

# **Sulla dinamica della perforazione della pelle da parte di un proiettile d'arma da fuoco**

-

**Analisi dell'interazione tra proiettile e pelle umana durante  
la penetrazione di un agente balistico. Review dei modelli.  
(Versione integrale 2019)**



**Cristian Bettin  
Padova 2015\_v2/2019**

## 1. Premessa

Con l'avvio degli incontri formativi sulla balistica lesionale ho notato una visione comune a tutti i partecipanti riguardo alla dinamica della perforazione della pelle umana da parte di un proiettile sparato da un'arma da fuoco. Gli interlocutori con i quali ho occasione di discutere descrivono il fenomeno riportando il modello della "perforazione a seguito dell'introflessione della pelle a dito di guanto". Ritenni quindi necessario documentarmi sulla fonte di questa visione diffusa e, raccogliendo vario materiale didattico disponibile in italiano, mi accorsi che tutti i testi di medicina legale, i manuali didattici delle FF.OO. e le dispense di medicina legale consultati, oltre a numerosi errori di balistica generale (specialmente nei testi medici), riportano questa visione obsoleta delle dinamiche sulla perforazione della pelle umana.

A mio parere, la dinamica della perforazione della pelle da parte di un proiettile è un argomento d'interesse marginale, che apporta poche informazioni utili in ambito forense e alle analisi medico legali o balistico lesionali. La ritengo più una curiosità scientifica piuttosto che d'interesse pratico. L'interazione proiettile-pelle umana non coinvolge nessun aspetto medico, ma è un fenomeno che si spiega con la fisica, valutando le reazioni dei materiali agli impatti ultrarapidi (tipici dei contatti tra proiettile e bersaglio). Vedremo che quando un proiettile impatta contro la pelle umana, la reazione della pelle si descrive con le leggi della fluidodinamica, piuttosto che con la meccanica dei solidi.

Mettendo da parte il formalismo scientifico, penso però anche che trasmettere scienza o conoscenza siano due cose diverse e che un testo universitario debba condividere conoscenza derivante dalla scienza e non informazioni di dubbia provenienza o smentite molti decenni addietro. Nel caso della perforazione della pelle mi sono chiesto spesso quale vantaggio un analista forense possa trarre acquisendo una nuova visione del processo di perforazione, e devo ammettere che ci ho messo diverso tempo per darmi una risposta soddisfacente. Il modello dell'introflessione a dito di guanto è semplice, intuitivo e ha un ruolo solamente introduttivo per i segni di sparo che si andranno poi ad analizzare (anello di detersione, di abrasione, contusione ecc.). E' però un'ipotesi vecchia di oltre un secolo, superata da decenni e che si basa su un processo fisico totalmente sbagliato e molto lontano da quello reale. A mio avviso, capire come funziona un aspetto marginale della balistica lesionale, come appunto ritengo sia la dinamica di perforazione della pelle umana, apre una visione diversa e fisicamente più corretta di come agisce un proiettile sul corpo umano in generale.

Ritengo quindi che insegnare nozioni antiquate in un ambiente universitario non sia propriamente un'espressione di "scienza", indipendentemente dall'uso pratico che queste informazioni possono avere. Mi piace poi pensare che una conoscenza più precisa dei fenomeni balistici possa indurre a interpretare determinati segni di sparo in modo diverso da quanto fatto finora, e per questo motivo ho scelto di riproporre in un testo aperto le teorie e le dimostrazioni scientifiche più "recenti" che descrivono l'ingresso di un proiettile nella pelle umana. Le informazioni di seguito esposte sono state pubblicate per la prima volta nel libro "Schusswaffen und Schusswirkungen – Band I" di Karl Sellier, Lübeck 1969, quindi tutt'altro che recenti, ma evidentemente non sono mai state assimilate dall'ambiente medico e balistico italiano.

## 2. Il modello della perforazione della pelle umana

Nella mia breve ricerca storica ho trovato le prime indicazioni sull'introflessione della pelle a seguito del passaggio di un proiettile nel libro di Bircher "Neue Untersuchungen über die Wirkung der Handfeuerwaffen", Aarau 1896. Bircher parla di "Einstülpung der Haut", cioè introflessione della pelle, come se fosse un fatto assodato, senza darne spiegazione. Sono quindi portato a pensare che già alla fine del 1800 l'idea fosse condivisa da altri medici e posso affermare con buona pace di correttezza storica che la visione della pelle introflessa è vecchia di almeno 120 anni.

