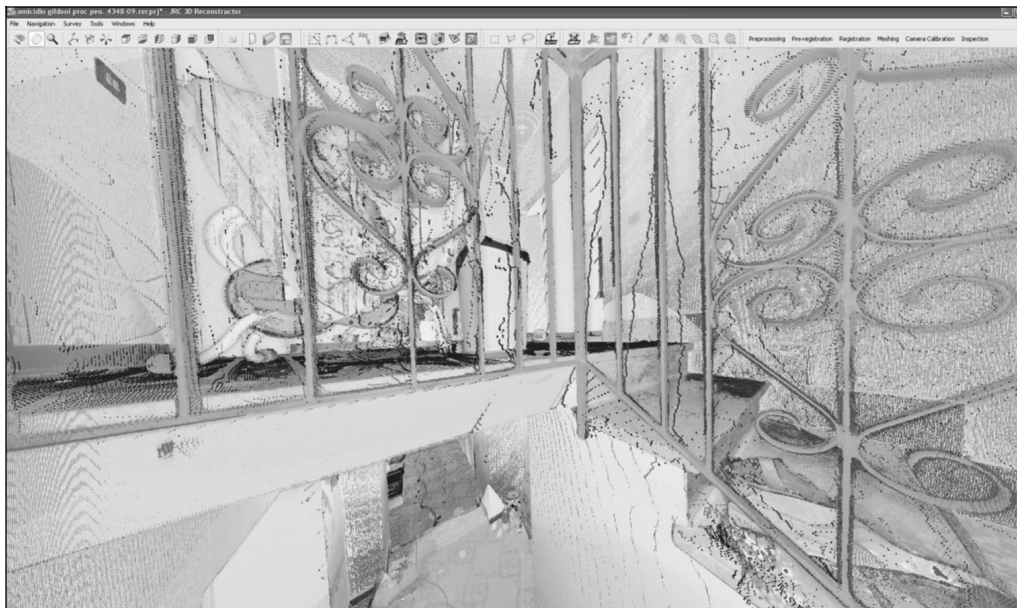


Fig. 142. – Visuale della vittima in corrispondenza del punto in cui è stato colpita.

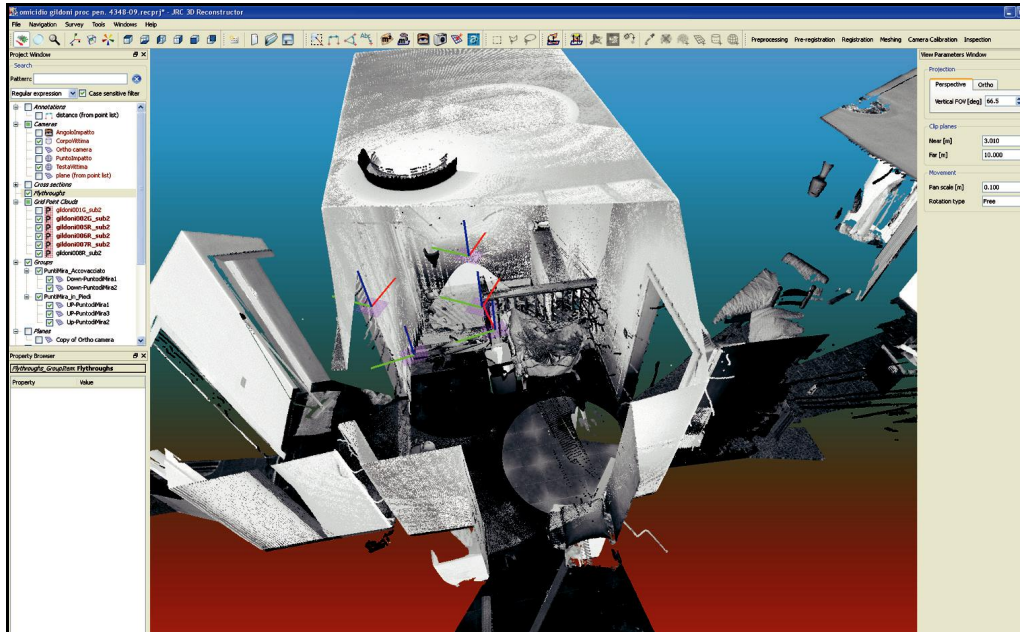
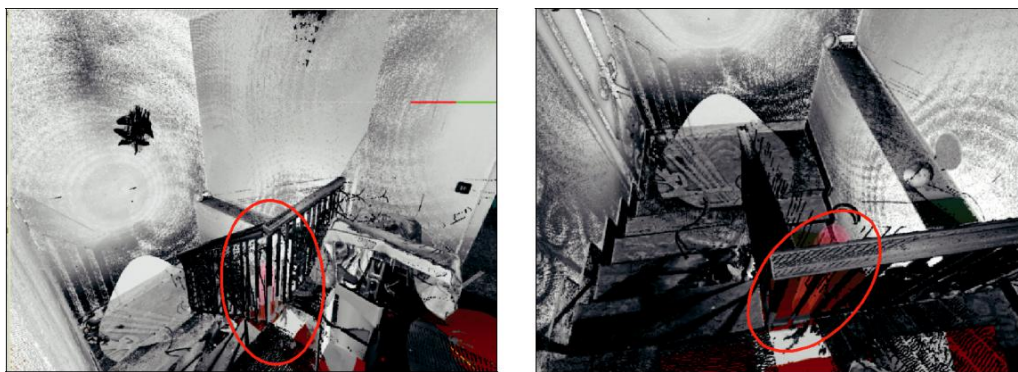


Fig. 143. – Possibili posizioni dell'indagato collocate nell'ambiente 3D.

zioni all'interno di un angolo di possibile intervallo di posizioni limitato dai vincoli fisici presenti nell'ambiente (muri, *cyclette*, pavimento del pianerottolo, misure antropometriche dell'indagato).

