



UNIVERSITÀ DI PARMA

Dipartimento di Scienze Medico-Veterinarie
Corso di Laurea Magistrale a ciclo unico in Medicina Veterinaria

LA PATOLOGIA FORENSE VETERINARIA: LE LESIONI D'ARMA DA FUOCO

VETERINARY FORENSIC PATHOLOGY: FIREARM INJURIES

Relatore: Chiar.mo Prof. Attilio Corradi

Correlatore: Dott.ssa Cristina Marchetti

Laureanda: Lucia Scuri

ANNO ACCADEMICO
2020/2021

INDICE

ABSTRACT.....	4
INTRODUZIONE.....	5
DEFINIZIONE DI ARMA.....	7
1.1 – Le armi da fuoco.....	8
1.1.1 – Definizione e classificazione delle armi da fuoco leggere.....	8
1.1.2 – Tipologie di armi da fuoco leggere.....	11
1.1.3 – Descrizione dei componenti.....	14
1.2 – Le armi da sparo.....	20
LE MUNIZIONI.....	22
2.1 – Munizioni per armi a canna liscia.....	23
2.2 – Munizioni per armi a canna rigata.....	28
LA BALISTICA.....	36
3.1 – Balistica interna.....	36
3.2 – Balistica esterna.....	40
3.3 – Balistica terminale.....	47
3.3.1 – Moto e comportamento dei proiettili per armi lunghe.....	57
3.3.2 – Moto e comportamento dei proiettili per armi corte.....	65
3.3.3 – Moto e comportamento dei frammenti e delle munizioni spezzate.....	68
LE LESIONI.....	71
4.1 – Caratteri generali delle lesioni.....	73

4.2 – Lesioni da armi portatili con munizione a palla	84
4.3 – Lesioni da armi portatili con munizione spezzata.....	94
4.4 – Lesioni da armi da sparo ad aria o gas compressi.....	97
4.5 – Lesioni da pistola a proiettile captivo	100
LA DIAGNOSI MEDICO-LEGALE	104
5.1 – La necropsia forense	106
5.2 – Identificazione dell’arma e compatibilità.....	115
5.3 – I residui di sparo	118
5.3.1 – Definizione e classificazione dei residui di sparo	118
5.3.2 – Rilevazione dei residui e metodi analitici.....	121
TOSSICITÀ SECONDARIA LEGATA AD ALCUNI TIPI DI MUNIZIONAMENTO.	127
CONCLUSIONI	134
BIBLIOGRAFIA.....	136
SITOGRAFIA	142
RINGRAZIAMENTI.....	145

ABSTRACT

The present thesis describes the morphological characteristics of wounds in domestic and wild animals, caused by different types of firearms and ammunition. It provides an overview of the types of firearms and ammunition according to the provisions of European and Italian law. The three stages of ballistics (interior, exterior and terminal/wound ballistics) and wounding potential are then discussed.

Gunshot wounds can be classified as contact, near contact, intermediate or distant, depending on the range from which they were fired, and on the density and distribution of gunshot residues on skin or fur. The veterinary pathologist should be able to provide information on the discernment of entrance and exit wounds, on the wound channel, and the phenomena that determine the formation of the temporary and permanent cavity. The morphological aspects of gunshot wounds are analyzed, distinguishing between wounds caused by handguns, rifles, shotguns, air-powered guns, and captive bolt devices. Tissue and organs characteristics influence the extent of damage a projectile generates. A hint of the simulants generally used in wound ballistics is also provided.

The forensic necropsy is then described. Gunshot wounds must be differentiated from other forms of trauma, including captive bolt stunners, animal bites and other kinds of lacerations, and full-body radiographs or CT scans are useful for the purpose. An overview of detection and identification of gunshot residues (GSR) is provided.

Finally, this thesis concludes by discussing the consequences of the presence of lead in ammunition. Lead poisoning secondary to ingestion of shotgun pellets or retention of lead fragments has been demonstrated in wildlife. As for humans, ammunition-derived lead is nowadays a significant cause of dietary lead exposure in groups of people who frequently eat game meat.

INTRODUZIONE

Il rilievo di lesioni d'arma da fuoco in ambito medico-veterinario non è un evento estremamente frequente, ma quando si verifica occorre che sia valutato con particolare attenzione a causa degli sviluppi che può presentare in sede legale. Per poter valutare correttamente tali lesioni, al patologo forense è richiesta una conoscenza di base delle tipologie, delle componenti e del funzionamento delle più comuni armi da fuoco leggere, nonché nozioni riguardanti la normativa vigente. Nell'ambito della Medicina Forense Veterinaria le lesioni più comunemente riscontrate sono dovute a fucili da caccia con munizione spezzata o a carica unica, pistole e, in molti casi, armi da sparo ad aria o gas compressi. Queste ultime, in particolare, non necessitano di un'autorizzazione per l'acquisto e di una denuncia di possesso se la potenza risulta inferiore a 7,5 Joule; pertanto, grazie alla loro diffusione si riscontrano di frequente nei casi di uccisione e maltrattamento di animali da compagnia.

Per quanto riguarda il munizionamento, è riportata nella presente tesi la descrizione delle caratteristiche dei vari tipi di cartuccia e dei processi fisici che sottendono il ciclo di sparo, in quanto necessari alla comprensione dei fenomeni balistici che concorrono alla determinazione delle lesioni. L'entità delle lesioni corporee è infatti funzione della tipologia di arma e, soprattutto, del proiettile.

La trattazione delle tre branche della balistica – interna, esterna e terminale –, offre le basi per la comprensione della genesi dei caratteri principali e accessori delle lesioni. La maggior parte delle evidenze illustrate in questo lavoro di tesi deriva da articoli presenti in letteratura scientifica e libri specializzati, mentre altre osservazioni derivano dallo studio di cadaveri di animali abbattuti in ambito venatorio.

La classificazione delle lesioni d'arma da fuoco prevede una prima suddivisione in funzione della distanza di sparo e della distribuzione di alcuni particolari pattern lesivi che possono fornire informazioni preziose circa la dinamica dell'evento. Il patologo veterinario deve possedere le basi per il riconoscimento del foro d'ingresso, di uscita e del tramite intracorporeo. Nel presente elaborato verranno distinti, in particolare, i caratteri delle lesioni causate da armi a carica unica rispetto a quelle causate da armi a munizione spezzata, armi da sparo ad aria e gas compressi e pistole a proiettile captivo. Queste ultime non possono essere definite armi, in quanto non riconosciute come tali dal Testo Unico delle Leggi di Pubblica Sicurezza (T.U.L.P.S.) ma, per la stesura della presente tesi, verrà preso in considerazione il loro potenziale lesivo.

La diagnosi medico-legale si basa sulla valutazione del tipo di lesione, della distanza e direzione dello sparo, sul numero di colpi che hanno raggiunto il bersaglio e sul tipo di arma utilizzato. Per ottenere tali informazioni il patologo veterinario si avvale della pratica della necropsia forense e di metodiche laboratoristiche specializzate. I metodi cromogenici, in particolare, sono noti da tempo in Medicina Umana e consentono di distinguere una ferita d'arma da fuoco da altri tipi di lesioni, offrono un ulteriore indizio nella rilevazione del foro d'ingresso e forniscono informazioni relative alla distanza di sparo. Inoltre, il metodo con rodizonato di sodio per la rilevazione delle tracce di piombo può essere utilizzato per documentare un illecito uso di munizioni contenenti tale metallo nelle zone protette dalla normativa nazionale e comunitaria che regola l'esercizio venatorio. A tal proposito, l'ultimo capitolo della presente tesi offre una panoramica generale delle problematiche ambientali, igienico-sanitarie e di conservazione legate all'inquinamento da piombo.

DEFINIZIONE DI ARMA

La definizione di arma viene fornita dall'art. 30 del Regio Decreto 18 giugno 1931 n. 773 (il cosiddetto T.U.L.P.S., "Testo Unico delle Leggi di Pubblica Sicurezza"), nonché dagli artt. 585 e 704 del Codice Penale. Secondo queste fonti, si definisce arma un qualsiasi mezzo od oggetto atto a potenziare le possibilità fisiche dell'uomo per offendere, per difendersi o per ottenere un determinato scopo che altrimenti sarebbe limitato o impossibile, come per esempio la caccia o il tiro a segno (Paniz, 2019).

Un'arma può essere concettualmente intesa come arma propria, ovvero un oggetto appositamente progettato e realizzato con lo scopo di essere un'arma, o come arma impropria, ovvero un oggetto di altra natura che in una precisa occasione e circostanza viene utilizzato come arma, sfruttandone la forma, la massa, la durezza o altre caratteristiche consone a tale scopo (Mori, 2013). Nell'ambito delle armi proprie, la Legge n. 110 del 18 aprile 1975 definisce le armi da sparo come strumenti in grado di proiettare un oggetto a distanza attraverso una canna mediante l'uso di un combustibile, per colpire un bersaglio non immediatamente raggiungibile. Non essendo specificata la natura di tale combustibile, sono incluse in questa categoria anche alcune armi ad aria o gas compressi, che verranno trattate separatamente nel corso della presente trattazione. Infatti, nonostante il T.U.L.P.S. definisca "da sparo" le armi da fuoco e assimilati ad esse anche le armi ad aria o gas compressi, oggi si tende a usare il termine "da sparo" in senso generico e indicare solo le armi a polvere come armi da fuoco (Mori, 2020). Secondo Paniz, la categoria delle armi da sparo è suddivisibile in sottocategorie distinte in base alla modalità nella quale viene prodotta l'energia di lancio. Le armi da sparo comprenderebbero pertanto le armi da sparo ad energia meccanica (armi a molla, armi ad aria compressa *etc.*) e le armi da sparo ad energia chimica o armi da fuoco (Paniz, 2019). L'utilizzo del termine "arma da sparo" come categoria generica, tuttavia, determinerebbe l'assenza di un nome preciso per indicare le armi ad aria compressa. In

questo lavoro, dunque, verrà proposta la seguente suddivisione: con “armi da fuoco” si indicheranno le armi che utilizzano un combustibile chimico (la polvere da sparo), mentre con “armi da sparo” verranno indicate le armi propulse ad aria o gas compressi.