Come funziona questo modello e cosa ci dovrebbe spiegare?

I segni lasciati da un proiettile sulla cute umana rivestono un interesse particolare in ambito forense, perché possono essere discriminanti quando si deve differenziare tra foro d'ingresso e d'uscita, e aiutano nel valutare la direzionalità del colpo.

Il foro d'entrata di un proiettile presenta spesso (ma non sempre) alcuni o tutti i segni indicati nella fig. 1:

- Un foro d'entrata in cui manca del tessuto, cioè i lembi della ferita non sono ricombaciabili.
- Un anello detto *di detersione*, costituito dal deposito di residui dello sparo e altro "sporco" depositatosi sulla superficie del proiettile prima di impattare il bersaglio primario.
- Una zona di abrasione superficiale della pelle.
- Una zona di contusione/arrossamento della pelle.

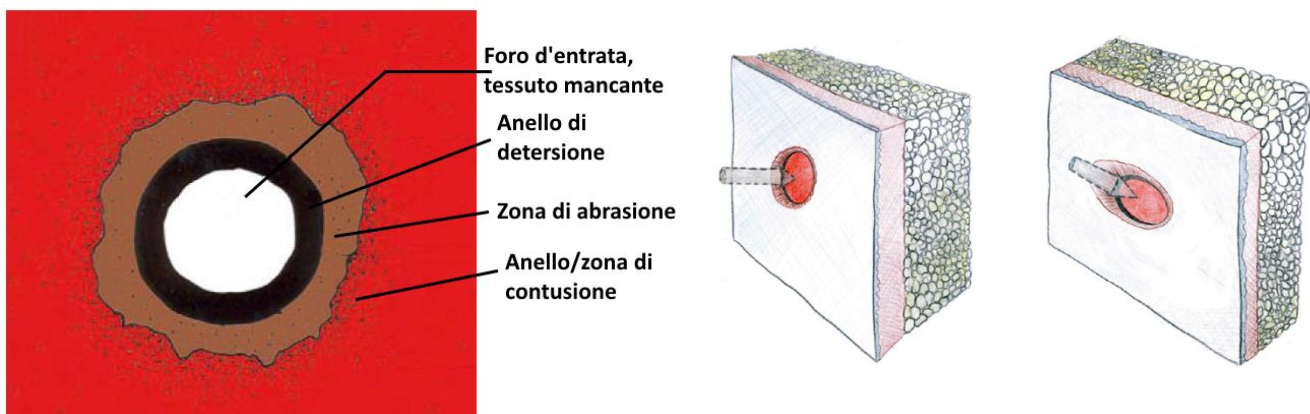


Fig. 1 A sinistra: Schema di un foro d'entrata di un proiettile sulla pelle umana. A destra: rappresentazione schematica del proiettile che impatta perpendicolarmente o diagonalmente alla pelle.

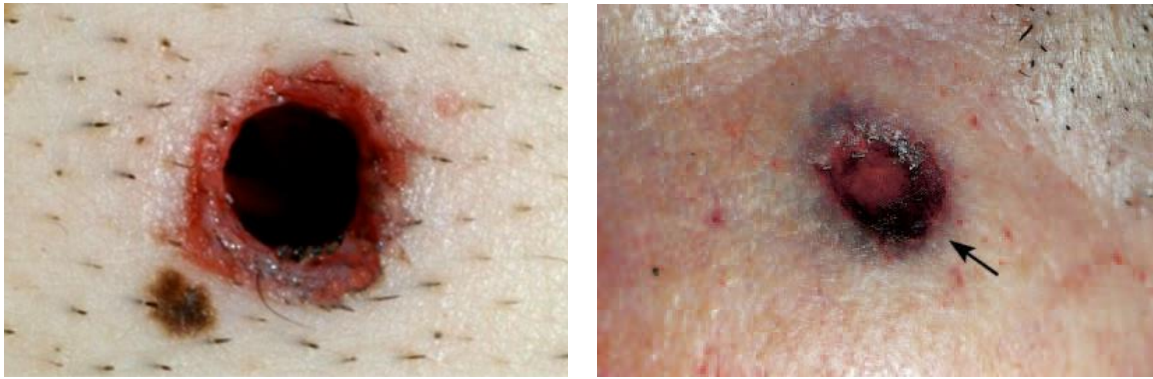


Fig. 2 (a sinistra) Foro d'entrata su soggetto colpito da un proiettile d'arma da fuoco. Si notano chiaramente il tessuto mancante nel foro centrale e l'anello di abrasione. L'anello di detersione è visibile con difficoltà e quello di contusione si discerne anch'esso difficilmente a prima vista.

