

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN MEDICINA E CHIRURGIA

Dipartimento di Scienze Cardiologiche, Toraciche e Vascolari e di
Sanità Pubblica

Direttore: Prof. Federico Rea

Sede di Medicina Legale

TESI DI LAUREA

TITOLO TESI

**VALIDAZIONE DI *HAND-HELD SCANNER*
NELLO STUDIO ANTROPOMETRICO-FORENSE
DI LESIONI D'ARMA DA FUOCO**

RELATORE: Prof. Giovanni Cecchetto

CORRELATORE: Dott.ssa Enrica Callegari

LAUREANDA: Linda Modena

ANNO ACCADEMICO 2021/2022

INDICE

RIASSUNTO	3
1 INTRODUZIONE	7
1.1 Incidenza dei decessi a causa d'arma da fuoco sui tassi di mortalità a livello mondiale	7
1.2 L'intervento dell'Autorità Giudiziaria che si avvale dell'ausilio del medico legale	8
1.3 Armonizzazione delle procedure autoptiche	8
1.4 Principi e regole relativi alle procedure autoptiche medico-legali (ECLM)	10
1.4.1 Ambiti di applicazione.....	10
1.4.2 Procedure autoptiche.....	11
1.4.3 Procedure autoptiche specifiche per le morti d'arma da fuoco	12
2 SCOPO DELLO STUDIO.....	15
3 MATERIALI E METODI.....	17
3.1 MATERIALI.....	17
3.1.1 Materiali utilizzati per le misurazioni antropometriche.....	17
3.2 METODI.....	18
3.2.1 Accertamento necroscopico forense	18
3.2.2 Misura analogica delle distanze tallone-lesione d'arma da fuoco	19
3.2.3 Scansioni digitali del corpo e misura digitale della distanza tallone-lesione d'arma da fuoco	20
3.2.4 Analisi statistica	22
4 RISULTATI.....	25
4.1 Accertamento necroscopico	25
4.2 Lesioni d'arma da fuoco analizzate.....	31
4.2.1 Misurazioni analogiche (Tabella 1)	32
4.2.2 Misurazioni digitali.....	32
4.2.3 Variabilità intra- e inter-individuale	42
4.2.4 Accuratezza (Tabella 12).....	43
5 DISCUSSIONE.....	45
5.1 Interpretazione dei risultati	45
5.2 Vantaggi degli hand-held scanner	47
5.3 Limiti della metodica	49
5.4 Applicazioni in ambito medico-legale	50
5.5 Prospettive future	51
6 CONCLUSIONI	53
7 BIBLIOGRAFIA.....	55

RIASSUNTO

Introduzione. Le linee guida metodologico-accertative per la rilevazione e caratterizzazione delle lesioni d'arma da fuoco prevedono la realizzazione di misurazioni analogiche con metro rigido, per localizzarle topograficamente sulla superficie corporea. Recentemente sono stati introdotti sul mercato dei dispositivi di *3D surface documentation*, ma attualmente non è ancora stata validata la loro applicabilità in ambito di balistica forense.

Scopo dello studio. Questo studio si prefigge l'obiettivo di testare e applicare i dispositivi *hand-held scanner* ai casi autoptici di decessi per lesione d'arma da fuoco, confrontando i risultati della misurazione analogica standard delle distanze tallone-lesione d'arma da fuoco con quelli emersi dalle misurazioni effettuate tramite ricostruzione tridimensionale, al fine di valutarne la precisione e l'accuratezza.

Materiali e metodi. Viene testato un iPad Pro 11 di seconda generazione dotato di sensore LiDAR per la scansione delle superfici e applicazione Polycam pro. Sono stati studiati i corpi di quattro persone decedute a causa di lesioni d'arma da fuoco. In sede autoptica, per ciascun cadavere erano effettuate, da un unico operatore, le misurazioni analogiche delle distanze tallone-lesione d'arma da fuoco e le scansioni tridimensionali del corpo tramite il dispositivo sovracitato. Tre operatori effettuavano, in giorni distinti, dieci misurazioni digitali per ciascuna distanza considerata con l'ausilio del software Meshlab. Per ogni misura sono state valutate variabilità intra- e inter-individuale e accuratezza.

Risultati. I dati statistici mostrano una elevata precisione della procedura, con valori sostanzialmente sovrapponibili tra le misure effettuate dallo stesso operatore e da operatori diversi e un'accuratezza inferiore del 2%.

Conclusioni. iPad Pro 11 con app Polycam rappresenta una valida alternativa al sistema analogico tradizionale per la caratterizzazione topografica delle lesioni d'arma da fuoco a fini antropometrici forensi.

Alla luce degli ottimi risultati preliminari ottenuti, si possono ipotizzare nuove frontiere di applicazione di tali dispositivi.

ABSTRACT

Introduction. Forensic autopsy methodological assessment guidelines state that, for the detection and characterization of gunshot wounds, a series of measurements should be carried out to localize the lesion in the body surface. Recently, 3D surface documentation devices have been introduced to the market, but their applicability in forensic ballistics has not been validated yet.

Aim of the study. The aim of this study is to test an hand-held scanner device to autopsy cases of gunshot related deaths measuring the heel-to-firearm wounds distances, in order to assess its accuracy and precision in the field of forensic ballistics.

Materials and methods. A second-generation iPad Pro 11, gifted with a LiDAR sensor for surface scanning and Polycam pro application, has been tested, analyzing the corpses of four people who died from gunshot wounds. Before the autopsies, analogic measurements of heel-to-firearm injury distances and three-dimensional body scans, using the above-mentioned device, were carried out made for each corpse by a single operator. By using Meshlab software, three operators performed ten digital measurements, on separate days, for each distance considered. Intra- and inter-individual variability and accuracy were calculated and evaluated.

Results. Statistical analysis did not find any significant variation in intra operator variability, as well as a good correlation between the measurements across all operators. Moreover, our data show an accuracy error lower than 2%.

Conclusions. iPad Pro 11 with Polycam app represents a viable alternative to the traditional analog system for topographic characterization of gunshot wounds for forensic anthropometric purposes.

Considering the excellent preliminary results obtained, new frontiers of application of such devices can be hypothesized.

1 INTRODUZIONE

1.1 Incidenza dei decessi a causa d'arma da fuoco sui tassi di mortalità a livello mondiale

Le armi da fuoco costituiscono, purtroppo e spesso, il mezzo attraverso il quale si consumano omicidi, suicidi e lesioni, volontarie e involontarie, rappresentando un importante problema di salute pubblica, con costi sociali ed economici che vanno ben oltre la perdita immediata della vita.

I tassi di mortalità legati alle armi da fuoco variano da stato a stato e gli elementi causali di queste disparità globali sono legati a questioni complesse, che differiscono per regione e paese.

In tutto il mondo, è stato stimato che 251.000 persone siano morte per lesioni da arma da fuoco nel 2016, con 6 paesi (Brasile, Stati Uniti, Messico, Colombia, Venezuela e Guatemala) in cui si è verificato il 50,5% di tali morti.

A livello globale, la maggior parte delle morti per lesioni d'arma da fuoco nel 2016 era rappresentata da omicidi (64%), pari ad un totale di 161.000 decessi; inoltre, il 27% era rappresentato da suicidi (67.500), mentre le morti accidentali costituivano il rimanente 9% (23.000).

In Italia, totale di decessi per arma da fuoco nel 2016 ammontava a 974 unità (1).

1.2 L'intervento dell'Autorità Giudiziaria che si avvale dell'ausilio del medico legale

Ritenuto che *“l'esistenza di forme di tutela diretta della persona umana rappresenta una costante dei sistemi penali”* (2), nelle ipotesi di morte violenta, in particolare se ascrivibile a lesione da arma da fuoco, l'intervento dell'Autorità Giudiziaria è obbligatorio e necessario per l'accertamento delle cause e della dinamica di morte.

A tale scopo, l'Autorità Giudiziaria si avvale del necessario ausilio del medico legale, per accertare le cause e le circostanze del decesso tramite l'autopsia giudiziaria.

1.3 Armonizzazione delle procedure autoptiche

Lo sviluppo esponenziale delle tecniche istologiche, genetiche, tossicologiche e radiologiche, a cui si è assistito negli ultimi anni, ha comportato la necessità di elaborare linee guida per le diverse tipologie di morte (3).

Allo scopo di implementare metodi uniformi di indagine e valutazione condivisi dalla comunità scientifica medico-legale, nonché per migliorare le indagini forensi (4), alla fine degli anni 2000 sono stati elaborati e divulgati numerosi documenti e pubblicazioni.

La ricerca finalizzata all'armonizzazione di tali procedure ha portato alla produzione di indicazioni specifiche e di dettagliate descrizioni o protocolli dell'approccio da utilizzare per particolari tipi di morte, con attenzione ai tipi di campioni autoptici da prelevare e dei tipi di analisi ed esami complementari da effettuare (istologia, tossicologia, genetica, microbiologia).

In particolare, le indicazioni specifiche riguardano i casi di:

- a) omicidio o sospetto omicidio;

- b) morte improvvisa e inaspettata, compresa la morte improvvisa del lattante;
- c) violazione dei diritti umani, come il sospetto di tortura o qualsiasi altra forma di maltrattamento;
- d) suicidio o sospetto suicidio;
- e) sospetto di negligenza medica;
- f) incidenti, sia di trasporto che professionali o domestici;
- g) malattie e rischi professionali;
- h) disastri tecnologici o ambientali;
- i) decessi in custodia o associati ad attività di polizia o militari;
- j) corpi non identificati o scheletrizzati (5).