1.1 – LE ARMI DA FUOCO

Le armi da fuoco sono macchine termo-balistiche che, sfruttando l'energia dei gas sprigionati dall'accensione di polveri esplosive, permettono di scagliare a distanza corpi dotati di una certa massa (Zagra *et al.*, 2011). Per funzionare dunque necessitano di essere caricate con le munizioni, manufatti composti da un proiettile, da un apparecchio di innesco e dalla dose di propellente necessario per lo sparo, racchiusi e mantenuti in posizione da un contenitore detto bossolo (Mori, 2013).

Le armi da fuoco si suddividono in tre sottocategorie a seconda delle loro caratteristiche balistiche e della loro adattabilità all'impiego tattico e logistico. Soltanto la prima sottocategoria verrà presa in esame nella presente trattazione. Abbiamo:

- Armi da fuoco leggere o portatili o individuali
- Armi da fuoco medie o mobili o di gruppo
- Armi da fuoco pesanti o da postazione o da artiglieria

(Paniz, 2019).

1.1.1 – Definizione e classificazione delle armi da fuoco leggere

Nonostante non esista una definizione unanimemente riconosciuta, per arma leggera si intende un'arma da fuoco di dimensioni e peso tali da poter essere utilizzabile e trasportabile da una sola persona (Paniz, 2019). Le armi da fuoco leggere possono essere classificate

secondo vari aspetti tecnici, come il tipo di anima della canna, la lunghezza dell'arma, il funzionamento o la destinazione d'uso.

L'anima

Il termine anima viene utilizzato, sia nell'ambito delle armi da fuoco che delle armi da sparo, per indicare una particolare lavorazione delle pareti interne della canna, che può presentarsi liscia o rigata. Le canne ad anima liscia sono tipiche dei fucili da caccia per piccola selvaggina o da attività sportiva come il tiro a volo, che prevedono l'utilizzo di munizioni c.d. spezzate, ovvero permettono di lanciare una rosata di pallini che ben si presta a colpire bersagli piccoli e in movimento, siano essi in aria o a terra. Tale impostazione non preclude, comunque, la possibilità di sparare proiettili singoli, come verrà illustrato nel Capitolo 2 (Mori, 2013; Bradley-Siemens e Brower, 2016).

Le canne ad anima rigata sono invece studiate per proiettili di forma cilindrico-ogivale, che vengono stabilizzati giroscopicamente per ottenere una maggiore gittata e precisione nel tiro a lunga distanza. La canna possiede perciò una lavorazione elicoidale interna che imprime al proiettile un moto rotatorio attorno al proprio asse longitudinale. Questo tipo di soluzione tecnica permette una maggiore precisione e delle prestazioni nettamente superiori in termini balistici, rendendola così di scelta per la caccia alla selvaggina di media e grossa mole. Ad anima rigata sono anche le canne delle armi usate nelle competizioni di tiro di precisione, la maggior parte delle pistole e tutte le armi leggere militari (Mori, 2020; Paniz, 2019; Bradley-Siemens e Brower, 2016).

La lunghezza

La classificazione più intuitiva si basa lunghezza dell'arma, che consente di distinguere le armi corte (*e.g.* pistole) dalle armi lunghe (*e.g.* carabine, fucili). Secondo l'allegato I della Direttiva

(UE) 2021/555 relativa al controllo dell'acquisizione e della detenzione di armi, si intende per "arma da fuoco corta" un'arma da fuoco la cui canna ha una lunghezza inferiore ai 300 mm oppure la cui lunghezza totale non supera i 600 mm; mentre per "arma da fuoco lunga" si intende qualsiasi arma da fuoco diversa dalle armi da fuoco corte, dunque un'arma che possiede una canna di lunghezza superiore ai 300 mm contestualmente ad una lunghezza totale superiore ai 600 mm.

Il funzionamento

Da un punto di vista meccanico, le armi da fuoco possono essere così classificate:

- "Arma a ripetizione automatica": un'arma da fuoco che dopo ogni sparo si ricarica autonomamente e che può sparare più colpi senza rilasciare il grilletto dopo la prima pressione.
- "Arma a ripetizione semiautomatica": un'arma da fuoco che dopo ogni sparo si ricarica autonomamente ma che può sparare un solo colpo azionando una sola volta il grilletto.
- "Arma a ripetizione manuale o semplice": un'arma da fuoco che dopo ogni sparo viene ricaricata manualmente inserendo nella canna una cartuccia, che viene prelevata dal serbatoio e trasportata tramite un cinematismo.
- "Arma a colpo singolo": un'arma da fuoco senza serbatoio che prima di ogni sparo viene caricata introducendo manualmente le munizioni nella camera di cartuccia.

(Paniz, 2019).

La destinazione d'uso

Per quanto riguarda la destinazione d'uso, le armi leggere possono essere suddivise principalmente in armi da guerra, armi da caccia, armi da difesa personale, armi da tiro e armi

da segnalazione (Paniz, 2019). Questa classificazione è tuttavia difficilmente applicabile nella realtà pratica, perché i confini tra una categoria e l'altra sono labili e una stessa arma può essere destinata a usi differenti. Tale classificazione è in uso soltanto per differenziare i vari modelli di armi secondo parametri morfologici, estetici, funzionali, secondo i materiali scelti dal produttore per i vari componenti e le loro proporzioni geometriche.

Meritano una particolare menzione le armi per la telenarcosi (o teleanestesia), classificate dalla normativa vigente come “armi comuni da sparo” e come tali devono essere acquistate, detenute, portate o trasportate secondo precise disposizioni (Mori, 2020).

La classificazione attualmente vigente (allegato I della Direttiva UE 2021/555 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 24 marzo 2021 relativa al controllo dell'acquisizione e della detenzione di armi), prevede la distinzione delle armi da fuoco in:

- Categoria A: armi da fuoco proibite
- Categoria B: armi da fuoco soggette ad autorizzazione
- Categoria C: armi da fuoco soggette a dichiarazione.

1.1.2 – Tipologie di armi da fuoco leggere

Verranno descritti in breve soltanto i principali e più diffusi tipi di armi portatili moderne legali in Italia:

- La rivoltella a rotazione o revolver è un'arma corta, in genere a canna rigata, che ricade nella particolare categoria a colpo singolo “multicamera”. È infatti dotata di un serbatoio a tamburo di forma cilindrica designato al contenimento delle cartucce, capace di compiere illimitate rivoluzioni intorno al proprio asse longitudinale. Il serbatoio normalmente presenta da 5 a 8 camere di cartuccia. Al termine dello sparo

i bossoli esausti sono trattenuti all'interno del tamburo e devono essere espulsi con un intervento manuale del tiratore (Paniz, 2019; Shideler, 2011).

- La pistola semiautomatica è un'arma corta a canna rigata. Le cartucce vengono inserite all'interno di un caricatore a serbatoio, in genere ospitato all'interno dell'impugnatura, e l'arma può esplodere un colpo alla volta fino ad esaurimento delle stesse. La prima cartuccia del caricatore viene incamerata manualmente, tirando e rilasciando il carrello. Dopo lo sparo, il bossolo esplosivo viene automaticamente espulso e l'arma viene ricaricata (Wills, 2014; Murtz, 2005).
- Il fucile ad anima liscia a canne giustapposte (doppietta) o sovrapposte (sovrapposto) è un'arma lunga che possiede due canne affiancate ed è idonea all'impiego di munizioni a carica unica o multipla. L'apertura dell'arma avviene grazie al basculamento delle canne e le cartucce vengono inserite manualmente, una per ogni canna. Al termine dello sparo i bossoli esausti sono trattenuti all'interno delle camere di cartuccia e vengono espulsi solo dopo che il tiratore provvede manualmente all'apertura dell'arma (Paniz, 2019). Tale impostazione tecnica si può adattare anche all'uso di canne rigate, prendendo il nome di fucili Express, oppure a una configurazione mista liscio/rigato, anche a più di due canne (Billing, Frilling, Vierling).
- Il fucile ad anima liscia a ripetizione semiautomatica è idoneo all'impiego di munizioni a carica unica o multipla. Le cartucce vengono inserite all'interno di un serbatoio tubolare posto al di sotto della canna. La prima cartuccia, tuttavia, deve essere inserita direttamente in camera quando l'otturatore è aperto. Al termine di ogni sparo il bossolo esausto viene automaticamente espulso (Paniz, 2019; Wills, 2014).

- La carabina semiautomatica a sottrazione di gas è idonea al solo utilizzo di cartucce a palla. In esso, una parte dei gas di sparo ad alta pressione viene utilizzata come fonte di energia per il meccanismo che estrae il bossolo esausto, arma il percussore e camera la nuova munizione prelevandola dal serbatoio/caricatore. Questa è l'organizzazione meccanica della maggior parte delle carabine semiautomatiche e automatiche, fra le quali l'unica distinzione tecnica è a carico del solo meccanismo di scatto (Sweeney, 2005).

- La carabina a ripetizione manuale (o ordinaria, o semplice) è idonea anch'essa solamente all'impiego di munizioni a palla. Le cartucce vengono inserite all'interno di un serbatoio e la ripetizione del tiro avviene con un'azione manuale sull'otturatore che provvede all'apertura della culatta, all'espulsione del bossolo esausto eventualmente presente, all'inserimento di una nuova cartuccia in canna e, successivamente, alla chiusura della culatta. Tale impostazione tecnica, sebbene non sia la più efficiente in termini di celerità nella reiterazione del colpo, è la soluzione ancora oggi più adatta per il tiro ponderato alle lunghe distanze, poiché l'unica in grado di garantire la precisione necessaria (Paniz, 2019; Bradley-Siemens e Brower, 2016).

1.1.3 – Descrizione dei componenti

Ogni arma è costituita da diverse componenti, la cui forma può variare considerevolmente in base al tipo di arma o di modello. Si possono individuare:

- La canna
- Il gruppo otturatore
- Il castello o fusto e la bascula
- Il gruppo di scatto e il meccanismo di sicura
- Il serbatoio interno o il caricatore amovibile
- I congegni di mira
- La calciatura e impugnatura

La canna

La canna è l'elemento più importante di un'arma da fuoco. Si tratta di un cilindro in acciaio che imprime la direzione di corsa al proiettile e consente così di sfruttare la propulsione data dall'esplosione della carica di lancio (Ricketts, 1962; Wills, 2014). Nella sua parte posteriore è ricavata la camera di cartuccia (o camera di scoppio), un ampliamento della canna costruito in funzione della forma e del tipo di cartuccia che verrà utilizzato. La parte anteriore, detta volata, è aperta e permette la fuoriuscita del proiettile (Kneubuehl *et al.*, 2011). Talvolta, soprattutto nelle armi più recenti, la volata può essere dotata di un dispositivo che permette la dispersione controllata dei gas combusti. Tale dispositivo prende il nome di freno di bocca – qualora i gas siano diretti in modo da ridurre il rinculo –, di compensatore – qualora diminuiscano l'impennamento della canna verso l'alto – oppure di rompifiamma – nel caso aiutino a ridurre il flash secondario (Sweeney, 2015).