È stata valutata la visuale dell'indagato nelle varie posizioni e se lo stesso da quelle posizioni potesse vedere la sommità della testa della vittima e quali ostacoli il proiettile potesse incontrare nel suo tragitto (Fig. 144 e 145).



Figg. 144 e 145. – Possibile visuale dell'indagato da una delle posizioni stimate, viene evidenziata in rosso la posizione della vittima.

Il caso descritto ha compiutamente dimostrato come, attraverso la fedele ricostruzione tridimensionale degli interni dell'edificio e la possibilità di posizionare virtualmente la vittima e di simulare le possibili posizioni dell'indagato, si possano fornire agli investigatori una molteplicità di elementi difficilmente reperibili con altre tecniche di rilievo.

22. Bibliografia

- ALGARNI G., HAMIANE M., *A novel technique for automatic shoeprint image retrieval*, in *Forensic science international*, 2008, 181, p. 10 ss.
- BERALDIN J.A., GUIDI G., RUSSO M., *Acquisizione 3D e modellazione poligonale*, McGraw-Hill, 2010.
- BLITZER H.L., JACOBIA J., *Forensic digital imaging and photography*, Academic Press, 2002.
- CANCIANI M., CANNATA G., DRAP P., SEINTURIER J., SGRENZAROLI M., *Lasers scanning and close range photogrammetry: towards a single measuring tool dedicated to architecture and archaeology*, in *CIPA XIXth International Symposium*, Antalya, 2003.
- CANTONI R., LANZI C., VASSENA G., *Integrazione tra laser scanning e metodologie di rilievo tradizionali nella ricostruzione 3D*, in *Proceedings of VI National Conference ASITA GEOMATICA per l'ambiente, il territorio ed il patrimonio culturale*, La Perugina, 2002.
- CANTONI R., LANZI C., VASSENA G., *Laser scanning and traditional survey integration to build a complete 3D digital model of "Sagrestia dell'Archivio di Stato a Mantova"*, in *Proceedings of CIPA WG 6 International Workshop on "Scanning for Cultural Heritage Recording"*, Corfù, 2002.
- CHRISTOPHER D. DUNCAN, *Advanced crime scene photography*, CRC Press, 2009.
- CROSILLA F., GALETTO R., *La tecnica del "laser scanning". Teoria ed applicazioni*, CISM, 2003.
- EDWARD M.R., *Crime scene photography*, Elsevier, 2010.
- GARDNER R.M., *Practical crime scene processing and investigation*, CRC Press, 2005.
- GONÇALVES J.M.C., *3D laser range scanner for design verification*, in *44th INMM Annual Meeting*, Phoenix Arizona, 2003.
- GONÇALVES J.G.M., HOGG D.C., SEQUEIRA V.K., WOLFART E., *Automated reconstruction of 3D models from real environments*, in *Journal of photogrammetry and remote sensing*, 1999, 54, p. 1 ss.
- IADECOLA G., *Medicina legale per l'attività di polizia giudiziaria*, Laurus Robuffo, 2002.
- KELBY S., *The Digital Photography Book*, Peachpit Press, 2006.
- LEE H.C., PALMBACH T., MILLER M.T., *Henry Lee's handbook of crime scene investigation*, Academic Press, 2001.
- LINGUA A., RINAUDO F., *Valutazione della qualità metrica dei dati acquisiti mediante laser scanner terrestre*, in *Proceedings ASITA Conference*, Rimini, 2001.
- MARBS A., *Experiences with laser scanning at i3mainz*, in *CIPA Working Group VI, I3 Mainz - Institute for spatial information and surveying technology, FH Mainz*, University of applied sciences, Mainz, Germany, 2002.
- MIGLIARI R., *Frontiere del rilievo. Dalla matita alle scansioni 3D. Strumenti del Dottorato di Ricerca*, Gangemi Edizioni, 2002.
- MILLER L.S., *Police photography*, V ed., Anderson Publishing, 2006.
- NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, *Guide for fire and explosion investigation*, Quincy, 2008.
- OTTOLINGHI S., *Trattato di polizia scientifica*, Società ed. Libreria, 1931.
- REDSICKER D.R., *The practical methodology of forensic photography*, II ed., CRC Press, 2001.

SGRENZAROLI M., WOLFART E., *Accurate texture-mapped 3D models for documentation, surveying and presentation purposes; closerange imaging, long-range vision ISPRS Commission V, Symposium, 2002.*

VASSENA G., SGRENZAROLI M., *Tecniche di rilevamento tridimensionale tramite laser scanner, vol. 1, Starrylink Editrice, 2007.*

Procedure operative

(on-line)