Dall'inizio del XXI secolo sono state pubblicate linee guida internazionali o *best practice* elaborate da società scientifiche internazionali (International Academy of Legal medicine-IALM, National Association of Medical Examiners-NAME, American Academy of Forensic Sciences-AAFS, International Association of Forensic Science-IAFS, new Mediterranean Academy of Forensic Sciences-nMAFS, European Council of Legal Medicine-ECLM, Armed Forces Institute of Pathology-AFIP, Association of European Cardiovascular Pathology-AECVP) (6) in tema di metodi di accertamento, diagnosi e classificazione delle "morti naturali". L'accreditamento ECLM può contribuire a standardizzare l'esame medico-legale per quanto riguarda la determinazione delle modalità e delle cause di morte nei casi in cui tali aspetti non siano chiari (3).

1.4 Principi e regole relativi alle procedure autoptiche medico-legali (ECLM)

1.4.1 Ambiti di applicazione

La raccomandazione di armonizzazione dei protocolli di autopsia medico-legale, pubblicata dall'*European Council of Legal Medicine* nel 2014, indica gli ambiti di applicazione della stessa:

- a) nei casi in cui la morte possa essere dovuta a cause non naturali, l'autorità competente, accompagnata da uno o più esperti medico-legali, dovrebbe, se del caso, indagare sulla scena, esaminare il corpo e decidere se effettuare un'autopsia;
- b) l'autopsia deve essere eseguita in tutte le morti innaturali evidenti o sospette, anche quando vi è un ritardo tra gli eventi causali e la morte, in particolare nei casi riportati precedentemente;
- c) gli esperti medico-legali devono esercitare le loro funzioni in totale indipendenza e imparzialità. Non devono essere soggetti ad alcuna forma di pressione e devono essere obiettivi nell'esercizio delle loro funzioni, in particolare nella presentazione dei risultati e delle conclusioni (5).

Secondo il protocollo ECLM, nell'eventualità in cui si rientri nella casistica precedente, si deve eseguire un'accurata indagine della scena in cui è avvenuto il presunto crimine.

1.4.2 Procedure autoptiche

L'esame esterno del cadavere prevede l'analisi degli indumenti con relativa descrizione, stima dell'età, sesso, corporatura, altezza e peso, stato di nutrizione, colore della pelle e caratteristiche particolari (come cicatrici, tatuaggi e/o amputazioni).

Devono essere descritti i segni abiotici, compresi i dettagli relativi al *rigor* e all'ipostasi (distribuzione, intensità, colore e migrabilità), alla putrefazione e ai cambiamenti indotti dall'ambiente.

È necessario, inoltre, in caso di presenza di tracce, effettuare una prima descrizione dell'ispezione cadaverica esterna, con eventuale campionamento delle stesse, e una successiva ispezione in seguito alla pulizia del corpo con rimozione di tracce e/o imbrattamenti.

Si procede con l'ispezione della cute del cadavere, con l'indagine accurata della testa e degli orifizi facciali, del torace, dell'addome, di ano e genitali, delle estremità e dei reperti materiali sotto alle unghie.

Tutte le lesioni devono essere descritte minuziosamente, con rispettiva rilevazione fotografica con riferimento metrico.

In questa fase è necessario decidere le strategie di indagine e la necessità di documentazione mediante procedure radiologiche e di *imaging*.

Successivamente si procede con l'esame interno del corpo.

Tutti gli artefatti rilevanti prodotti dalla dissezione e dalle procedure di campionamento devono essere documentati.

Tutte e tre le cavità del corpo, testa, torace e addome, devono essere indagate con dissezione per piani anatomici.

L'esame e la descrizione delle cavità corporee comprendono: l'esame della presenza di gas (pneumotorace), la misurazione del volume dei liquidi e del sangue, l'aspetto delle superfici interne, l'integrità dei confini anatomici, l'aspetto esterno degli organi e la loro localizzazione, le aderenze e le obliterazioni delle cavità, le lesioni e le emorragie.

Ruolo fondamentale è rivestito dalla stesura del verbale di autopsia, che assume un valore di rilievo, da redarsi sotto forma di un documento chiaro, preciso e non equivocabile (5).

1.4.3 Procedure autoptiche specifiche per le morti d'arma da fuoco

In caso di morte d'arma da fuoco, sussistono specifici protocolli autoptici. Quello pubblicato dall'*European Council of Legal Medicine* (ECLM) (5) prevede che si debba procedere come riportato:

- A. descrizione dettagliata di luogo e circostanze del fatto, arma impiegata, caratteristiche del proiettile, sede degli impatti nell'ambiente, numero e posizione dei bossoli rinvenuti, le posizioni delle diverse persone coinvolte;
- B. esame approfondito degli indumenti, e relative lacerazioni, prelievo e conservazione;
- C. descrizione delle tracce di sangue su cadavere e indumenti;
- D. descrizione delle lesioni corrispondenti ai fori di ingresso e di uscita dei proiettili, segnalando la loro sede in relazione ai punti di repere anatomici, la loro distanza dalla pianta dei piedi e il tramite anatomico;
 - 1) descrizione di ogni impronta della bocca dell'arma sulla cute;
 - 2) prelievi di cute non lavata dal contorno delle lesioni di ingresso e di uscita dei proiettili;
 - 3) esame radiografico prima e/o durante l'autopsia (se necessario);
 - 4) ricostruzione dei tramiti e delle traiettorie dei proiettili;
 - 5) conclusione sull'orientamento del o dei colpi, sulla loro successione, su quali furono subiti in vita e quali no e sulla posizione della vittima durante il fatto.

Grazie a queste raccomandazioni, dunque, si sta tentando di uniformare le procedure autoptiche, in modo da conferire alle stesse una maggior standardizzazione.

Tradizionalmente, però, l'esame autoptico medico-legale si basa principalmente sull'osservazione visiva e sul giudizio basato sull'esperienza personale del professionista nei processi di autopsia e di esame istopatologico.

Quindi, per la grande soggettività legata a queste procedure, l'integrità scientifica delle prove forensi è ripetutamente messa in discussione.

Lo sviluppo della scienza e della tecnologia a cui si è assistito negli ultimi anni, l'integrazione della patologia forense, delle tecnologie di *imaging* medico, delle tecnologie informatiche, della telematica, della tecnologia di elaborazione delle informazioni, della biomeccanica e di altre discipline hanno dato vita a una serie di nuovi metodi di *imaging* forense *post-mortem*, apportando una svolta rivoluzionaria nel settore (7).

Anche il Gruppo Italiano di Patologia Forense (GIPF) ha proposto delle proprie linee guida specifiche per la procedura autoptica in caso di lesioni d'arma da fuoco (8). In particolare, durante l'esame esterno, si rende necessario descrivere la sede anatomica di ogni lesione di ingresso e di uscita indicando:

- distanza in centimetri dalla linea mediana anteriore o posteriore;
- distanza in centimetri dal piano passante per il vertice (parallelo al piano di Francoforte), dal piano plantare e dal piano bischiatico.

Altri lavori scientifici approfondiscono gli aspetti della localizzazione e della misurazione delle lesioni d'arma da fuoco nonché l'importanza di un'accurata descrizione di queste nel referto autoptico (9,10).

In particolare, le lesioni devono essere caratterizzate topograficamente sul corpo.

Le misure per localizzare tali lesioni possono essere prese dalla sommità del capo e a destra o a sinistra della linea mediana del corpo, ma si possono usare anche altri punti di riferimento.

L'uso di un punto di riferimento coerente consente di ricostruire le traiettorie del proiettile, che è la ragione principale per cui si effettuano queste misurazioni.

Successivamente, la lesione stessa deve essere misurata, generalmente in due dimensioni e descritta in base alla sua forma (ad esempio, rotonda, ovale, simile a una fessura, stellata, irregolare).

Si deve annotare la presenza o l'assenza di un bordo di abrasione, misurandone la larghezza e l'estensione.

È necessario, infine, annotare l'eventuale presenza di aloni di affumicatura o tatuaggio prodotto per effetto delle polveri incombuste e misurarne l'estensione.

2 SCOPO DELLO STUDIO

Nella pratica autoptica tradizionale, le misurazioni delle lesioni d'arma da fuoco vengono effettuate tramite metodo analogico (3).

Il metodo analogico classico consiste nella rilevazione, tramite metro rigido o flessibile, delle distanze tra la lesione provocata dall'arma da fuoco e alcuni punti di reperi anatomici che consentano la localizzazione della lesione stessa.

Le lesioni vengono caratterizzate dal punto di vista topografico al fine di poter ricostruire il tramite anatomico e, da questo, eventualmente riuscire a ricostruire la traiettoria percorsa dal proiettile.

Per rendere possibile ciò, è imprescindibile identificare la distanza tra la lesione d'arma da fuoco e il punto più caudale del corpo, ovverosia il tallone, e posizionare topograficamente il proiettile nella superficie.

Questa, però, risulta essere una procedura complicata, che richiede molto tempo e, se non si possiedono strumenti adeguati alla rilevazione precisa delle distanze, si possono generare imprecisioni nelle misurazioni.