La parte interna della canna, detta anima, può essere liscia o presentare dei solchi elicoidali, detti rigature. Queste ultime sono costanti lungo l'asse della canna, mentre in sezione

ortogonale possono avere una geometria convenzionale, poligonale o multiradiale (Wills, 2014).

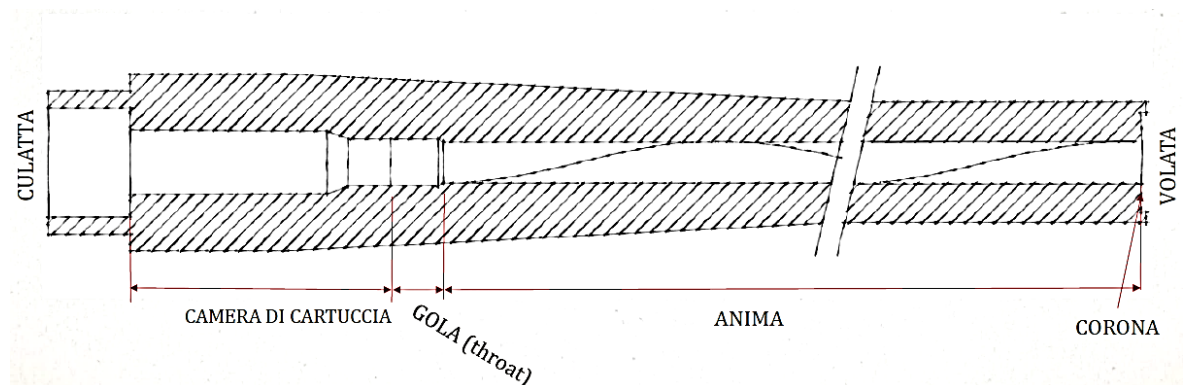


Figura 1: Sezione longitudinale di una canna rigata e delle sue componenti (per gentile concessione di Jacopo Pellini, armaiolo).

Le armi a canna liscia sparano proiettili sferici, i cosiddetti pallini o pallettoni e sono utilizzate soprattutto nella costruzione di fucili per la caccia di piccola selvaggina e nelle competizioni sportive di tiro a volo (Ricketts, 1962).

Le armi a canna rigata sono invece destinate a palle singole di forma cilindrico-ogivale, che nel loro percorso all'interno della canna vengono fatte ruotare attorno al proprio asse longitudinale al fine di ottenere una stabilizzazione giroscopica. Questa rotazione viene impartita dalle scanalature nell'anima della canna, dette "principi", che guidano il proiettile e ne impartiscono la rotazione richiesta. Nel caso di armi a canna poligonale o multiradiale, sono gli specifici punti di contatto della cartuccia con il profilo dell'anima che conferiscono il movimento rotatorio (Kneubuehl *et al.*, 2011).

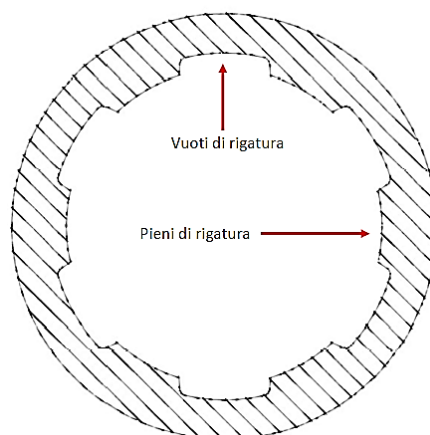


Figura 2: Rappresentazione grafica della sezione trasversale di una canna rigata, le cui proporzioni sono state volutamente enfatizzate. Le scanalature ricavate nello spessore della canna costituiscono i vuoti di rigatura, che si alternano ai c.d. pieni di rigatura (per gentile concessione di Jacopo Pellini, armaiolo).

Il diametro interno della canna, misurato tra due pieni opposti di rigatura, per convenzione costituisce il calibro. Bisogna considerare, tuttavia, che il calibro misurato all'interno della canna può differire dal calibro nominale utilizzato per identificare l'arma e la relativa munizione, che in alcuni casi identifica il diametro della palla o è frutto della fantasia del produttore. Per conoscere le misure precise è mandatorio fare riferimento alle tavole C.I.P. (*Commission Internationale Permanente pour l'épreuve des armes à feu portatives*) o S.A.A.M.I. (*Sporting Arms and Ammunition Manufacturers Institute*).

Attualmente coesistono due modi per la misurazione dei diametri in funzione del sistema di misura adottato dalla nazione di origine del progetto: il sistema Europeo, in millimetri, e il sistema Anglosassone, in millesimi di pollice. Nel sistema Europeo viene espresso il diametro scelto dal produttore seguito da "x" e l'altezza del bossolo a vuoto (ad esempio: 9x21). È possibile trovare altre indicazioni, come "R", a indicare che il bossolo è di tipo *rimmed* oppure la sigla della casa produttrice. L'aggiunta invece del suffisso "Mag." o "Magnum" indica che si tratta di una munizione con cariche di lancio maggiorate rispetto alla munizione originaria dalla quale essa deriva. Nel sistema Anglosassone vengono invece utilizzati come unità di misura i millesimi di pollice, omettendo lo zero davanti alla virgola, seguiti dall'indicazione

del produttore (*e.g.* .308 Winchester). Non è raro inoltre trovare diversi pseudonimi per indicare la stessa cartuccia: ad esempio il 9x19 può essere chiamato 9 Luger, 9 mm, 9 mm Luger, 9 mm NATO, 9x19 mm, 9x19 mm NATO, 9 mm Parabellum, 9 mm Para.

Il gruppo otturatore

I gas generati dalla combustione della polvere da sparo vengono dispersi in tutte le direzioni all'interno della camera di cartuccia. Per evitare che il bossolo si muova nella direzione opposta al proiettile (secondo il principio di conservazione della quantità di moto), quest'ultima deve essere trattenuta saldamente in posizione. A questa funzione adempie l'otturatore, un dispositivo metallico che in posizione chiusa sigilla posteriormente la camera di cartuccia, mentre in posizione aperta permette il cameramento della nuova cartuccia e la rimozione del bossolo esausto. L'otturatore ospita anche quelle componenti del meccanismo di sparo, come il percussore, che devono battere sull'innesco per generare la combustione della polvere da sparo, e l'unghia estrattrice, che estrae il bossolo in fase di apertura (Kneubuehl *et al.*, 2011).

La pressione sul grilletto fa sì che il percussore colpisca l'innesco. L'otturatore viene spinto indietro espellendo il bossolo, poi ritorna in avanti camerando una nuova cartuccia (Kneubuehl *et al.*, 2011; Sweeney, 2005).

Il castello o fusto e la bascula

Il castello o il fusto e la bascula rappresentano l'elemento centrale delle armi corte e lunghe, che funge da elemento di giunzione e contenimento di tutte le componenti, sia operative che accessorie. Ad essi vengono saldamente vincolati tutti gli elementi funzionali dell'arma, rendendoli di fatto il "cuore meccanico" di tutti i cinematismi (Bianchi, 1998).

Il gruppo di scatto e il meccanismo di sicura

Il meccanismo di scatto è strettamente connesso al gruppo otturatore-percussore e comprende nella maggior parte dei casi il percussore, il cane, la molla principale, la barra del grilletto, il grilletto stesso e la sua molla. La molla principale fornisce la forza necessaria per far battere il cane sul percussore e viene compressa dall'azione di armamento. Il cane può essere interno all'arma o esterno, nel caso fosse armabile direttamente dal tiratore oltre che dal ciclo di scatto (Kneubuehl *et al.*, 2011). Talvolta cane e percussore possono essere realizzati nel medesimo elemento; inoltre, talvolta il cane non è presente in quanto il percussore viene proiettato grazie ad una molla e non ha quindi la necessità di essere colpito (Paniz, 2019).

Per evitare che l'operatore spari involontariamente, vengono incorporati in questo gruppo alcuni dispositivi di sicurezza manuali. In aggiunta a un corretto addestramento del tiratore, i produttori hanno nel tempo introdotto delle sicure meccaniche che prevengano uno scatto accidentale durante il trasporto o il maneggio delle armi. La maggior parte dei dispositivi di sicurezza, infatti, blocca il movimento del grilletto evitando così pressioni accidentali (Sweeney, 2005).

La principale differenza tra un'arma automatica e un'arma semiautomatica consiste nella conformazione del gruppo di scatto. In un'arma semiautomatica il grilletto è conformato in modo tale da comprendere un disconnettore, che blocca il ciclo di scatto e impedisce un nuovo scatto se il tiratore non rilascia e riaziona il grilletto (Bradley-Siemens e Brower, 2016).

Il serbatoio interno o il caricatore amovibile

Il caricatore ha il compito di contenere le cartucce, in modo da semplificare l'operazione di ricarica dell'arma. I caricatori possono essere di due tipi: fissi (serbatoi interni), cioè integrati

nell'arma, o amovibili. Questi ultimi sono i più diffusi per via della loro intrinseca comodità di utilizzo (Sweeney, 2005; Musciarelli, 1978).

I congegni di mira

I congegni di mira o organi di mira sono l'insieme di tutte le parti che permettono il puntamento con precisione dell'arma, in modo da colpire un bersaglio posto a distanza. Le armi da fuoco possono essere dotate di congegni di mira metallici, costituiti da due parti di riferimento: il mirino – fissato in prossimità della volata della canna – e la tacca di mira, posizionata posteriormente in prossimità della culatta. Esistono tuttavia dei fucili che sono sprovvisti di mire metalliche, in quanto prevedono l'ausilio di un sistema ottico di puntamento (Murtz, 2005).

La calciatura e l'impugnatura

La calciatura o calcio è la parte di un'arma lunga che viene imbracciata dall'operatore, in modo che l'arma possa poggiarsi sulla spalla per distribuire le forze generate dallo sparo. Nelle armi corte invece il rinculo si scarica soltanto sulla mano del tiratore, attraverso l'impugnatura (Wills, 2014; Cadiou e Richard, 1978).