Fig. 3 (a destra) Foro d'ingresso di un proiettile con impatto diagonale. La freccia indica la direzione d'arrivo del proiettile. Si nota l'anello di detersione (la parte nera vicino alla freccia), l'anello di abrasione e la zona di contusione (qui piuttosto livida).



Fig. 4 (a sinistra) Foro d'entrata sulla schiena del soggetto. Manca l'anello di detersione perché il proiettile ha attraversato i vestiti prima d'impattare sulla cute (l'anello rimane sui vestiti).

Fig. 5 (a destra) Altro foro d'ingresso senza anello di detersione, pelle coperta anche qui dai vestiti.

Per spiegare i segni descritti e mostrati in foto si è da sempre usato un modello in cui si suppone che la pelle elastica si introfletta durante il passaggio del proiettile. Secondo questo modello, la superficie laterale del proiettile struscerebbe lungo la pelle stirata e lascerebbe l'alone di detersione, abradendo la superficie nella zona di abrasione e stirando e/o comprimendo il tessuto più distante, fino a creare la zona di contusione. Questa teoria è riportata in tutta la letteratura italiana che ho avuto modo di consultare, ma è totalmente sbagliata!

Il concetto appena descritto è spesso rappresentato con le figure seguenti:

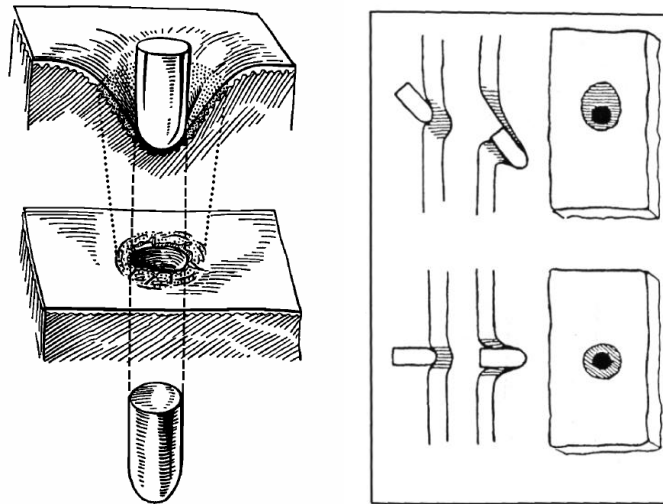


Fig.6 Schema della perforazione della pelle "a dito di guanto".

Alla fine degli anni '60 del XX secolo Karl Sellier studiò l'impatto dei proiettili sulla pelle umana fotografando l'istante di contatto e la successiva penetrazione con riprese ad alta velocità. Le immagini dimostrano chiaramente che la pelle non s'introflette a dito di guanto e che non è il contatto reciproco tra pelle e proiettile a formare la zona di abrasione né quella di contusione.

Prima di procedere però con l'illustrazione di cosa accade e darne una spiegazione scientifica ritengo utile definire il concetto di *pressione idrostatica*, senza il quale non si capirebbe il perché di ciò che si vede nelle foto di Sellier.

Una proprietà dei liquidi sottoposti a pressione in un recipiente chiuso è che la pressione esercitata dal fluido (come reazione alla forza esterna) preme in eguale misura in tutte le direzioni sul recipiente nel quale è contenuto. La pressione nel fluido fermo (statico) agisce quindi in tutte le direzioni possibili (è grazie a questo principio che funzionano i freni delle automobili). Da un punto di vista del proiettile, il corpo umano è fondamentalmente un recipiente chiuso e riempito d'acqua. Se restringiamo le nostre osservazioni in un ambiente limitato attorno al sito d'ingresso del proiettile, valgono le stesse condizioni. Cioè la pelle contro cui impatta il proiettile è fondamentalmente un recipiente chiuso, pieno di liquido.