Negli ultimi anni, sono stati sviluppati numerosi dispositivi di largo consumo, che consentono l'acquisizione di immagini, i quali possono configurarsi come valida alternativa rispetto al sistema analogico classico, per la rilevazione e caratterizzazione delle lesioni d'arma da fuoco (11).

Tra le nuove tecnologie trova spazio la categoria degli *hand-held scanner*, degli strumenti che consentono la scansione e l'acquisizione di immagini, allo scopo di effettuare una *3D surface documentation* (12,13).

I punti di forza di questi dispositivi sono la loro praticità di utilizzo, il fatto che permettono di svolgere misurazioni anche in un secondo tempo rispetto all'autopsia, e, non da ultimo, la loro economicità (14–16).

In ambito forense, questi dispositivi sono già stati testati per le rilevazioni antropometriche (17) e per la rilevazione delle lesività cutanee generiche (18), ivi compreso lo studio delle lesioni d'arma da fuoco.

Nonostante ciò, la stima della precisione e dell'accuratezza di questi dispositivi, in tale ambito, deve ancora essere calcolata e sono in corso studi di validazione (11).

Questo studio prospettico si prefigge l'obiettivo di testare ed applicare un dispositivo *hand-held scanner* ai casi reali di decessi per lesione d'arma da fuoco, confrontando la misurazione analogica standard della distanza tallone-lesione d'arma da fuoco con la stessa effettuata digitalmente tramite ricostruzione tridimensionale del corpo da analizzare, attraverso un *hand-held scanner*.

L'obiettivo di questo studio è, dunque, di valutare in maniera sistematica il possibile utilizzo di questo *hand-held scanner* nelle procedure di misurazioni antropometrico-forensi in corso di autopsia, nei casi di decessi per lesione d'arma da fuoco.

Nello specifico, si indaga la precisione del dispositivo tramite il confronto di misurazioni multiple, effettuate da un singolo operatore (variabilità intra-individuale) e da operatori diversi (variabilità inter-individuale), e l'accuratezza dello strumento tramite il confronto con le misurazioni analogiche effettuate con metro rigido.

3 MATERIALI E METODI

3.1 MATERIALI

3.1.1 Materiali utilizzati per le misurazioni antropometriche

1. Metro rigido da 198 cm.
2. Strumento composto da quattro aste di materiale ligneo dotate di occhiello.
3. iPad Pro 11'' di 2^a generazione, appartenente alla 4^a generazione di iPad Pro (Apple Inc., Cupertino, USA) con sistema operativo iOS 14.4; tablet dotato di sistema di rilevazione 3D basato su tecnologia LiDAR.
4. Applicazione Polycam pro (Polycam Inc., Altadena, USA) versione 1.4.5; utilizza il sensore LiDAR montato su iPad Pro, esportando i file in formato .obj.
5. MacBook Air versione 12.0.1 (Apple Inc., Cupertino, USA) con sistema operativo macOS 12.4.
6. Programma MeshLab (Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione "A. Faedo" (ISTI), Pisa, Italia, organo del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR, Roma, Italia) versione 2022.02.
7. Programma Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, USA) versione 16.60.
8. Software per analisi statistica IBM SPSS.
9. Software per analisi statistica GRAPH PAD.

3.2 METODI

3.2.1 Accertamento necroscopico forense

Nel presente studio vengono analizzati, a partire dal mese di gennaio 2022 fino al mese di giugno 2022, i corpi di persone decedute a causa di lesioni d'arma da fuoco.

Per ogni caso, la procedura eseguita è stata la seguente.

1. Indagine radiologica (Tomografia computerizzata *post mortem*-PMTC) prima dell'autopsia, per determinare la presenza e la sede di eventuali proiettili ritenuti, frammenti e la ricostruzione del tramite del proiettile.
2. Acquisizione fotografica del corpo vestito, seguita dall'analisi degli indumenti e delle regioni corporee esposte, ricercando residui dello sparo e/o ematici, riportandone una descrizione dettagliata.
Come da procedura, i cadaveri venivano denudati, si analizzavano gli indumenti nel punto di passaggio del proiettile e si effettuava un'acquisizione fotografica degli stessi.
3. Esame esterno del corpo, descrivendo la sede anatomica di ogni lesione d'arma da fuoco, rilevando poi, per ciascuna di esse, la distanza longitudinale tra la lesione ed il tallone del cadavere mediante l'impiego del metro rigido e dello strumento composto da aste.
4. Scansioni tridimensionali del corpo tramite iPad Pro dotato di applicazione Polycam.
Le scansioni venivano effettuate da un operatore, indicato come Operatore 1.
5. Esame interno del corpo, con relativa descrizione della sede anatomica dei fori di ingresso e di uscita e dei rispettivi tramiti intracorporei con la sequenza delle strutture lese dal proiettile (o dai proiettili).

A tal fine, si effettuava una sezione cadaverica per piani, descrivendo le strutture attraversate dal proiettile stesso e repertando eventuali proiettili ritenuti.

3.2.2 Misura analogica delle distanze tallone-lesione d'arma da fuoco

Si descrive di seguito la procedura seguita per la rilevazione analogica delle distanze considerate.

Si disponeva il metro rigido in posizione parallela all'asse longitudinale del corpo.

In seguito, un'asta veniva inserita nel metro tramite l'occhiello alla misura di 0 cm, in modo che, posta perpendicolarmente al metro e all'asse longitudinale del corpo, risultasse a contatto con la superficie plantare, in corrispondenza del tallone.

Era in seguito inserita, con la stessa modalità, una seconda asta, anch'essa perpendicolare al metro e all'asse longitudinale del corpo.

Si poneva la seconda asta in corrispondenza del foro del proiettile da considerare, stabilendo così la distanza tallone-lesione d'arma da fuoco (*Figura 1*).



Figura 1. Rilevazione distanza tallone-foro d'ingresso tramite strumento dotato di aste lignee.

3.2.3 Scansioni digitali del corpo e misura digitale della distanza tallone-lesione d'arma da fuoco

L'acquisizione delle scansioni veniva effettuata con iPad Pro e app Polycam da un Operatore, indicato come Operatore 1.

Le scansioni erano eseguite effettuando dei movimenti oscillatori sopra il corpo (a circa 50 cm) in senso cranio-caudale in modo da ottenere la scansione tridimensionale desiderata.

Erano realizzate scansioni della superficie anteriore e posteriore dei corpi.

Le misurazioni delle distanze tallone-lesione d'arma da fuoco rilevate dalle scansioni erano effettuate da tre operatori: Operatore 1, Operatore 2, Operatore 3 (*Figura 2*).

Per determinare le misurazioni con metodo digitale, l'analisi delle scansioni ottenute è stata effettuata grazie al software desktop MeshLab con la seguente modalità:

1. inserire nella *mesh poligonale* un sistema di riferimento cartesiano a tre coordinate XYZ grazie alla funzione "Draw XYZ axes in world coordinates";
2. attivare la funzione "Manipulators tool", che permette di traslare e ruotare l'immagine tridimensionale del corpo secondo gli assi di riferimento;
3. orientare il corpo in modo che l'asse longitudinale di quest'ultimo sia parallelo all'asse Z e perpendicolare all'asse X;
4. se necessario, aiutarsi con lo strumento "Not editing" per zoomare o spostare il piano di visualizzazione del corpo nella *mesh poligonale*;
5. muovendo il corpo lungo l'asse Z, posizionare l'asse X in modo tale che passi per la base di appoggio dei talloni del cadavere (*Figura 2*);
6. selezionare "Reference scene", che tra le varie funzioni permette di calcolare le distanze lungo gli assi cartesiani;
7. cliccare su "Scale reference" e poi su "Add New Distance", in questo modo si attiva sulla schermata una nuova distanza che di default imposta l'inizio (punto A) e la fine (punto B) della misura a livello dell'origine del sistema cartesiano;

8. selezionare la distanza attivata e cliccare dunque su "Pick Current Point B", che permette di impostare manualmente la fine della misura;
9. posizionare il punto B nella *mesh poligonale* a livello del punto di riferimento considerato individuato nell'immagine tridimensionale;
10. rilevare la misura in tabella nella colonna Y(b);
11. trascrivere la misura sul file Excel creato per la raccolta dati.

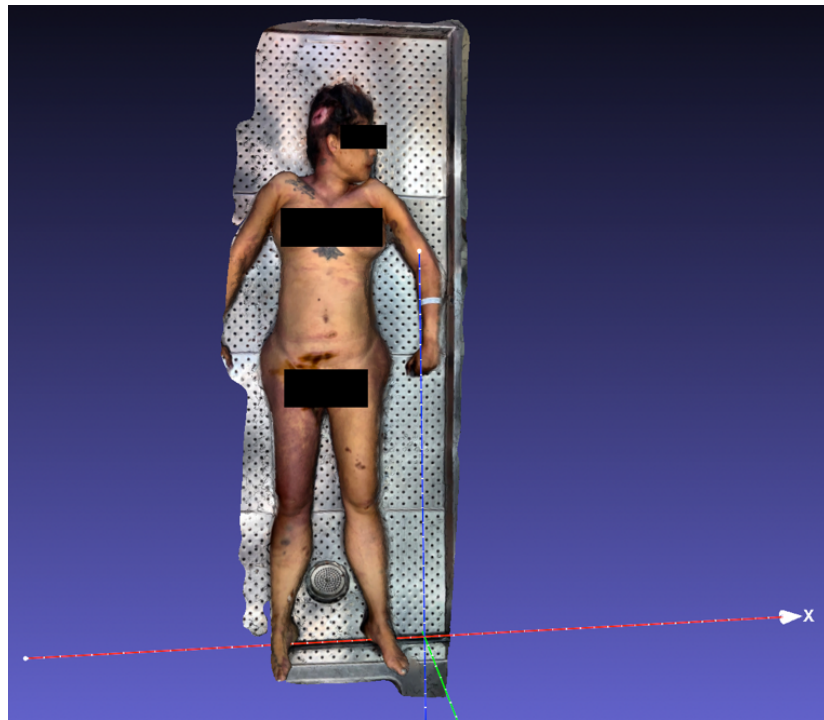


Figura 2. Posizionamento dell'asse X di modo che risulti tangente al tallone.