1.2 – LE ARMI DA SPARO

Le armi con funzionamento ad aria o gas compressi rientrano tra le armi a modesta capacità offensiva se i proiettili possiedono un'energia cinetica misurata all'origine non superiore a 7,5 Joule. Altrimenti, secondo la legge italiana, sono da considerarsi armi comuni da sparo e necessitano, dunque, di un'autorizzazione per l'acquisto e di una denuncia di possesso (Mori, 2020). Le armi ad aria compressa sono utilizzate principalmente nella pratica sportiva. In questo tipo di arma la spinta per il lancio del proiettile viene conferita tramite la compressione di un gas, generalmente aria ambiente o anidride carbonica (Sweeney, 2005; Musciarelli, 1978). La canna è rigata nella maggior parte dei casi e i calibri spaziano da 4,3 mm a 12,7 mm. Il calibro 4,5 mm è il più diffuso ed è quello che permette la maggiore scelta in fatto di proiettili (Mori, 2013).

Nonostante la terminologia sia spesso utilizzata indistintamente, ne esistono due tipi: le armi ad aria compressa propriamente dette e le armi ad aria precompressa. Nel primo caso il meccanismo di funzionamento è dato da un pistone che scorre a tenuta d'aria all'interno di un cilindro e che viene fatto arretrare manualmente con una leva o tramite l'abbassamento della canna. Scorrendo, il pistone comprime una molla e aspira l'aria dall'esterno. La pressione del grilletto fa scattare avanti il pistone, il quale spinge l'aria immagazzinata nel cilindro attraverso un foro situato dietro il proiettile, che viene quindi espulso (Musciarelli, 1978).

Le armi ad aria precompressa sono invece caratterizzate dall'uso di apposite bombole – contenenti generalmente anidride carbonica – oppure dalla compressione preventiva dell'aria ambiente operata dal tiratore, mediante l'azionamento di una pompa (Mori, 2003).

Le munizioni possono essere in acciaio, in rame o, più spesso, in piombo. Le più utilizzate hanno una forma a clessidra: la parte anteriore può avere forme diverse in base al modello e funge da guida inserendosi nei vuoti di rigatura della canna, mentre la parte posteriore è cava

e svasata, in modo da sigillare la canna e raccogliere la spinta dell'aria al momento dello sparo (Di Maio, 2016).



Figura 3: Diversi tipi di munizionamento tipo diabolo per armi ad aria compressa (Mori, 2003).

Le armi utilizzate per la teleanestesia, infine, sono rappresentate da cerbottane, pistole o fucili che sono in grado di lanciare – impiegando gas compressi o munizioni a salve – particolari dardi contenenti la dose di farmaco necessaria a narcotizzare l'animale. Queste munizioni, dette telesiringhe, sono munite di un sistema iniettivo che permette la somministrazione dell'anestetico subito dopo il contatto con l'animale; tale sistema può essere di tipo chimico, a carica esplosiva, a molla, a gas, *etc.* (Spadola, 2003). I telefucili e le telepistole sono classificati come armi comuni da sparo, mentre per le cerbottane manca una regolamentazione specifica.



Figura 4: Esempio di fucile lancia-siringhe (Dan-Inject, mod.JMSP).

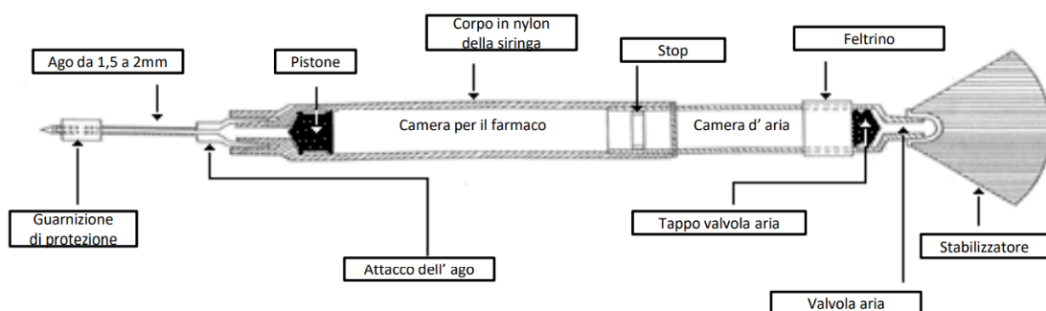


Figura 5: Struttura di una siringa per fucili e pistole da teleanestesia (Spadola, 2003).

LE MUNIZIONI

Si definisce “munizione” un manufatto da introdurre in un’arma da fuoco affinché questa possa estrinsecare la propria funzionalità. La costruzione di una canna per arma da fuoco moderna è strettamente legata al tipo di munizionamento che verrà utilizzato; pertanto, esiste una correlazione univoca tra forma, geometria e proporzione di questi due elementi (Paniz, 2019).

Il munizionamento consiste nel proiettile – ossia il corpo che deve essere lanciato –, nella dose di propellente – che serve a fornire la spinta al proiettile mediante la sua combustione – e nel sistema di innesco – che genera il dardo di fiamma necessario all’accensione del propellente una volta sottoposto all’urto del percussore. Nel XIX secolo fu sviluppata la cartuccia, un tipo di munizione che riunisce il proiettile, l’innesco, il propellente e il bossolo che li racchiude in un unico manufatto (Paniz, 2019). Prima di allora le armi ad avancarica venivano caricate inserendo individualmente il proiettile e la carica di lancio nella bocca della canna (Cadiou e Richard, 1978).

Le munizioni vengono suddivise sulla base della tipologia di arma alla quale sono destinate e possono essere classificate come cartucce a carica unica, dotate quindi di un unico proiettile, oppure a carica multipla o “munizione spezzata”, ossia caricata con più pallini o pallettoni. Di seguito verranno descritte le varie tipologie di munizioni per armi ad anima liscia e rigata.

2.1 – MUNIZIONI PER ARMI A CANNA LISCIA

Le armi con canna ad anima liscia possono sparare cartucce sia a palla unica (o *slug*) che a munizione spezzata. Quest'ultima viene generalmente utilizzata per la caccia ai volatili o piccoli mammiferi e per le attività sportive di tiro a volo. La munizione a carica unica invece è utilizzata ormai di rado (anche a causa di normative venatorie territoriali) soltanto nella caccia ad animali di grossa mole, come ad esempio il cinghiale, nei rari casi in cui non si utilizzino armi a canna rigata (Di Maio, 2016).

Le munizioni spezzate impiegate nelle armi da fuoco moderne sono composte da un bossolo, ovvero un involucro in plastica o cartone cerato che viene chiuso alla base da un fondello metallico, il quale ospita la capsula di innesco. All'interno del bossolo vengono posti il propellente e il caricamento. Tra di essi viene interposta la borra, una guarnizione in plastica o in feltro che agisce come elemento di tenuta dei gas prodotti dallo sparo e contiene il caricamento (Paniz, 2019; Ricketts, 1962; Musciarelli, 1978).

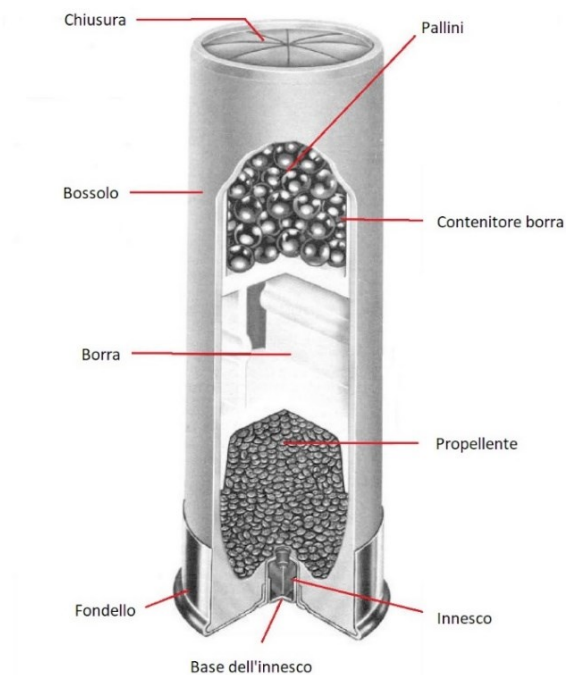


Figura 6: Rappresentazione schematica di una cartuccia a carica multipla e delle sue componenti (immagine modificata da Lucia Scuri).

Le dimensioni del bossolo devono essere conformi a quelle interne della camera di scoppio, come sancito dalla C.I.P. (*Commission Internationale Permanente pour l'épreuve des armes à feu portatives*), in modo che la chiusura dell'arma e l'estrazione siano sempre garantite.

Per questo tipo di armi il calibro è indicato convenzionalmente in “*gauge*”, ovvero come il numero di sfere di piombo del diametro dell'anima della canna che si possono ottenere con una libbra di tale metallo. Da ciò si evince che all'aumentare della numerazione con la quale si indica il calibro, diminuisce il diametro interno della canna e viceversa. Ad esempio, il diametro interno di una canna calibro 12 (18,3 mm) è superiore a quello di una canna calibro 14 (17,4 mm) (Paniz, 2019). I bossoli in commercio possono essere offerti in diverse lunghezze, indicate con un numero accanto al calibro (*e.g.* 12/70 indica un calibro 12 con un bossolo di 70 mm di lunghezza). Anche i pallini vengono misurati, sempre per convenzione, da un numero che va da 000 a 12 a seconda del loro diametro. I c.d. pallettoni ricoprono la numerazione da 4/0 a 6/0 (Di Maio, 2016).

Tabella 1: Correlazione tra numerazione dei pallini e il loro diametro effettivo.

Numerazione	Diametro in mm
6/0	6.15
5/0	5.1
4/0	4.5
3/0	4.3
2/0	4.1
0	3.9
1	3.7
2	3.5
3	3.3
4	3.1
5	2.9
6	2.7
7	2.5
7 ½	2.4

8	2.3
9	2.1
10	1.9
11	1.7
12	1.5
13	1.3
14	1.1

La scelta della dimensione dei pallini in ambito venatorio è fondamentale poiché correlata alla scelta del selvatico, come mostrato nella Tabella 2:

Tabella 2: Dimensione idonea dei pallini in relazione ad alcuni esempi di animali selvatici.