Un secondo aspetto da prendere in considerazione quando si studiano i fenomeni balistici terminali (e quelli di balistica lesionale in particolare) riguarda l'inerzia della materia coinvolta, che può causare risposte diverse da quelle che l'osservatore medio si aspetterebbe. Questo secondo punto è probabilmente più difficile da assimilare per chi non ha molta dimestichezza con la fisica. Spesso le reazioni dei materiali colpiti da un proiettile sono, infatti, ben diverse da ciò che ci aspetteremmo sollecitando il bersaglio a velocità "normali" per la nostra percezione, cioè nel limite di quello che riusciamo a vedere ad occhio nudo. Riferendoci in concreto alla perforazione della pelle umana, è comprensibile supporre che la pelle s'introfletta a dito di guanto prima di rompersi, perché questo è ciò che vediamo se ci spingiamo con un dito sulla pancia e guardiamo come si piega la pelle, oppure bucando un guanto di gomma spingendolo con un dito. Questo modo di valutare le cose premette però una velocità "quasi statica" di applicazione delle forze sul bersaglio e dà tempo al materiale colpito di reagire elasticamente. Tempo che il bersaglio in realtà non ha quando viene colpito da un proiettile.

La reazione reale della pelle umana colpita da un proiettile è caratterizzata quindi dalla sua natura di recipiente elastico riempito di fluido e dall'estrema velocità del fenomeno, che non lascia tanto tempo alla pelle di reagire estendendosi come farebbe con una dritata. Il fenomeno è talmente rapido che non è possibile vederlo ad occhio nudo.

La sequenza d'immagini riprese da Sellier negli anni '60 del secolo scorso non mostrano il tessuto cutaneo che s'introflette, ma che schizza all'indietro, cioè in direzione opposta alla direzione di volo del proiettile!

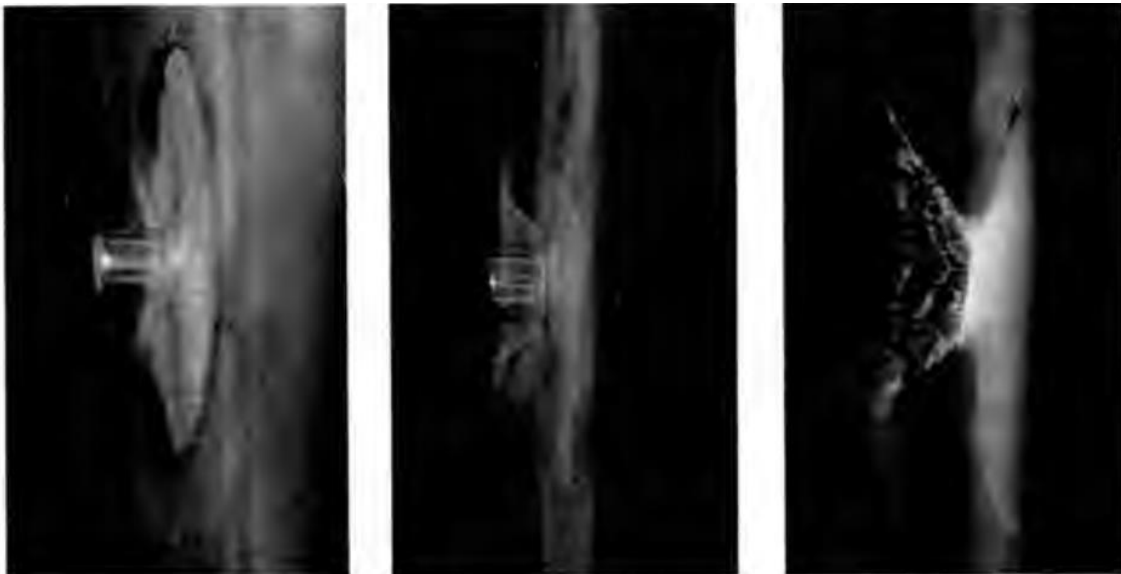


Fig. 7 Impatto di un proiettile calibro 9 su un pezzo di pelle umana. Nell'istante d'impatto la pressione nella pelle (di tipo idrostatico) è elevatissima e sfoga nella direzione di minore resistenza, cioè in direzione radiale e opposta a quella di arrivo del proiettile.