Si è ripetuta la stessa procedura per tutte le lesioni d'arma da fuoco rilevate.

Ciascuna distanza è stata misurata per dieci volte, in momenti distinti, da ciascun operatore.

3.2.4 Analisi statistica

La precisione è stata determinata come variabilità intra-operatore e inter-operatore.

La variabilità intra-operatore è stata calcolata per ognuno degli operatori mediante test ANOVA (test di Friedman), ritenendo accettabile un *p value* > 0,05.

In particolare, è stato calcolato il *p value* per ogni parametro considerato, in riferimento a ciascun operatore.

Da questi valori, è stata calcolata una media per classe di operatore, ottenendo così un *p value* medio per operatore.

In questo modo, si otteneva una variabilità unica finale per ogni operatore.

La variabilità inter-operatore è stata calcolata mediante correlazione interclasse (ICC) per misure medie, ritenendo accettabile una ICC > 0,7 (buona se > 0,8 e ottima se > 0,9) (19).

Anche in questo caso, è stata calcolata la media di tutte le misure di ogni operatore, la media finale per operatore veniva confrontata con quella degli altri operatori.

In questo modo, si otteneva una ICC unica.

Per ogni parametro considerato, misurato digitalmente, è stata valutata l'accuratezza, nello specifico, calcolando la media di ogni distanza considerata per ogni operatore.

Dai tre valori che ne risultano, viene calcolato, a sua volta, il valore medio.

Su questo valore medio viene calcolata l'accuratezza, tramite il calcolo della percentuale dell'errore d'accuratezza (scarto tra il valore misurato e quello reale) rispetto alla misura reale della lesione con la seguente formula:

$$\frac{\text{Media del Valore Misurato tra operatori} - \text{Valore Reale}}{\text{Valore Reale}} \times 100$$

Per “Media del Valore Misurato” si intende la media delle medie delle dieci misurazioni che ogni operatore ha effettuato per ogni lesione e per “Valore Reale” la misura analogica effettuata dall’Operatore 1.

Si è ritenuto accettabile un errore inferiore al 2% (20).

4 RISULTATI

Si riportano, dunque, i risultati delle misurazioni analogiche acquisite tramite metro rigido e quelli delle misurazioni digitali effettuate tramite il programma *Meshlab*, a partire dalle scansioni prodotte mediante iPad Pro con l'applicazione Polycam.

4.1 Accertamento necroscopico

Dal mese di gennaio 2022 al mese di giugno 2022 sono stati studiati, secondo il protocollo precedentemente descritto, quattro corpi di deceduti a causa di lesioni d'arma da fuoco.

Primo cadavere: soggetto di sesso maschile rinvenuto cadavere nel letto della propria abitazione; arma da fuoco di piccolo calibro rinvenuta in prossimità del corpo. Individuate due lesioni riconducibili a fori d'ingresso di proiettile in corrispondenza della regione temporale sinistra del capo (*Figura 3*) e dell'ipocondrio sinistro (*Figura 4*). La TC *post mortem* evidenziava la presenza di due proiettili ritenuti a livello della regione parieto-occipitale destra e in corrispondenza della proiezione cutanea della superficie posteriore della XII costa (*Figura 5*). All'autopsia si rilevavano lesioni a encefalo, pancreas, vena renale e XII costa sinistra. Causa di morte: shock neurogeno. Dinamica suicidaria.



Figura 3. Lesione temporale sinistra.



Figura 4. Lesione in ipocondrio sinistro

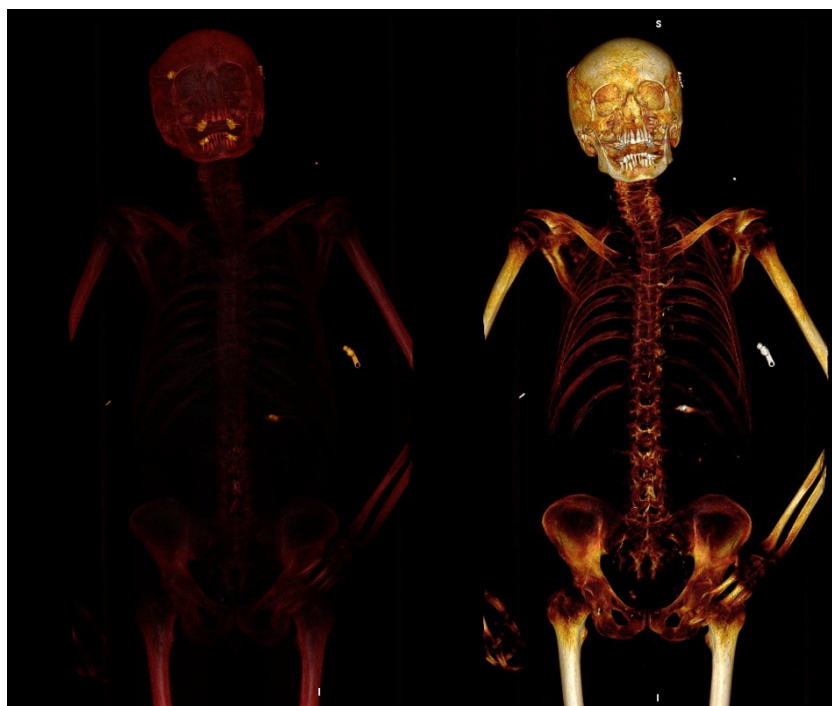


Figura 5. TC primo cadavere con visualizzazione dei proiettili ritenuti.

Secondo cadavere: soggetto di sesso femminile presentante plurime lesioni d'arma da fuoco e lesività polidistrettuali riconducibili ad investimento – arrotamento post-mortale. Individuate tre lesioni riconducibili a fori d'ingresso di proiettile, in corrispondenza della superficie laterale destra del collo (*Figura 6*), della regione deltoidea destra (*Figura 7*) e dell'ipocondrio destro (*Figura 9*), e due riconducibili a fori di uscita, a livello temporale sinistro (*Figura 10*) e della regione lombare laterale destra (*Figura 8*). La TC *post-mortem* evidenziava la presenza di due proiettili ritenuti in corrispondenza del lobo temporale sinistro, del cavo pleurico sinistro e un frammento a livello del cavo ascellare destro (*Figura 11*). All'autopsia si rilevavano lesioni a encefalo, cavità orale, mandibola, coste, polmoni, articolazione gleno-omeroale e fegato. Causa di morte: shock neurogeno. Dinamica omicidiaria.



Figura 6. Lesione al collo a destra.



Figura 7. Lesione alla regione deltoidea destra.



Figura 8. Lesione nella regione lombare destra.



Figura 9. Lesione in ipocondrio destro.

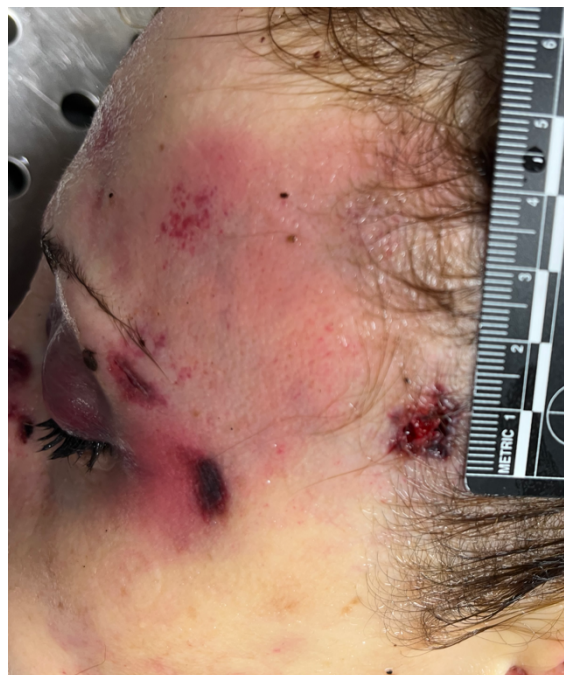


Figura 10. Lesione in regione temporale sinistra.