Selvatico	Numerazione
Lepre	4/5
Anatra	5/6
Fagiano	6/7
Pernice rossa, Coturnice	6/7
Starna	7/8
Beccaccia	8/9
Beccaccino	9/10
Quaglia	9/10
Merlo	9/10
Storno	9/10
Allodola	10/11

Il fondello in ottone o lamierino zincato ha la funzione di dare struttura alla munizione e contenere la capsula di innesco e il propellente (la polvere da sparo), che sono a stretto contatto. Oltre a offrire la presa all'estrattore mediante un risalto alla base detto "collarino", funge anche da guarnizione assicurando la tenuta dei gas tra la culatta e la chiusura, sostenendo parte della pressione generata dalla combustione della polvere (Kneubuehl *et al.*, 2011; Mori, 2003).

L'innescò costituisce l'inizio della catena propulsiva all'interno della cartuccia, grazie a una miscela contenuta al suo interno composta da un esplosivo detonante e altre sostanze. L'innescò ha lo scopo di determinare l'accensione della carica di lancio per mezzo di un urto meccanico impresso dal percussore. Il suo alloggiamento è generalmente al centro del fondello (percussione centrale), ma in alcune armi di piccolo calibro è posto nella piega del collarino (percussione anulare). La miscela esplosiva può essere di tipo *standard* (stifnato di piombo) o di tipo *leadless*, ovvero senza piombo. La fiammata che si crea al momento della percussione attraversa il fondello fino a raggiungere la carica di lancio attraverso uno o più fori, denominati fori di vampa. La dimensione degli inneschi è standardizzata e i produttori ne offrono diversi in funzione del calibro e della quantità di carica (Paniz, 2019; Mori, 2013). La borra, o borraggio, è un elemento che si trova solo nelle munizioni per armi ad anima liscia o, con diversa forma, nelle armi ad avancarica. In quest'ultimo caso si tratta di un elemento cilindrico in feltro o materiali simili, che nelle cartucce più moderne e ad elevata potenza viene sostituito da un contenitore in plastica a forma di calice per contenere i pallini. La borra ha lo scopo di trasmettere uniformemente l'energia ai pallini evitandone la deformazione e di mantenere un'adeguata tenuta dei gas sulle pareti della canna (Kneubuehl *et al.*, 2011).

I pallini vengono espulsi dalla canna in un'unica soluzione e, in funzione della strozzatura utilizzata e del tipo di borraggio, assumono in volo diverse geometrie a diverse distanze. I pallini sono generalmente costituiti di piombo puro o nichelato – questi ultimi sono più resistenti alla deformazione (Mori, 2003).

I pallini e i proiettili in piombo sono destinati ad essere proibiti per effetto dell'adesione della Repubblica Italiana all'Accordo sulla conservazione degli uccelli acquatici migratori dell'Africa-Eurasia (AEWA), stipulato a L'Aja il 15 agosto 1996. Nell'ambito del programma CONCEPT (*Cooperative Nontoxic Shot Education Program*) sono stati condotti numerosi test

sperimentali per dimostrare l'efficacia di pallini di materiali diversi dal piombo, come leghe di bismuto o tungsteno (ma in questi casi i costi sarebbero proibitivi) o in ferro, con diversa durezza. Le problematiche sono risultate essere principalmente due: la sicurezza dell'arma e il rendimento balistico (Mori, 2003). Le problematiche ambientali e igienico-sanitarie legate all'inquinamento da piombo sono illustrate nel Capitolo 6.

Come già anticipato, esiste la possibilità di utilizzare per fucili ad anima liscia anche munizioni a carica unica, dette in gergo "palle singole" o *slug*. In questo tipo di armi, a causa della mancanza di rigature all'interno della canna, non è possibile imprimere una rotazione al proiettile e dunque una stabilizzazione giroscopica. È necessario ricorrere ad altri sistemi, quali l'alleggerimento della parte posteriore del proiettile o il fissaggio di una borra alla sua base, in modo da spostare in avanti il centro di gravità. Possono essere anche aggiunte delle alette stabilizzatrici, che pur comportando una leggera perdita di precisione, consentono di utilizzare proiettili lunghi che conservano la stabilità anche in traiettorie molto curve (Mori, 2003; Kneubuehl *et al.*, 2011).

Queste speciali munizioni vengono impiegate per alcuni generi di caccia in cui è possibile avvicinare animali di grossa mole a meno di 50 metri. In Italia la normativa vigente consente l'utilizzo di questa munizione solo per la caccia al cinghiale in battuta e ne vieta l'utilizzo nei confronti di tutti gli altri ungulati. Benché molto lesivo a breve distanza, il risultato che si ottiene con questo impianto balistico è molto inferiore ai risultati che si hanno con i proiettili ogivali sparati dalle armi a canna rigata (Di Maio, 2016).

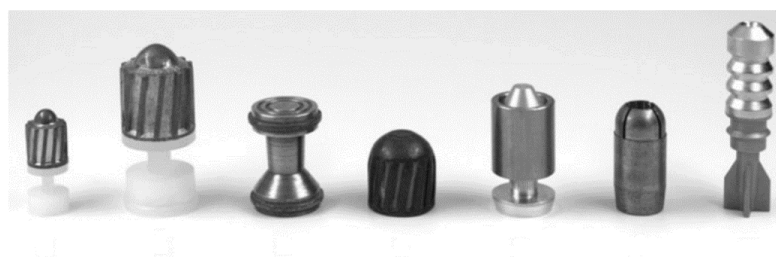


Figura 7: Esempi di diversi tipi di munizioni *slug* per fucili a canna liscia (Kneubuehl *et al.*, 2011).

2.2 – MUNIZIONI PER ARMI A CANNA RIGATA

Le munizioni per armi ad anima rigata si differenziano dalle precedenti per la loro struttura e possono impiegare unicamente munizioni a palla unica. I bossoli delle cartucce destinati a questo tipo di arma sono generalmente realizzati completamente in ottone – una lega costituita dal 70% di rame e dal 30% di zinco – o, meno comunemente, in acciaio. Sperimentalmente sono stati utilizzati anche alluminio, zinco e vari tipi di materiale plastico (Di Maio, 2016). La funzione principale del bossolo è quella di espandersi e sigillare la camera di cartuccia garantendo la tenuta dei gas. Al momento dello sparo, infatti, la pressione dei gas prodotti dalla combustione del propellente determina l'espansione del bossolo che aderisce saldamente alle pareti della camera (Kneubuehl *et al.*, 2011).

Le componenti principali di un bossolo, mostrate in Figura 8, sono:

- Il colletto, su cui viene alloggiato il proiettile.
- Il corpo, che costituisce le pareti e permette di suddividere i bossoli in cilindrici, conici o a collo di bottiglia.
- La spalla, presente soprattutto nelle munizioni per armi lunghe, è un restringimento tronco-conico del corpo in vicinanza del colletto e permette di raccordare un bossolo voluminoso – quindi con una carica maggiore – a un proiettile di dimensioni minori.
- Il fondello, che chiude posteriormente il bossolo e ospita nella maggior parte dei casi l'innesco, in comunicazione con la carica di lancio attraverso il foro di vampa.
- Il collarino, che funge da appiglio per l'estrattore.

(Bianchi, 1998).

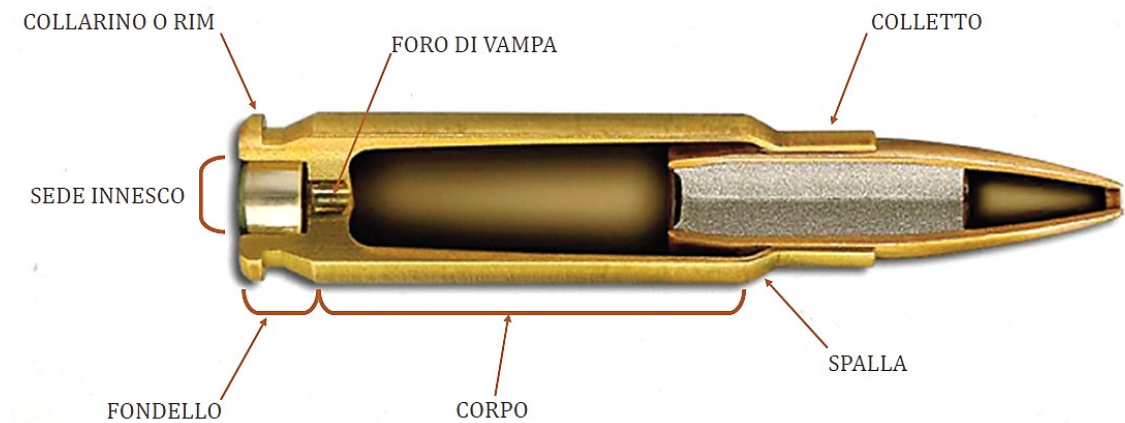


Figura 8: Rappresentazione schematica di una munizione a carica unica per armi ad anima rigata (per gentile concessione di Jacopo Pellini, armaiolo).

Gli inneschi utilizzati nelle cartucce per armi ad anima rigata hanno il medesimo funzionamento e costituzione di quelli descritti nel paragrafo precedente. Essi differiscono esclusivamente nelle dimensioni, in funzione della destinazione d'uso: per fucile, per pistola *etc.* A seconda delle dimensioni del fondello possono essere classificati in *small* o *large*. Esiste anche una particolare categoria di inneschi, denominati *match* e *bench-rest*, utilizzati per la costruzione di cartucce da gara molto precise; e il tipo *magnum*, per cartucce che necessitano di maggiore potenza di accensione (Kneubuehl *et al.*, 2011).

Il proiettile rappresenta l'elemento fondamentale della cartuccia, poiché adempie al ruolo di trasformare l'energia potenziale del propellente in energia cinetica da trasportare e successivamente trasferire sul bersaglio. Per fare ciò, il proiettile deve resistere alle forze che subisce all'interno della canna mentre e deve perdere meno velocità possibile lungo il suo percorso tra la volata e il bersaglio. I processi fisici relativi a questi requisiti sono ormai ben conosciuti e studiati nelle Scienze Balistiche e ciò limita la possibilità di osservare evidenti differenze di design tra i vari modelli in commercio (Kneubuehl *et al.*, 2011).

Le principali caratteristiche statiche dei proiettili sono il calibro, la massa, la lunghezza, la forma, la composizione materiale e strutturale e la destinazione d'uso. Tutti questi elementi influenzano in maniera sostanziale la traiettoria di tiro, la velocità e la precisione sul bersaglio, nonché gli effetti che si intendono provocare su di esso (Paniz, 2019).