Fig. 8 Impatto obliquo di un proiettile calibro 9 su un pezzo di pelle umana.

La ragione di questo fenomeno si spiega considerando che la pressione indotta dal proiettile nel tessuto è di tipo idrostatico e agisce in tutte le direzioni. L'onda indotta nel tessuto parte alla velocità del suono (del tessuto) ed è assimilabile alla velocità del suono nell'acqua, che vale circa 1500 m/s. L'onda indotta nella pelle parte quindi con una velocità maggiore della velocità di penetrazione di qualsiasi proiettile. Tra tutte le direzioni in cui la pressione indotta può sfogare, quella preferenziale è radialmente e in direzione opposta a quella di volo del proiettile. La direzione verso l'intero del corpo non è, infatti, la più facile da

prendere, perché il tessuto che si trova lungo la direzione di penetrazione pone resistenza all'onda di pressione (che comporta spostamento di materiale). La direzione di sfogo più semplice è quindi dove non c'è materiale da spostare, e la pelle distrutta dal contatto con la punta del proiettile schizza in parte "verso dietro" (vedi fig. 7, 8). Contestualmente la pelle non spappolata dalla punta del proiettile è accelerata radialmente attorno all'asse di penetrazione, cioè si allontana allargandosi attorno al proiettile (vedi fig.9), come si vede con le onde di uno stagno quando vi si getta dentro un sasso.



Fig. 9

Dalla figura 9 si vede chiaramente che man mano che il proiettile penetra nella pelle, dal foro prodotto si dirada un'onda che allontana la pelle dal proiettile. Escludendo il contatto iniziale con la punta del proiettile e un certo struscio iniziale fintantoché il foro non si è dilatato a sufficienza, il fianco del proiettile non entra in contatto con la pelle! Il contatto tra cute e proiettile è quindi limitato solamente alla punta del proiettile e non c'è struscio tra cute e fianco del proiettile. L'anello di detersione è composto da materiale trasferito solamente dalla punta del proiettile, ma non anche dal suo fianco.

Il fenomeno ha una forte similitudine con un sasso gettato nell'acqua. Il sasso crea delle gocce che schizzano verso l'alto e genera delle onde sullo specchio d'acqua. Onde che si allontanano dal punto in cui il sasso è entrato in acqua. Nel caso del sasso in acqua, dopo il passaggio del sasso, l'acqua rifluisce sul "buco" e non vediamo più il luogo d'impatto. La nostra pelle non è, però, liquida ma una struttura solida riempita di liquido. La dilatazione della pelle è condizionata dal suo contenuto di fluidi, ma l'estensione della dilatazione e il contatto diretto col proiettile danneggiano irreversibilmente le strutture che compongono la trama della pelle. Motivo per cui nei fori d'ingresso dei proiettili rimane un difetto visibile di tessuto e una zona contusa, generata dalla dilatazione della pelle.

La spiegazione dell'anello di abrasione non risiede quindi nello struscio tra pelle e fianco del proiettile. Secondo Sellier la causa dell'anello di abrasione è dato dall'effetto ablativo che hanno le particelle di pelle scagliate via e che si vedono nelle figure 7, 8 e 10. Secondo la teoria di Sellier, la velocità di queste particelle è elevatissima e quelle che strusciano sul bordo del foro da cui sono originate abradono la pelle ancora attaccata al corpo.

L'anello di contusione non è poi anch'esso una conseguenza dello schiacciamento del proiettile o dello stiramento dei tessuti secondo il modello dell'introflessione ma deriva dalla compressione radiale a seguito della dilatazione del foro, come si vede chiaramente nelle foto 10.