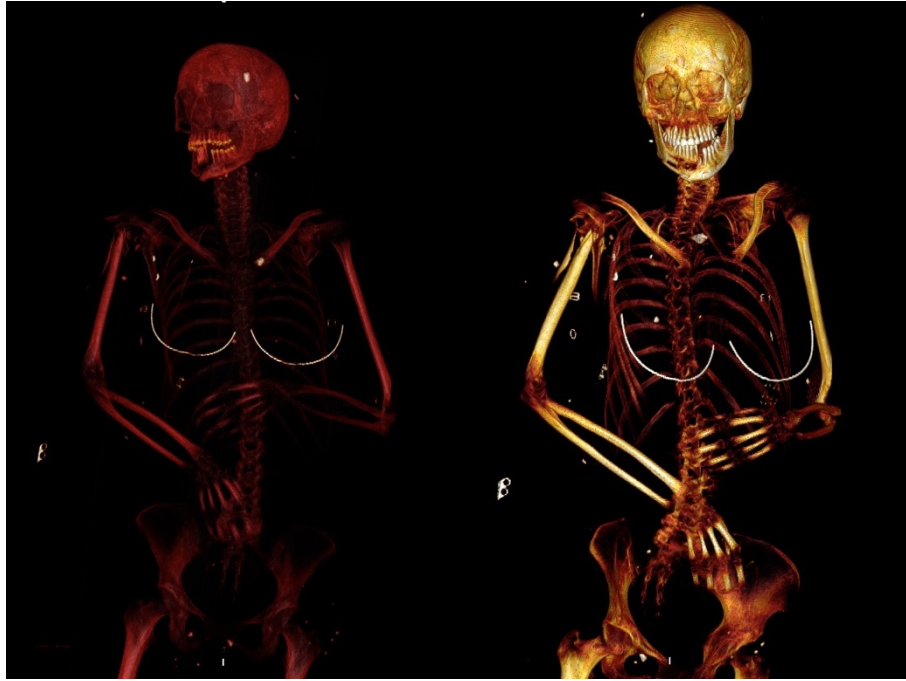


Figura 11. TC primo cadavere con visualizzazione dei proiettili ritenuti.

Terzo cadavere: soggetto di sesso femminile presentante singolo colpo d'arma da fuoco al capo e ustioni post-mortali agli arti inferiori. Individuata una lesione riconducibile al foro d'ingresso di proiettile in corrispondenza della regione parietale destra (*Figura 12*). La TC *post-mortem* evidenziava la presenza di un proiettile ritenuto in corrispondenza del lobo parietale sinistro (*Figura 13*). All'autopsia si rilevavano lesioni all'encefalo. Causa di morte: shock neurogeno. Dinamica omicidiaria.



Figura 12. Lesione nella regione parietale destra.

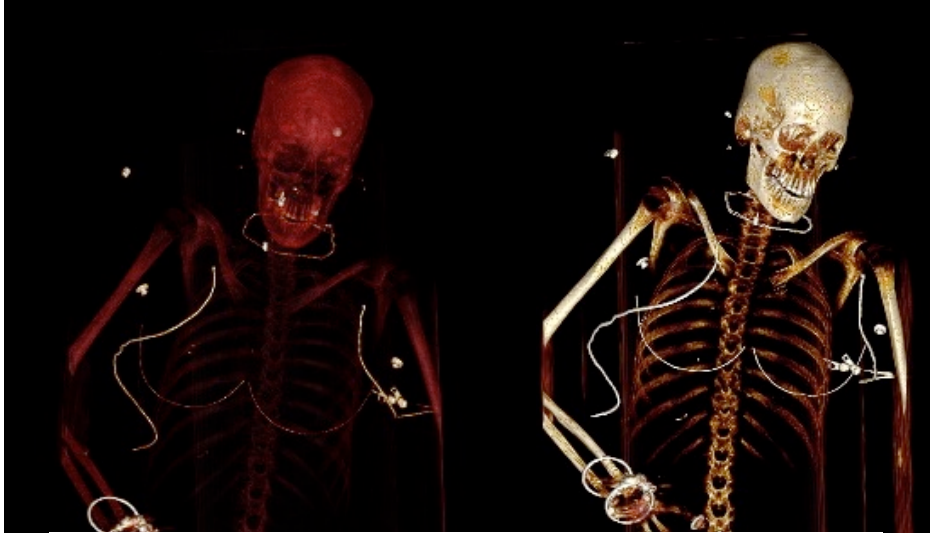


Figura 13. TC primo cadavere con visualizzazione dei proiettili ritenuti.

Quarto cadavere: soggetto di sesso maschile rinvenuto cadavere nella propria auto; arma da fuoco di piccolo calibro rinvenuta tra le mani. Individuata una lesione riconducibile al foro d'uscita del proiettile in corrispondenza della regione occipitale, in prossimità del vertice del capo (*Figura 14*). La TC *post-mortem* non evidenziava la presenza di proiettili ritenuti. All'autopsia era rilevata frattura della base cranica, la comunicazione con cavità nasale destra e lesione trapassante encefalo. Causa di morte: shock neurogeno. Dinamica suicidaria.



Figura 14. Lesione nella regione occipitale.

4.2 Lesioni d'arma da fuoco analizzate

Sono state rilevate, in totale, nove lesioni d'arma da fuoco, delle quali due sulla superficie anteriore, due a livello della superficie posteriore, due sulla superficie laterale sinistra e tre sulla superficie laterale destra dei corpi.

In particolare, sei erano riconducibili a fori d'ingresso e tre a fori d'uscita.

Per il primo corpo, si consideravano:

1. distanza tallone-lesione d'arma da fuoco al capo.
2. distanza tallone-lesione d'arma da fuoco in addome;

Per il secondo corpo, si consideravano:

1. distanza tallone-lesione d'arma da fuoco al capo;
2. distanza tallone-lesione d'arma da fuoco al collo a destra;
3. distanza tallone-lesione d'arma da fuoco alla spalla destra;
4. distanza tallone-lesione d'arma da fuoco in addome;
5. distanza tallone-lesione d'arma da fuoco al dorso.

Per il terzo corpo, si considerava la distanza tallone-lesione d'arma da fuoco nel capo.

Per il quarto corpo, si considerava la distanza tallone-lesione d'arma da fuoco al capo.

4.2.1 Misurazioni analogiche (*Tabella 1*)

Corpo considerato	Distanze tallone-lesione d'arma da fuoco	Valori reali
Corpo 1	Tallone - lesione d'arma da fuoco al capo	167,0 cm
	Tallone - lesione d'arma da fuoco in addome	114,0 cm
Corpo 2	Tallone - lesione d'arma da fuoco al capo	145,0 cm
	Tallone - lesione d'arma da fuoco al collo a destra	146,0 cm
	Tallone - lesione d'arma da fuoco alla spalla destra	135,0 cm
	Tallone - lesione d'arma da fuoco in addome	108,0 cm
	Tallone - lesione d'arma da fuoco al dorso	96,0 cm
Corpo 3	Tallone - lesione d'arma da fuoco al capo	169,5 cm
Corpo 4	Tallone - lesione d'arma da fuoco al capo	178,0 cm

Tabella 1. Valori delle distanze tallone-lesione d'arma da fuoco rilevati con strumento composto da aste.

4.2.2 Misurazioni digitali

Sono di seguito riportati, divisi per corpo, i risultati delle dieci misurazioni digitali ottenute da ciascun operatore (Operatore 1, Operatore 2, Operatore 3) dalle scansioni effettuate durante le autopsie, per ciascuna distanza considerata, comprensivi dei valori di media intra-operatore, mediana intra-operatore e mediana totale.

Distanza tallone-lesione d'arma da fuoco al capo – corpo 1 (Figura 15, Tabella 2)

	Operatore 1	Operatore 2	Operatore 3
Misura 1	167,50	168,20	167,60
Misura 2	167,66	167,20	167,50
Misura 3	168,22	167,10	167,30
Misura 4	168,21	167,60	167,30
Misura 5	167,68	167,40	167,50
Misura 6	167,84	168,00	167,70
Misura 7	168,02	167,80	167,60
Misura 8	167,79	167,40	167,60
Misura 9	167,76	167,30	167,40
Misura 10	168,00	167,90	167,70
Media	167,87	167,59	167,52
Mediana	167,82	167,50	167,55
Mediana totale	167,55		

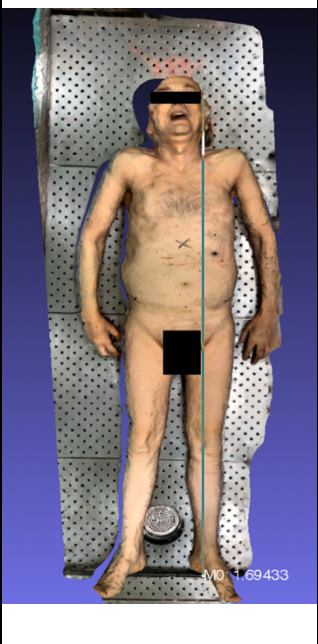


Tabella 2. Risultati delle misurazioni digitali in centimetri divisi per Operatore e di media e mediana intra-operatori e mediana totale. Si considerava la distanza tallone-lesione d'arma da fuoco al capo.

Figura 15. Rilevazione distanza digitale tallone-lesione d'arma da fuoco al capo.

Distanza tallone – lesione d’arma da fuoco in addome – corpo 1 (Figura 16, Tabella 3)

	Operatore 1	Operatore 2	Operatore 3
Misura 1	114,90	115,20	114,50
Misura 2	114,51	114,90	114,70
Misura 3	115,08	114,80	115,00
Misura 4	114,70	114,90	114,90
Misura 5	115,13	114,70	114,80
Misura 6	114,67	115,00	114,60
Misura 7	115,17	114,80	114,80
Misura 8	114,85	114,90	114,80
Misura 9	114,96	115,10	115,10
Misura 10	115,00	115,00	114,90
Media	114,90	114,93	114,81
Mediana	114,93	114,90	114,80
Mediana totale	114,90		




Tabella 3. Risultati delle misurazioni digitali in centimetri, divisi per Operatore e di media e mediana intra-operatore e mediana totale. Si considerava la distanza tallone-lesione d’arma da fuoco in addome.