I proiettili possono essere suddivisi in alcune categorie di base:

- Proiettili monolitici in lega balistica (*solid bullets*).
- Proiettili incamiciati o mantellati, formati da un nucleo centrale detto *core* – generalmente in piombo –, ricoperto da un sottile strato di altro materiale che costituisce l'incamiciatura o *mantle* o *jacket*. Questo rivestimento può essere realizzato in lega di rame, ottone, acciaio tenero o altri materiali e ha lo scopo di contenere, entro certi limiti, la deformazione del proiettile al momento dell'impatto. L'incamiciatura può essere completa e rivestire completamente il nucleo (*full metal case*), può lasciare aperta soltanto la base del proiettile (*full metal jacket*) o la parte apicale del nucleo (proiettile semi-incamiciato o *semi-jacketed*). Se il proiettile è a punta cava, viene definito *hollow point*.
- I proiettili perforanti (*hard-core*) possiedono un nucleo costituito da un materiale molto duro (acciaio temprato, tungsteno *etc.*) e un rivestimento speciale; sono progettati per penetrare con forza superfici particolarmente resistenti e sono vietati per l'impiego civile.
- I proiettili traccianti (*tracer bullets*) possiedono nella loro base delle sostanze che si incendiano dopo lo sparo, rendendo visibile la traiettoria. Anche questi proiettili non sono permessi per l'impiego civile.

(Paniz, 2019; Kneubuehl *et al.*, 2011).

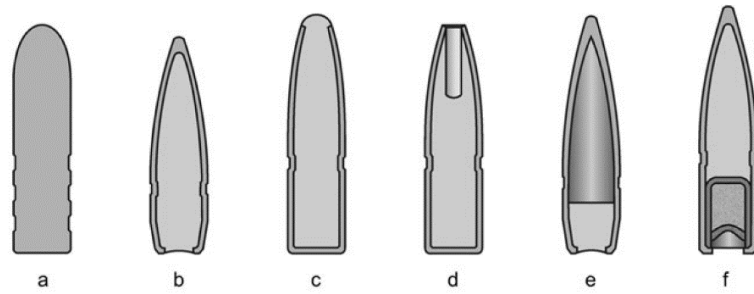


Figura 9: Sezione sagittale di alcuni tipi di proiettile. a) proiettile monolitico; b) proiettile *full metal jacket*; c) proiettile *semi-jacketed*; d) proiettile *semi-jacketed hollow point*; e) proiettile perforante; f) proiettile tracciante (Kneubuehl et al., 2011).

I proiettili di tipo monolitico in lega diversa dal piombo stanno avendo negli ultimi tempi sempre maggiore diffusione e sono destinati a soppiantare le palle di piombo con mantello in rame utilizzate tradizionalmente in ambito venatorio. Sono realizzate mediante la lavorazione di un singolo metallo, che nella maggior parte dei casi è il rame. La complessa geometria apicale unitamente all'aggiunta di un puntale in polimero permettono una deformazione ottimale al momento dell'impatto. I modelli più tecnologicamente avanzati possiedono una struttura ad anelli sul corpo del bossolo, che è leggermente ridotto rispetto al calibro richiesto dalla canna. In questo modo, sono gli anelli presenti sulla struttura che entrano in contatto con i pieni di rigatura della canna, permettendo di generare minori pressioni e fornire maggiore velocità al proiettile (Kneubuehl *et al.*, 2011; Mori, 2003).



Figura 10: Esempio di palla monolitica in rame (Barnes .375 TTSX BT 250 gr 50 kpl), a sinistra in sezione sagittale; a destra dopo la deformazione (per gentile concessione di Jacopo Pellini, armaiolo).

Esistono oggi sul mercato anche palle composite (dunque non monolitiche) con un nucleo in metalli diversi dal piombo, come lo stagno alimentare. La ragione è nuovamente di tipo ecologico, con il fine di evitare la contaminazione da piombo nelle carni di selvaggina e nell'ambiente e per questo motivo sono definite "atossiche". Date le proprietà meccaniche dello stagno, non ottimali in termini balistici, questi proiettili sono strutturati per frammentarsi una volta entrati a contatto con i tessuti (Mori, 2003).



Figura 11: Esempio di proiettile in stagno alimentare (RWS 9.3x62 EVO green) e relativa frammentazione (per gentile concessione di Jacopo Pellini, armaiolo).

Utilizzate spesso in ambito venatorio sono anche le palle di tipo “*bonded*”, caratterizzate dal fatto di avere il nucleo legato al mantello. Questa peculiarità previene la separazione e la frammentazione dei due elementi in fase terminale, garantendo un’elevata ritenzione della massa iniziale e migliorando sensibilmente la profondità di penetrazione. Queste prestazioni sono difficilmente ottenibili tramite i processi produttivi di camiciatura classica. Anche le palle a doppio nucleo (*partition* o *dual core*) rispondono alla necessità di deformazione, con il vantaggio però di limitare l’espansione solo alla parte anteriore del proiettile, quindi solo a uno dei due nuclei. La parte posteriore ha il compito di mantenere la massa e “spingere” in profondità la parte anteriore espansa (Di Maio, 2016). Un’altra recente introduzione nel contesto del munizionamento utilizzato in ambito venatorio è l’aggiunta di un puntale in polimero su tradizionali proiettili a punta cava. Tale elemento non ha alcuna funzione in fase terminale, ma serve a garantire alla palla maggiori prestazioni aerodinamiche e di conseguenza maggiore precisione (Kneubuehl *et al.*, 2011).

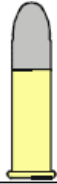
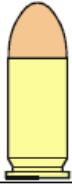

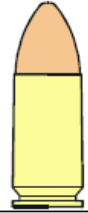


È importante considerare che la morfologia costruttiva della pallottola varia soprattutto in funzione della sua destinazione d'uso. Ad esempio, in ambito venatorio vengono utilizzate munizioni che si espandono rapidamente appena entrano in contatto con i tessuti corporei, in modo da cedere la massima energia cinetica possibile e determinare uno shock idrostatico nettamente superiore a quello che si avrebbe se la palla rimanesse della forma originaria. Queste nozioni di balistica terminale verranno illustrate nel dettaglio nel capitolo dedicato. Per quanto riguarda invece l'ambito bellico, secondo quanto sancito dalle Convenzioni dell'Aja del 1899 e 1907, sono concesse soltanto pallottole totalmente incamiciate o blindate e sono invece proibite munizioni ad espansione o a punta cava in quanto considerate troppo lesive, seguendo un ragionamento opposto rispetto all'etica venatoria in cui l'uccisione dovrebbe essere certa e il più rapida possibile.

Di seguito sono riportati alcuni esempi di calibri idonei in ambito venatorio per le principali specie selvatiche in Italia e, in Figura 12, relative immagini non in scala.

- Capriolo: .223 Rem., 5.6x52 R, .243 Win.
- Muflone: 6.5x55 Swedish, .270 Win., 6.5x284 Norma
- Daino: .270 Win., 7x64 Brenneke, 7mm-08 Rem.
- Cervo: 7mm Rem. Mag., .300 Win. Mag., 8x57 JS
- Cinghiale: 9.3x62 Mauser, 30-06 Spr., .308 Win.



Figura 12: Rappresentazione dei più diffusi calibri per arma lunga utilizzati in ambito venatorio (per gentile concessione di Jacopo Pellini, armaiolo).

PISTOLA AUTOMATICA					
					
22 LR	7.65 Browning 32 ACP	9 Browning 9 Corto (short) 380 ACP	9 Parabellum 9x19 9 Luger	40 Smith & Wesson	45 ACP 45M11

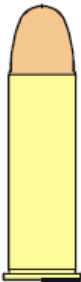


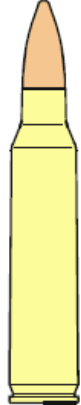
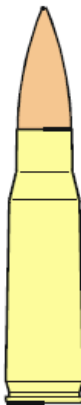


REVOLVER			CARABINA - FUCILE			
						
38 Special	357 Magnum 357 Rem. Mag	44 Magnum 44 Rem. Mag	5.56x45 5.56 NATO 223 Rem	7.62x39 7.62 AK47 7.62 M43	7.62x51 7.62 NATO 308 Win	30-06 30-06 Springfield

Figura 13: Rappresentazione grafica delle principali munizioni per armi a canna rigata, disegnate in scala per mostrarne le proporzioni reciproche. Di ogni cartuccia viene riportato il nome principale ed altri con i quali è conosciuta (Mori e Palazzini, 2003).

LA BALISTICA

La balistica (dal gr. βάλειν, lanciare) è un ramo della fisica meccanica che studia il moto dei corpi in volo e comprende l'insieme dei fenomeni fisici coinvolti nel movimento del proiettile. Tale movimento può essere suddiviso in tre momenti: il tragitto all'interno della canna (balistica interna), la traiettoria al di fuori dell'arma (balistica esterna) e gli effetti sul bersaglio (balistica terminale). Se il proiettile entra in contatto con i tessuti di una persona o un animale, allora è opportuno parlare di balistica lesionale (Bradley-Siemens *et al.*, 2018). La balistica forense, in particolare, si occupa delle implicazioni di natura giuridica relative all'utilizzo delle armi da fuoco e delle munizioni e alla loro lesività nei confronti dell'uomo o gli animali (Zagra *et al.*, 2011).

3.1 – BALISTICA INTERNA

La balistica interna è lo studio dei fenomeni che accadono dal momento della percussione dell'innesco della cartuccia fino al momento in cui il proiettile esce dalla volata della canna (Mori, 2003). Tra la balistica interna ed esterna si interpone una fase transitoria, denominata balistica intermedia (o transizionale), nella quale i gas combusti continuano a influenzare la traiettoria di volo del proiettile che ha appena lasciato la canna (Kneubuehl *et al.*, 2011).

Quando un proiettile viene sparato a corto raggio o con la bocca dell'arma a contatto con il corpo del bersaglio, la balistica interna assume un ruolo essenziale poiché vengono conferite delle caratteristiche tipiche alla ferita. La conoscenza di questa branca è dunque fondamentale ai fini dello studio della balistica forense, in quanto è necessaria per poter valutare la presenza di residui da arma da fuoco (i cosiddetti *gunshot residues*, GSR), determinare la distanza del bersaglio dall'arma e altre informazioni sostanziali (Di Maio, 2016).