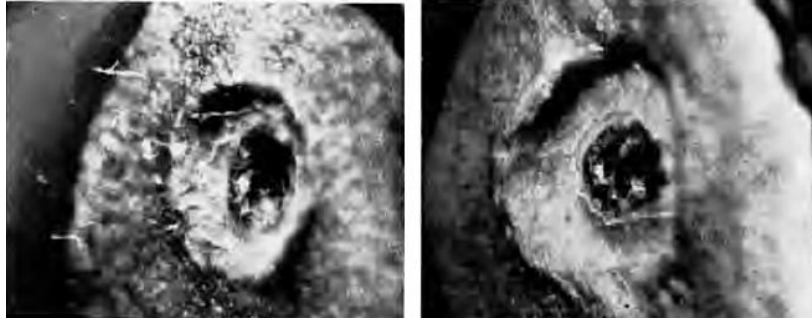


Fig. 10 Si vedono chiaramente i filamenti di materiale espulso e “l’onda” che dilata il foro di passaggio del proiettile.

Questi fenomeni sono in parte confermati anche da studi seguenti quelli del Sellier e più recenti. Non c’è però accordo sulla formazione della zona di abrasione!

Basandosi su una sequenza d’immagini pubblicate su “A study of the morphology of gunshot entrance wounds, in connection with their dynamic creation, utilizing the “skin–skull–brain model” M.J. Thali, B.P. Kneubuehl, U. Zollinger, R. Dirnhofer, *Forensic Science International* 125 (2002) 190–194 (fig. 11), gli autori contestano la proiezione di particelle di pelle come causa della formazione dell’anello di abrasione. Precisiamo che il tessuto usato per le prove non era pelle umana, ma un simulatore. Indipendentemente dal bersaglio, gli autori non condividono l’idea che la zona di tessuto epidermico danneggiato, chiamata da Sellier zona “di abrasione”, sia conseguenza di un’azione meccanica a carico di particelle proiettate. La loro argomentazione è basata sulla massa esigua dei frammenti espulsi e dalla scarsa energia cinetica posseduta, ritenuta insufficiente per arrecare lesioni estese come la zona di abrasione dei fori d’ingresso. Secondo Thali et al. la zona di abrasione non è data da un’abrasione meccanica, ma da uno stiramento violento dei tessuti che ne causano la lacerazione visibile.

Gli autori di questi studi sono tutti di estrazione germanica (il defunto Sellier, Thali Kneubuehl e i loro successori) e per par condicio, nei testi più recenti sulle ferite d’arma da fuoco il termine anello di abrasione (Schürfsaum) viene affiancato sempre dal termine anello di dilatazione/stiramento (Dehnungssaum).

Non vi è quindi concordanza se l’anello di abrasione sia realmente di abrasione. Secondo Sellier era conseguenza di un’ablazione causata dalle particelle che ha visto nelle sue foto. Secondo altri studi, fatti però con un simulatore sintetico, le particelle scagliate non hanno energia a sufficienza per arrecare danni così estesi, e si ritiene che la zona della ferita più “umida” non sia abrasa ma lacerata a seguito dell’eccessivo stiramento della pelle.