Figura 16. Rilevazione distanza digitale tallone-lesione d’arma da fuoco in addome.

Distanza tallone-lesione d'arma da fuoco al capo – corpo 2 (Figura 17, Tabella 4)


	Operatore 1	Operatore 2	Operatore 3
Misura 1	156,36	155,70	155,70
Misura 2	156,05	155,20	155,40
Misura 3	156,27	155,60	155,60
Misura 4	155,87	155,40	155,60
Misura 5	155,80	155,00	155,90
Misura 6	155,84	155,90	156,10
Misura 7	155,90	155,30	155,90
Misura 8	155,88	156,00	155,50
Misura 9	155,83	155,60	154,90
Misura 10	155,87	155,80	155,60
Media	155,97	155,55	155,62
Mediana	155,88	155,60	155,60
Mediana totale	155,60		



Tabella 4. Risultati delle misurazioni digitali in centimetri, divisi per Operatore e di media e mediana intra-operatore e mediana totale. Si considerava la distanza tallone-lesione d'arma da fuoco al capo.

Figura 17. Rilevazione distanza digitale tallone-lesione d'arma da fuoco al capo.

Distanza tallone-lesione d'arma da fuoco al collo a destra – corpo 2
 (Figura 18, Tabella 5)

	Operatore 1	Operatore 2	Operatore 3	
Misura 1	146,76	145,40	146,10	
Misura 2	146,81	145,00	145,50	
Misura 3	146,82	145,20	145,90	
Misura 4	146,30	145,80	145,60	
Misura 5	146,34	146,00	145,50	
Misura 6	146,44	145,30	145,80	
Misura 7	146,25	145,60	145,60	
Misura 8	146,26	145,60	145,70	
Misura 9	146,31	145,30	146,00	
Misura 10	146,24	146,10	145,80	
Media	146,45	145,53	145,75	
Mediana	146,33	145,50	145,75	
Mediana totale	145,75			

*Tabella 5. Risultati delle misurazioni digitali in centimetri, divisi per Operatore e di media e mediana intra-operatore. Si considerava la distanza tallone-lesione d'arma da fuoco al collo.
 Figura 18. Rilevazione distanza digitale tallone-lesione d'arma da fuoco al collo.*

Distanza tallone-lesione d'arma da fuoco alla spalla destra – corpo 2
 (Figura 19, Tabella 6)


	Operatore 1	Operatore 2	Operatore 3	
Misura 1	137,98	135,50	136,50	
Misura 2	137,01	135,20	136,90	
Misura 3	137,89	135,80	136,20	
Misura 4	137,69	135,50	136,10	
Misura 5	137,59	135,30	136,70	
Misura 6	137,52	135,60	136,60	
Misura 7	137,60	135,50	136,60	
Misura 8	137,59	135,50	137,00	
Misura 9	137,61	135,10	136,80	
Misura 10	137,44	135,60	136,50	
Media	137,59	135,46	136,59	
Mediana	137,60	135,50	136,60	
Mediana totale	136,60			

Tabella 6. Risultati delle misurazioni digitali in centimetri, divisi per Operatore e di media e mediana intra-operatore e mediana totale. Si considerava la distanza tallone-lesione d'arma da fuoco alla spalla destra.

Figura 19. Rilevazione distanza digitale tallone-lesione d'arma da fuoco alla spalla destra.

Distanza tallone-lesione d'arma da fuoco in addome – corpo 2 (Figura 20, Tabella 7)


	Operatore 1	Operatore 2	Operatore 3	
Misura 1	109,96	108,30	108,90	
Misura 2	109,93	108,40	108,80	
Misura 3	109,74	108,30	109,30	
Misura 4	109,50	108,30	109,00	
Misura 5	109,58	108,20	108,80	
Misura 6	109,56	108,40	107,90	
Misura 7	109,73	108,30	108,40	
Misura 8	109,54	108,30	108,70	
Misura 9	109,53	108,40	108,20	
Misura 10	109,44	108,20	109,10	
Media	109,65	108,31	108,71	
Mediana	109,57	108,30	108,80	
Mediana totale	108,80			

Tabella 7. Risultati delle misurazioni digitali in centimetri, divisi per Operatore e di media e mediana intra-operatore e mediana totale. Si considerava la distanza tallone-lesione d'arma da fuoco in addome.

Figura 20. Rilevazione distanza digitale tallone-lesione d'arma da fuoco in addome.

Distanza tallone-lesione d'arma da fuoco al dorso – corpo 2 (Figura 21, Tabella 8)


	Operatore 1	Operatore 2	Operatore 3	
Misura 1	95,81	95,10	95,20	
Misura 2	95,86	96,00	95,10	
Misura 3	95,91	95,70	96,00	
Misura 4	96,13	95,40	95,20	
Misura 5	96,24	95,60	95,20	
Misura 6	95,82	96,00	95,40	
Misura 7	95,85	95,80	95,20	
Misura 8	95,88	95,60	95,00	
Misura 9	96,12	95,30	95,30	
Misura 10	95,78	96,00	96,10	
Media	95,94	95,65	95,37	
Mediana	95,87	95,65	95,20	
Mediana totale	95,65			

Tabella 8. Risultati delle misurazioni digitali in centimetri, divisi per Operatore e di media e mediana intra-operatore e mediana totale. Si considerava la distanza tallone-lesione d'arma da fuoco al dorso.

Figura 21. Rilevazione distanza digitale tallone-lesione d'arma da fuoco al dorso.

Distanza tallone-lesione d'arma da fuoco al capo – corpo 3 (Figura 22, Tabella 9)

	Operatore 1	Operatore 2	Operatore 3	
Misura 1	172,31	171,2	173,7	
Misura 2	172,07	172,00	174,10	
Misura 3	171,74	171,80	173,90	
Misura 4	171,81	171,60	173,80	
Misura 5	172,11	171,80	174,00	
Misura 6	171,53	171,90	174,00	
Misura 7	172,07	171,30	173,70	
Misura 8	171,98	171,70	173,90	
Misura 9	172,21	172,00	174,10	
Misura 10	171,89	171,40	173,80	
Media	171,97	171,67	173,90	
Mediana	172,03	171,75	173,90	
Mediana totale	172,03			

Tabella 9. Risultati delle misurazioni digitali in centimetri, divisi per Operatore e di media e mediana intra-operatore e mediana totale. Si considerava la distanza tallone-lesione d'arma da fuoco al capo.

Figura 22. Rilevazione distanza digitale tallone-lesione d'arma da fuoco al capo.

Distanza tallone-lesione d'arma da fuoco al capo – corpo 4 (Figura 23, Tabella 10)


	Operatore 1	Operatore 2	Operatore 3	
Misura 1	179,75	180,10	179,70	
Misura 2	179,94	179,20	179,90	
Misura 3	180,02	180,00	179,70	
Misura 4	179,71	179,40	180,00	
Misura 5	179,89	178,90	179,90	
Misura 6	179,94	179,80	180,10	
Misura 7	180,05	179,90	179,80	
Misura 8	179,81	179,60	179,60	
Misura 9	179,9	180,10	179,90	
Misura 10	180,00	180,00	180,00	
Media	179,90	179,70	179,86	
Mediana	179,92	179,85	179,90	
Mediana totale	179,90			

Tabella 10. Risultati delle misurazioni digitali in centimetri, divisi per Operatore e di media e mediana intra-operatore e mediana totale. Si considerava la distanza tallone-lesione d'arma da fuoco al capo.

Figura 23. Rilevazione distanza digitale tallone-lesione d'arma da fuoco al capo.

4.2.3 Variabilità intra- e inter-individuale

Si riportano i valori del *p value* calcolati dalle medie dei *p value* per ogni parametro considerato, in riferimento ad ogni misurazione acquisita, per ciascun operatore (*Tabella 11*):

	Operatore 1	Operatore 2	Operatore 3
<i>P value</i>	0,1075	0,1739	0,6305

Tabella 11. Si riportano i p value, divisi per ciascun operatore.

In tutti i casi, il valore è risultato essere superiore a 0,05, indicativo di assenza di variabilità statisticamente significativa.

Si riporta il valore di correlazione inter-classe (ICC), rappresentativo della variabilità inter-individuale.

Il valore è stato ottenuto calcolando la media di tutte le misure di ogni operatore.

Tale valore, per operatore, veniva confrontato con il rispettivo degli altri operatori.

ICC = 1. Il valore ottenuto risulta essere maggiore del valore di riferimento di 0,9, considerandosi, quindi, ottimo in termini statistici.

4.2.4 Accuratezza (Tabella 12)

Corpo considerato	Distanze tallone-lesione d'arma da fuoco	Accuratezza
Corpo 1	Tallone - lesione d'arma da fuoco al capo	0,3293
	Tallone - lesione d'arma da fuoco in addome	0,7895
Corpo 2	Tallone - lesione d'arma da fuoco al capo	1,0390
	Tallone - lesione d'arma da fuoco al collo a destra	-0,1712
	Tallone - lesione d'arma da fuoco alla spalla destra	0,7407
	Tallone - lesione d'arma da fuoco in addome	0,7407
	Tallone - lesione d'arma da fuoco al dorso	-0,3646
Corpo 3	Tallone - lesione d'arma da fuoco al capo	1,4897
Corpo 4	Tallone - lesione d'arma da fuoco al capo	1,0674

Tabella 12. Accuratezza calcolata per distanza considerata.

In tutte le distanze considerate, l'errore calcolato risulta essere inferiore al 2%.

5 DISCUSSIONE

L'interesse crescente verso i dispositivi di ricostruzione tridimensionale delle superfici, in tutti gli ambiti della medicina, compreso quello medico legale, ha portato alla nascita e allo sviluppo di tale studio prospettico, il quale si prefigge di validare iPad Pro con app Polycam, appartenente al gruppo degli *hand-held scanner*, nella caratterizzazione antropometrico-forense delle lesioni d'arma da fuoco.

Con il termine *hand-held scanner* si intende un gruppo eterogeneo di dispositivi portatili, tra cui *tablet* e *smartphone*, in grado di effettuare delle ricostruzioni tridimensionali della superficie degli oggetti scansionati, sfruttando diverse tecnologie.

Nel caso di iPad Pro, la scansione delle superfici è resa possibile dal sensore LiDAR, attraverso l'utilizzo dell'applicazione Polycam.

Il sensore LiDAR (Light Detection and Ranging) utilizza la tecnologia laser per misurare le distanze e la profondità e consente di scansionare e mappare l'ambiente, emettendo raggi laser e calcolando la loro velocità di ritorno al sensore.

Il fine ultimo della transizione, dal metodo analogico considerato come *gold standard* al metodo digitale, è quello di velocizzare e facilitare le procedure di rilevazione topografica delle lesioni, riducendone la soggettività data dall'operatore-dipendenza e apportare altri numerosi vantaggi, che saranno trattati di seguito.

5.1 Interpretazione dei risultati

L'accertamento necroscopico ha permesso di identificare la presenza di lesività d'arma da fuoco nei quattro cadaveri analizzati nel presente studio. In particolare, tramite la TC *post-mortem* sono stati identificati i proiettili ritenuti e i tramiti, all'esame esterno sono state rilevate le lesioni ascrivibili all'arma da fuoco, permettendo di distinguere i fori d'ingresso e quelli

d'uscita e, mediante la sezione cadaverica per piani, sono state rilevate le lesività ai tessuti e organi interni, ricostruendo i tramiti (confrontandoli con quelli evidenziati alla PMTC) e repertando gli eventuali proiettili e frammenti ritenuti.

Nello specifico, seguendo il protocollo proposto dal GIPF (8), sono state accuratamente caratterizzate topograficamente le lesioni d'arma da fuoco, di fondamentale importanza per la ricostruzione della causa e della dinamica del decesso.

Gli studi statistici condotti a partire dai dati ottenuti dall'analisi effettuata, riguardanti l'applicabilità dei dispositivi *hand-held scanner* per la rilevazione antropometrica delle lesioni d'arma da fuoco, hanno mostrato dei risultati interessanti per le discipline forensi.

In particolare, si valutavano:

- La precisione, calcolata come variabilità intra-individuale e inter-individuale.
- L'accuratezza, calcolata dal valore medio tra le medie degli operatori, per distanza considerata.

I dati statistici mostrano una elevata precisione della procedura, con valori sostanzialmente sovrapponibili tra le misure effettuate dallo stesso operatore e da operatori diversi.

Infatti, i *p value* calcolati per ogni operatore, risultavano al di sopra del *p value* considerato come soglia di significatività statistica.

In particolare, il *p value* dell'Operatore 1 risultava di 0,1750, quello dell'Operatore 2 risultava 0,1739, quello dell'Operatore 3 risultava 0,6305. Tutti questi valori, rappresentativi della precisione intra-individuale, si consideravano, quindi, accettabili in termini statistici.

L'ICC, rappresentativo della variabilità inter-individuale, è risultato ottimo, in quanto superiore a 0,9.

In questo studio l'ICC è risultato, infatti, uguale a 1; ciò significa che, in termini statistici, la variabilità nelle misurazioni tra operatori diversi risulta praticamente nulla.

I risultati dell'accuratezza, rappresentativa dello scarto percentuale tra il valore misurato e quello reale, si sono rivelati, anch'essi, inferiori alla soglia di errore considerata come statisticamente significativa.

Per tutte le distanze valutate digitalmente, quindi, c'è stato un errore nelle misurazioni inferiore al 2% rispetto al valore misurato analogicamente.

I risultati statistici, in generale, si sono quindi dimostrati ottimi, rivelando come:

1. non sussista un errore statisticamente significativo:
 - nell'identificazione e localizzazione antropometrica della lesione d'arma da fuoco, identificata digitalmente (rispetto al *gold standard* analogico);
2. non sussista una differenza statisticamente significativa:
 - nelle misurazioni intra-individuali: non c'è differenza tra distanze rilevate, per un singolo parametro, di un singolo operatore;
 - nelle misurazioni inter-individuali: non c'è differenza tra operatori diversi.

La caratterizzazione topografica delle lesioni d'arma da fuoco, come rivelano i risultati, è stata dunque estremamente precisa ed accurata.

Ciò è probabilmente imputabile al fatto che le lesioni d'arma da fuoco, rilevate sulla superficie corporea dei cadaveri analizzati, fossero facilmente identificabili da ciascun operatore e, allo stesso tempo, di dimensioni inferiori a 1 centimetro.

5.2 Vantaggi degli hand-held scanner

I vantaggi di questo metodo, quindi, sono dati dall'identificazione con estrema precisione e accuratezza della lesione d'arma da fuoco, ma non solo: questi dispositivi sono largamente presenti sul mercato, in vari

modelli disponibili e con prezzi contenuti, in modo tale da poter scegliere il tipo più idoneo all'occorrente utilizzo.

Inoltre, la vastità di software compatibili con la tecnologia sfruttata da questi dispositivi ne aumenta esponenzialmente le potenziali applicazioni, garantendone altresì un costante aggiornamento.

Gli *hand-held scanner* permettono di ottenere una scansione del cadavere senza necessità di contatto diretto con il corpo stesso.

Allo stesso modo, la scansione ottenuta non è alterabile nel tempo; ciò risulta essere di grande vantaggio rispetto al metodo analogico tradizionale, in cui il corpo risulta essere sottoposto a fenomeni di decomposizione.

Infatti, con questa tecnologia innovativa è possibile eseguire delle misurazioni antropometriche in un secondo tempo rispetto all'autopsia stessa, operando direttamente sulla scansione.

A ciò consegue che l'applicazione di questa metodica, se sottoposta a standardizzazione, porterebbe ad una riduzione della soggettività legata alle rilevazioni antropometrico-forensi delle lesioni d'arma da fuoco.

In questo modo, si potrebbe ridurre al minimo la variabilità di tipo operatore-dipendente, in tal caso identificabile con il medico legale che effettua l'autopsia.

Inoltre, con gli *hand-held scanner* è possibile effettuare delle ricostruzioni tridimensionali del corpo in senso anteroposteriore.

Ciò è possibile ponendo il corpo su un lato, nel tavolo settorio, ed effettuando un'unica scansione.

In questo modo, in caso di presenza di un tramite che colleghi distretto addominale e dorso, è possibile effettuare una stima della traiettoria percorsa dal proiettile.

5.3 Limiti della metodica

Durante la raccolta dei dati dello studio presentato, sono emersi alcuni limiti di tale metodica.

In primo luogo, per la realizzazione della scansione, l'operatore doveva eseguire dei movimenti oscillatori al di sopra del corpo stesso, in senso cranio-caudale, cercando di mantenere il dispositivo per la scansione sempre alla stessa distanza dal cadavere.

Un operatore non formato potrebbe dover ripetere l'acquisizione delle scansioni.

In alcuni casi, la scansione effettuata ha mostrato delle imprecisioni, come la fusione dei pixel del corpo con il tavolo settorio. Nonostante ciò, è stato comunque possibile reperire i punti di riferimento, sia a livello del tallone, sia in corrispondenza delle lesioni d'arma da fuoco (*Figura 21*).



Figura 21. Fusione dei pixel del corpo e del tavolo settorio.

In questo studio prospettico sono stati valutati quattro casi di decessi dovuti a lesione d'arma da fuoco.

Il campione analizzato risulta, perciò, di numerosità esigua e si rende necessario estendere il *pool* di casi da esaminare.

I corpi studiati, inoltre, si presentavano conservati in maniera ottimale, in quanto il decesso era sopraggiunto da poco tempo.

Si dovrebbero, perciò, studiare ulteriori lesioni d'arma da fuoco in cadaveri con modificazioni post-mortali da fenomeni trasformativi o indotte da condizioni particolari (i.e. carbonizzazione, annegamento, caustici, grandi traumatismi, etc.).

5.4 Applicazioni in ambito medico-legale

Il presente studio dimostra come l'utilizzo degli *hand-held scanner*, grazie alla propria praticità, riproducibilità e affidabilità, possa entrare nella pratica quotidiana per la caratterizzazione topografica delle lesioni d'arma da fuoco durante l'autopsia.

L'applicabilità di tali dispositivi, per quanto riguarda le prospettive future, potrebbe estendersi, potenzialmente, alla scansione dei corpi anche durante il sopralluogo medico-legale.

Ciò è reso possibile dalla praticità dei dispositivi stessi, non solo data dalle ridotte dimensioni che ne consentono il trasporto, ma anche dall'immediatezza dell'acquisizione, a differenza delle altre metodiche di acquisizione tridimensionale delle superfici attualmente disponibili (21,22).