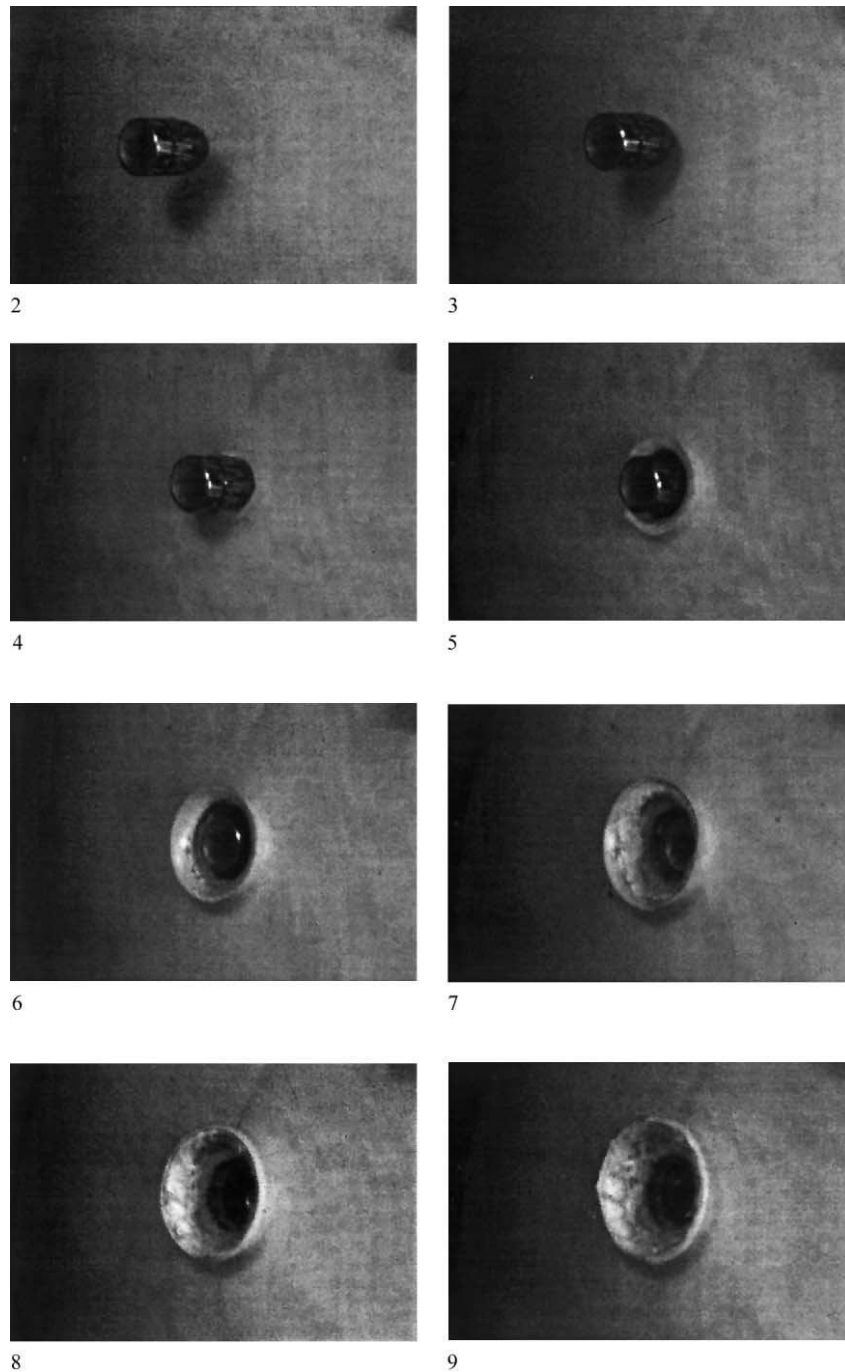


Fig. 11 Sequenza di foto ultrarapide, intervallo di 16 microsecondi (16 milionesimi di secondo!), nella quale si vede che la pelle è dilatata attorno al proiettile prima che questo sia penetrato completamente.

### 3. Conclusioni

Quando un proiettile colpisce la pelle, il materiale distrutto dalla punta è proiettato violentemente in direzione radiale e opposta al moto del proiettile. Secondo la teoria di Sellier alcune particelle colpiscono i lembi del foro, asportando lo strato superficiale della pelle e si forma → l'anello di abrasione. Secondo altri studi l'anello originariamente

chiamato di abrasione è conseguenza della lacerazione da stiramento → anello di stiramento. C'è accordo sul fatto che la dilatazione del foro comprime anche i tessuti adiacenti allo strato abraso/dilatato, creando la zona di contusione. L'elasticità della pelle la riporta poi nella posizione originaria, ma rimane il difetto di materiale nella zona in cui il proiettile ha "maciullato" la pelle. Questo foro è minore del diametro del proiettile perché solo la parte anteriore del proiettile ha effettivamente toccato la pelle. I fianchi del proiettile non sono stati coinvolti dal fenomeno (ovviamente in proporzione all'elasticità della pelle) perché sono passati attraverso la pelle quando la dilatazione del buco era ormai tale da evitare ogni contatto con i bordi.

L'anello di detersione si forma a carico dello "sporco" presente sulla porzione apicale e laterale della prima parte anteriore del proiettile e non per struscio lungo tutto il fianco, perché a un certo punto il foro si è dilatato oltre il diametro del proiettile e non c'è più contatto reciproco.

La validità forense del fenomeno in generale non ha subito alterazioni (che io sappia), permane la validità dei segni per quanto concerne gli aspetti d'utilità forense (argomento che in questa sede non ho neppure accennato, chi volesse approfondire troverà un'ampia discussione dei fori d'entrata sulla pelle nella dispensa "Balistica Lesionale – Teoria e Applicazioni", Bettin, 2019.