In questo modo, si potrebbe aumentare l'oggettività del sopralluogo stesso, estendendone la documentazione disponibile a fini antropometrico-forensi.

Ciò potrebbe essere vantaggioso soprattutto nei casi in cui il trasporto della salma alterasse le caratteristiche della stessa, in modo da poter ricavare, dalle scansioni effettuate precedentemente, delle informazioni utili, che potrebbero, altrimenti, andare perdute.

5.5 Prospettive future

Alla luce dei dati ricavati dal nostro studio prospettico, è legittimo ipotizzare un'estensione dell'utilizzo di iPad Pro con l'applicazione Polycam, per massimizzare il potenziale di questa tecnologia in ambito medico-legale.

Le linee guida GIPF (8), relative alle procedure autoptiche per i decessi causati da lesioni d'arma da fuoco, suggeriscono di precisare la sede anatomica di ogni lesione di ingresso e di uscita ed indicare:

1. distanza in centimetri dalla linea mediana anteriore o posteriore;
2. distanza in centimetri dal piano passante per il vertice (parallelo al piano di Francoforte), dal piano plantare e dal piano bisischiatico.

Alla luce delle sovraccitate linee guida, si potrebbe ampliare la validità della metodica, migliorando la caratterizzazione topografica delle lesioni mediante ulteriori misurazioni rispetto ad altri punti di repere anatomici, ad esempio rilevando le distanze vertice – lesione, piano bisischiatico – lesione e linea mediana (anteriore o posteriore) – lesione.

Dalle scansioni acquisite sarebbe possibile realizzare un modello tridimensionale, con una stampante 3D, allo scopo di conferire un valore aggiunto alla presentazione e alla comprensione di prove complesse.

La stampa 3D viene talvolta utilizzata, infatti, per trasformare questi modelli digitali in repliche fisiche per scopi forensi e giudiziari (23).

Una nuova frontiera da considerare è la possibilità di creare un software o un'applicazione, che, dalle scansioni acquisite tramite *hand-held scanner*, ricostruisca la traiettoria tridimensionale percorsa dal proiettile.

Ciò sarebbe possibile localizzando topograficamente i fori d'ingresso (per ferite penetranti a fondo cieco) ed eventualmente d'uscita (nel caso di ferite trapassanti), per poi elaborarli tramite calcoli balistici, fornendo la ricostruzione dell'angolazione e del tramite del proiettile.

Sarebbe utile l'elaborazione di un altro software che distingua, in base ai segni accessori della lesione d'arma da fuoco, quali l'orletto ecchimotico escoriativo, l'alone di affumicatura o di deterzione, la presenza di

tatuaggio, se la lesione stessa rappresenti un foro d'ingresso o d'uscita del proiettile.

Dalle stesse caratteristiche si potrebbe evincere la distanza dell'arma dal corpo, nel momento in cui è stato esploso il colpo.

Un'altra estensione della potenzialità di questi dispositivi riguarda lo sviluppo di un'applicazione che integri i dati ottenuti dalla PMTC e quelli ottenuti dalla scansione digitale, per creare una ricostruzione tridimensionale del corpo di superficie (fornita *dagli hand-held scanner*) e interna (fornita dalla PMTC).

In questo modo, si disporrebbe di una ricostruzione 3D del corpo *in toto*, permettendo di effettuare numerose valutazioni sia di tipo balistico (la ricostruzione della traiettoria del proiettile), sia di ausilio per l'accertamento della causa di morte, permettendo di vedere gli organi e i distretti lesionati dal proiettile.

6 CONCLUSIONI

Lo studio prospettico presentato nasce dal crescente interesse, in ambito medico-legale, verso i dispositivi di acquisizione di immagine che generino una ricostruzione tridimensionale del corpo esaminato, a fini antropometrici forensi.

I punti di forza di queste tecnologie sono: l'economicità, la praticità, la possibilità di effettuare rilevazioni in un secondo tempo rispetto all'autopsia, l'ottenimento di un reperto inalterabile, l'acquisizione di dati topografici senza il contatto diretto con il corpo.

iPad Pro 11 con software Polycam, già validato per le misurazioni antropometriche cadaveriche (17) e per la rilevazione delle lesività cutanee generiche (18), nel presente studio è stato testato in ambito di balistica forense, per la caratterizzazione topografica delle lesioni d'arma da fuoco.

I risultati preliminari appaiono ottimi e promettenti, sia in riferimento all'accuratezza, sia in riferimento alla precisione della tecnologia utilizzata, potendosi quindi configurare come valida alternativa al sistema analogico tradizionale per caratterizzare topograficamente le lesioni d'arma da fuoco al fine di effettuare delle considerazioni di natura balistica in ambito forense.

7 BIBLIOGRAFIA

1. The Global Burden of Disease 2016 Injury Collaborators, Naghavi M, Marczak LB, Kutz M, Shackelford KA, Arora M, et al. Global Mortality From Firearms, 1990-2016. *JAMA*. 28 agosto 2018;320(8):792.
2. Canestrari S. *Delitti contro la vita*. Bologna; 2016.
3. Cecchetto G, Bajanowski T, Cecchi R, Favretto D, Grabherr S, Ishikawa T, et al. Back to the Future - Part 1. The medico-legal autopsy from ancient civilization to the post-genomic era. *Int J Legal Med*. luglio 2017;131(4):1069–83.
4. Spitz WU. The medicolegal autopsy. *Hum Pathol*. marzo 1980;11(2):105–12.
5. EUROPEAN COUNCIL OF LEGAL MEDICINE. *Harmonization of Medico-legal Autopsy (Protocol)*. 2014.
6. Ferrara SD, Bajanowski T, Cecchi R, Boscolo-Berto R, Viel G. Biomedicolegal scientific research in Europe: a comprehensive bibliometric overview. *Int J Legal Med*. maggio 2011;125(3):393–402.
7. Chen Y. State of the art in post-mortem forensic imaging in China. *Forensic Sci Res*. 3 aprile 2017;2(2):75–84.
8. Gruppo Italiano di Patologia Forense. *AUTOPSIA – STANDARD SPECIFICI MORTE DA LESIONI DA ARMA DA FUOCO*. 2016.
9. Randall E Frost, MD; Chief Editor: J Scott Denton, MD. *Forensic Pathology of Firearm Wounds*. 11 gennaio 2021;
10. Denton JS, Segovia A, Filkins JA. *Practical Pathology of Gunshot Wounds*. *Arch Pathol Lab Med*. 1 settembre 2006;130(9):1283–9.
11. Riva F, Buck U, Buße K, Hermsen R, Mattijssen EJAT, Kerkhoff W. Error estimation on extracorporeal trajectory determination from body scans. *Int J Legal Med*. maggio 2022;136(3):729–37.
12. Tartaglione T, Filograna L, Roiati S, Guglielmi G, Colosimo C, Bonomo L. Importance of 3D-CT imaging in single-bullet cranioencephalic gunshot wounds. *Radiol Med (Torino)*. aprile 2012;117(3):461–70.
13. Rocchini C, Cignoni P, Montani C, Scopigno R. *Multiple Textures*

Stitching and Blending on 3D Objects. Eurographics Workshop Render. 1999;12 pages.

14. Harrison JA, Nixon MA, Fright WR, Snape L. Use of hand-held laser scanning in the assessment of facial swelling: a preliminary study. *Br J Oral Maxillofac Surg.* febbraio 2004;42(1):8–17.

15. Hennessy RJ, Kinsella A, Waddington JL. 3D laser surface scanning and geometric morphometric analysis of craniofacial shape as an index of cerebro-craniofacial morphogenesis: initial application to sexual dimorphism. *Biol Psychiatry.* marzo 2002;51(6):507–14.

16. Hill DL, Berg DC, Raso VJ, Lou E, Durdle NG, Mahood JK, et al. Evaluation of a laser scanner for surface topography. *Stud Health Technol Inform.* 2002;88:90–4.

17. Callegari E, Angiola F, Agnolucci J, Montisci M, Fais P, Giorgetti A, Viel G, Cecchetto G. Precision, inter-rater reliability, and accuracy of two hand-held scanners in measuring parts of the body. A preliminary validation study. *Forensic Sci Int.* 2022 Submitted;

18. Angiola F, Agnolucci J, Callegari E, Livieri T, Fais P, Giorgetti A, Viel G, Cecchetto G. L'utilizzo di hand-held scanner in traumatologia forense. *Medicina Legale Padova/Medicina Legale Bologna.* Congresso nazionale SIMLA 2022.

19. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med.* giugno 2016;15(2):155–63.

20. Najarian JS, Sutherland DE, Matas AJ, Goetz FC. Human islet autotransplantation following pancreatectomy. *Transplant Proc.* marzo 1979;11(1):336–40.

21. Shamata A, Thompson T. Documentation and analysis of traumatic injuries in clinical forensic medicine involving structured light three-dimensional surface scanning versus photography. *J Forensic Leg Med.* agosto 2018;58:93–100.

22. Urbanová P, Hejna P, Jurda M. Testing photogrammetry-based techniques for three-dimensional surface documentation in forensic pathology. *Forensic Sci Int.* maggio 2015;250:77–86.

23. Baier W, Norman DG, Donnelly MJ, Williams MA. Forensic 3D printing from micro-CT for court use- process validation. *Forensic Sci Int.* gennaio 2021;318:110560.