A seguito dell'impatto del percussore sulla capsula di innesco, la miscela esplosiva viene compressa contro l'incudine – nel caso di inneschi a percussione centrale – o contro l'orlo del fondello – nel caso di inneschi a percussione anulare. Si produce dunque una fiamma che, attraverso i fori di vampa dell'innesco, raggiunge la polvere da sparo scatenandone la deflagrazione. Questa sarà più o meno rapida in relazione alla forza dell'innesco, al tipo, alla sua conformazione e alla quantità di polvere, nonché alla densità del caricamento. È necessario che la polvere bruci completamente prima che il proiettile esca dalla volata della canna, sia per poterne sfruttare l'energia con la massima efficienza, sia per evitare che i residui si infiammino al di fuori dalla bocca dell'arma, determinando la cosiddetta vampa di bocca. Le caratteristiche che differenziano i vari tipi di polvere da sparo (oggi di tipo infume) riguardano principalmente la velocità di combustione, il contenuto energetico e la stabilità agli agenti atmosferici (Mori, 2003).

La deflagrazione della polvere sviluppa una grande quantità di gas (circa un litro per ogni grammo di polvere) che si dilata per effetto del calore. Tutto ciò genera un enorme aumento di pressione in tutte le direzioni: contro le pareti del bossolo – che aderisce alle pareti della camera di scoppio impedendo la fuoriuscita di gas all'indietro –, contro il fondello – che viene premuto contro l'otturatore – e contro il fondo del proiettile – che viene spinto in avanti. Il picco di pressione massima si verifica all'interno del bossolo molto presto, in genere a pochi millimetri dalla culatta. Questo aumento di pressione è tale per cui il proiettile si svincola dalle pareti del bossolo e inizia il suo percorso lungo la canna, subendo una costante accelerazione fino alla sua fuoriuscita all'esterno (Mori, 2013).

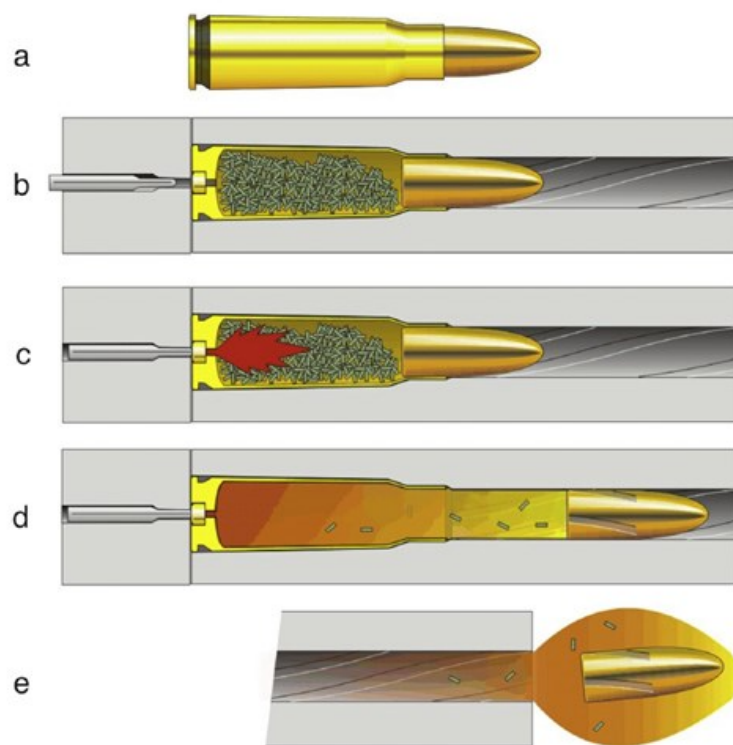


Figura 14: Rappresentazione grafica di una munizione per arma lunga a canna rigata (a) nella camera di cartuccia, sezionata longitudinalmente per mostrare la polvere e l'innesco (b). Il ciclo di sparo inizia con l'attivazione del percussore che colpisce l'innesco (c), determinando l'accensione della polvere e la produzione dei gas di sparo. I gas combusti accelerano il proiettile lungo la canna, mentre la rigatura ne imprime la rotazione (d). Dopo la fuoriuscita del proiettile dalla volata, si verifica una leggera deviazione del suo asse longitudinale rispetto alla direzione della traiettoria (e) (Stefanopoulos *et al.*, 2014).

I gas di sparo escono dalla bocca dell'arma con grande velocità e consistono in parte nella colonna d'aria che viene spinta al di fuori della canna e in parte nei gas di combustione che fuoriescono superando il proiettile, dato che questo non funge da perfetta guarnizione contro le pareti della canna. Una volta che il proiettile ha lasciato la volata, i gas sono ancora sottoposti a una pressione considerevole e si espandono. La loro velocità è tale da superare quella del proiettile e il flusso che si genera intorno ad esso non è mai perfettamente simmetrico in ogni sua parte. Questo fenomeno determina sì una leggera accelerazione aggiuntiva, ma anche delle forze laterali irregolari che inducono il proiettile a oscillare attorno al proprio centro di gravità. Questo effetto è particolarmente marcato nel caso di proiettili

lunghe o a base rastremata (*boat tail*). Dopo qualche decina di centimetri i gas rallentano e vengono a loro volta superati dal proiettile, che prosegue seguendo la sua traiettoria (Kneubuehl *et al.*, 2011).

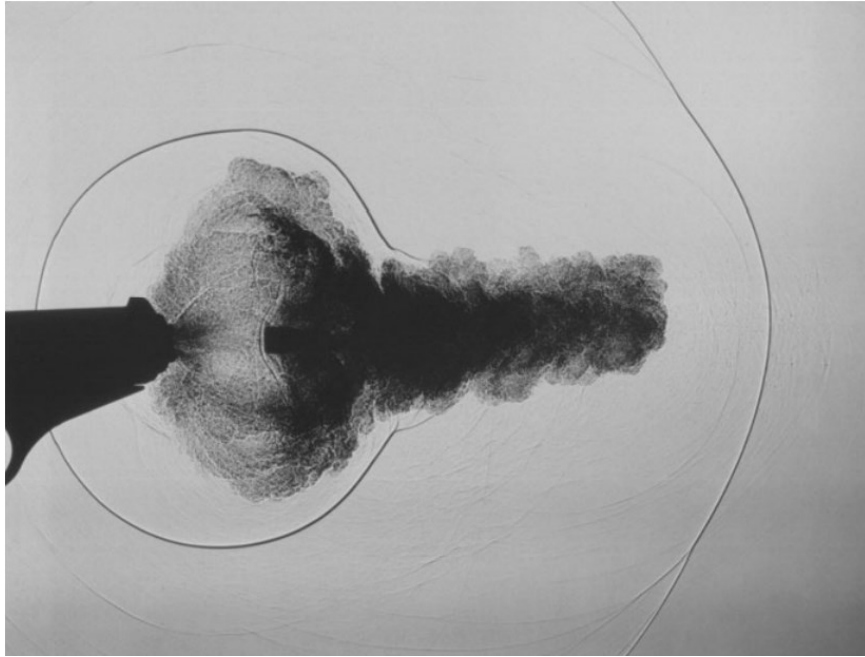


Figura 15: Ombrografia del momento dello sparo di un proiettile (tempo di esposizione approssimativo: 1 μ s). Sono messi in evidenza i gas di sparo intorno e davanti al proiettile. Le linee scure concentriche sono le onde d'urto, non percepibili dall'occhio umano (Kneubuehl *et al.*, 2011).

Al momento dello sparo è visibile a livello della bocca anche una fiammata, proveniente da due diverse sorgenti. Nel caso delle armi a canna corta, può succedere che il proiettile lasci la volata prima che la combustione della polvere sia terminata, questo causa il cosiddetto *flash* primario. Oltre a ciò i gas di sparo che seguono il proiettile possono bruciare a contatto con l'ossigeno contenuto nell'aria ambiente. Questo fenomeno è conosciuto come *flash* secondario (Kneubuehl *et al.*, 2011).

3.2 – BALISTICA ESTERNA

La balistica esterna studia i fenomeni fisici che avvengono dal momento in cui il proiettile lascia la canna al momento in cui viene a contatto con il bersaglio. Nello spazio esterno il proiettile percorre una traiettoria risultante da tre forze principali: l'impulso iniziale – che imprime un moto rettilineo uniforme–, la resistenza dell'aria – che si oppone a esso in senso contrario – e la forza di gravità – che tende a far cadere il proiettile verso il suolo con un moto uniformemente accelerato (Mori, 2013). Verranno trascurate nel presente elaborato alcune variabili che interessano tipi particolari di munizioni a lunghissima gittata.

La traiettoria è dunque la base dello studio della balistica esterna ed è rappresentata da una parabola asimmetrica, composta da un ramo ascendente più lungo e un ramo discendente più breve e inclinato, come mostrato in Figura 16:

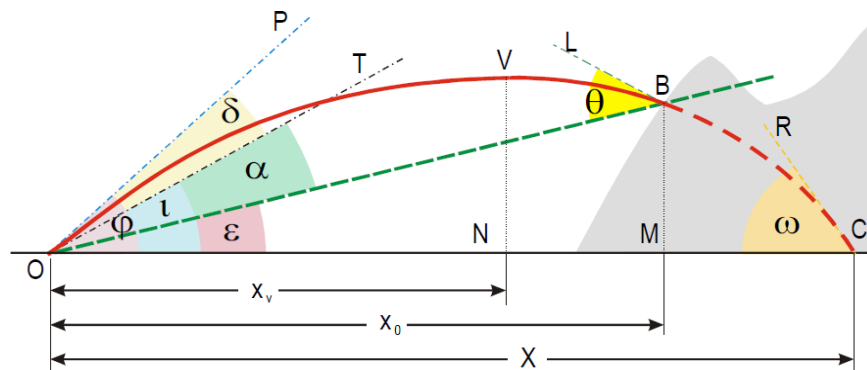


Figura 16: Rappresentazione grafica della traiettoria di un proiettile. O è l'origine della traiettoria, identificata come il centro della bocca dell'arma al momento dello sparo. La linea OC rappresenta l'orizzonte. La linea OP è definita come linea di proiezione ed è tangente all'origine della traiettoria. Si tratta del prolungamento dell'asse della canna al momento in cui il proiettile abbandona l'arma. La linea OT è la linea di tiro, ovvero il prolungamento dell'asse della canna prima dello sparo. La linea OB è la linea di sito, che congiunge la volata con il bersaglio. V è il vertice della traiettoria, ovvero il punto che divide la parabola nei rami ascendente (OV) e discendente (VC). C è il punto di caduta, che corrisponde all'intersezione del ramo discendente della traiettoria con la linea di orizzonte. Può coincidere col punto B se questo si trova sulla linea di orizzonte. B rappresenta il bersaglio mirato, ovvero il punto in cui la linea di sito interseca la traiettoria. X è la gittata, ovvero la distanza tra l'origine e il punto di caduta. X_v rappresenta l'ascissa del vertice, mentre X_0 l'ascissa del punto B. L'angolo ϵ (BOC) è definito come angolo di sito, ovvero l'angolo tra la linea di tiro e l'orizzonte. L'angolo φ (POC)

rappresenta l'angolo di proiezione, compreso tra la linea di proiezione e l'orizzonte. L'angolo δ (POT) è detto angolo di rilevamento ed è formato dalla linea di proiezione e la linea di tiro. L'angolo α (TOB) è l'angolo di elevazione ed è formato dalla linea di tiro e la linea di sito. Corrisponde al cosiddetto "alzo". L'angolo ι (TOC) è l'angolo di tiro ed è l'angolo che si crea tra la linea di tiro e l'orizzonte. L'angolo ω (OCR) è definito angolo di caduta ed è l'angolo acuto formato dalla tangente alla traiettoria nel punto di caduta con la linea di orizzonte. In ultimo, l'angolo θ (OBL) rappresenta l'angolo di incidenza, ovvero l'angolo formato dalla tangente alla traiettoria con la linea di sito nel punto di arrivo. Differisce dall'angolo di impatto, formato dalla tangente alla traiettoria con il terreno nel punto B, poiché quest'ultimo dipende, appunto, dalla conformazione del terreno (Mori, 2003). Semplificando, è possibile affermare che la traiettoria è tanto più curva quanto più lento è il proiettile, a causa dell'effetto della forza di gravità. Il peso del proiettile, a differenza di quanto si potrebbe pensare, a parità di velocità non incide in maniera sostanziale sulla morfologia della curva della traiettoria (Mori, 2013).

Se il moto del proiettile avvenisse nel vuoto, la traiettoria avrebbe la forma di una curva parabolica perfettamente simmetrica rispetto al suo vertice, in quanto la velocità risulterebbe costante durante il volo. Dato che non è così, assume importanza fondamentale ai fini balistici la perdita di velocità dovuta alla resistenza del mezzo che il proiettile attraversa: l'aria. Il calcolo della resistenza dell'aria, soprattutto per velocità superiori ai 200 m/s, è particolarmente complicato in quanto influenzato da diversi fattori, quali la densità dell'aria a diverse altitudini, la sua temperatura, la morfologia più o meno aerodinamica del proiettile stesso e altre variabili. Una stima accurata di questo parametro, infatti, è resa ancor più complicata dal fatto che il proiettile nel suo volo è soggetto a movimenti oscillanti che modificano in ogni istante la sezione opposta al fluido attraversato (Mori, 2013). Per questo motivo, il sistema di equazioni volto a determinare le variazioni di velocità non può essere risolto analiticamente, ma soltanto sperimentalmente e in maniera specifica per ogni munizione. I dati riguardanti la balistica esterna della maggior parte dei proiettili in commercio sono raccolti in apposite tavole balistiche (Kneubuehl *et al.*, 2011).

I fenomeni oggetto di studio della balistica lesionale – fine ultimo dei calcoli di balistica esterna nell'ambito della patologia forense –, sono determinati non solo dalla velocità e

dall'energia del proiettile al momento dell'impatto, ma anche dal moto proprio dello stesso (Di Maio, 2016).

Il cosiddetto moto proprio di un proiettile è influenzato in maniera sostanziale dalla sua geometria, la quale determina il modo in cui le varie forze agiscono su di esso. I due principali punti di applicazione delle forze agenti su un proiettile sono il centro di gravità (o centro di massa) e il centro di pressione (o centro geometrico). In un proiettile ogivale questi due punti non coincidono e il centro di gravità risulta spostato indietro rispetto al centro di pressione. Per questo motivo l'asse longitudinale del proiettile non è in linea con la traiettoria in ogni suo punto, ma forma un angolo rispetto alla retta tangente ad essa (Nunziata, 2003). La punta del proiettile, dunque, non è diretta verso il bersaglio in ogni momento (Kneubuehl *et al.*, 2011).

La posizione relativa del centro di gravità e del centro di pressione comporta effetti stabilizzanti o destabilizzanti a seconda della geometria del proiettile stesso. In generale, la distanza tra questi due punti è tanto maggiore quanto più lungo è il proiettile e tanto minore è la sua densità sezionale (Mori, 2003). Inoltre, il fatto che questi due punti non coincidano fa sì che il proiettile subisca un effetto di capovolgimento rispetto al proprio centro di gravità determinato dalla resistenza dell'aria, come mostrato in Figura 17. Questo effetto viene mitigato dalla rotazione longitudinale che viene impartita dalle rigature nell'anima della canna (Stefanopoulos *et al.*, 2019; Kneubuehl *et al.*, 2011).

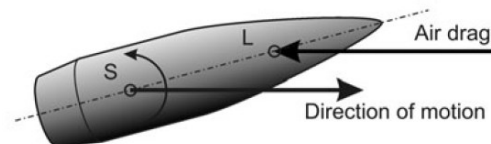


Figura 17: Rappresentazione grafica della posizione del centro di gravità (S) e del centro di pressione (L) in un proiettile per arma ad anima rigata. La resistenza dell'aria (*air drag*), agendo sul centro di pressione, tende a capovolgere il proiettile rispetto al suo centro di gravità (Kneubuehl *et al.*, 2011).

In termini fisici il proiettile si comporta dunque come un giroscopio, in quanto, sotto l'influenza costante di un momento angolare – dovuto alla resistenza dell'aria che agisce su di esso in un punto differente dal baricentro –, subisce un effetto detto precessione. Ciò significa che l'asse longitudinale del proiettile descrive un cono, il cui apice si trova a livello della punta del proiettile stesso e l'asse mediano coincide con la sua traiettoria di volo (Kneubuehl *et al.*, 2011).

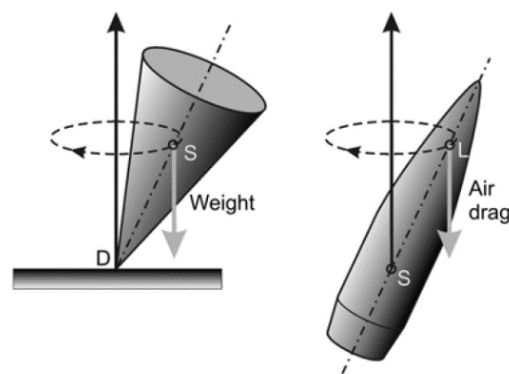


Figura 18: Rappresentazione dell'analogia tra il movimento di un giroscopio e quello di un proiettile in volo. S: centro di gravità; D: centro di rotazione della punta del giroscopio; L: centro di pressione (Kneubuehl *et al.*, 2011).

Se il moto del proiettile viene disturbato durante il volo (*e.g.* dai gas di sparo, dall'urto contro un oggetto o dall'effetto della forza di gravità), si verifica un ulteriore movimento oscillatorio, noto come nutazione. La nutazione si verifica solo periodicamente e si sovrappone alla precessione, tendendo poi a ridursi insieme ad essa progressivamente nel tempo (Kneubuehl *et al.*, 2011; Stefanopoulos *et al.*, 2019). Se il proiettile viene sparato a distanza ravvicinata rispetto al bersaglio, questo tipo di movimento influenza in maniera sostanziale il comportamento del proiettile nel momento in cui entra nel corpo (Di Maio, 2016).

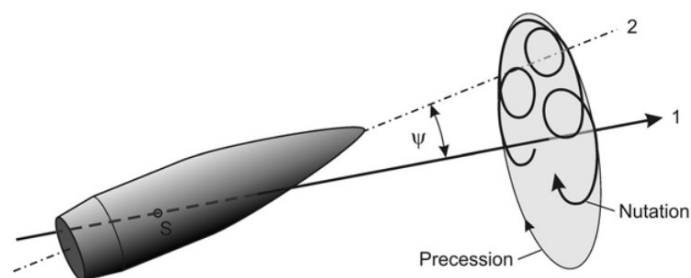


Figura 19: Rappresentazione grafica dei movimenti di precessione e nutazione di un proiettile in volo. 1: traiettoria; 2: asse longitudinale; S: centro di gravità; ψ : angolo di incidenza (Kneubuehl *et al.*, 2011).

I fenomeni fisici che intervengono su un proiettile e i fattori perturbanti la traiettoria sono talmente numerosi e reciprocamente intricati che rendono pressoché impossibile trovare una formula o una regola che determini la stabilità di un proiettile in volo. Si possono tuttavia dedurre alcune affermazioni generali. In primo luogo, i movimenti di precessione e nutazione sono proporzionali alla velocità di rotazione del proiettile. Tale velocità varia in funzione del passo di rigatura e della velocità del proiettile stesso. Ciò significa che la precisione intrinseca di un proiettile è determinata dalla sua velocità e la stabilità del proiettile aumenta lungo la sua traiettoria man mano si allontana dalla canna (Mori, 2003). Questi calcoli sono confermati in termini qualitativi da riproduzioni sperimentali con blocchi di gel balistico (Stefanopoulos *et al.*, 2019; Kneubuehl *et al.*, 2011).

I rimbalzi meritano particolare attenzione nell'ambito della balistica lesionale. Nonostante il rimbalzo di un proiettile segua le normali leggi della fisica, è molto complesso stilare formule e tabelle che in termini pratici siano realmente applicabili, in quanto influenzato da numerosi fattori quali la tipologia di materiale, la struttura del corpo urtato, il rapporto tra la massa dello stesso rispetto a quella del proiettile, la tipologia e il materiale costruttivo del proiettile, la sua energia cinetica al momento dell'impatto, *etc.* (Bettin, 2018). L'impatto imprime al proiettile una forza e un momento, in funzione dei quali il proiettile stesso può perdere o

meno la propria stabilità. Dopo un certo lasso di tempo, il movimento di stabilizzazione giroscopica riprende a stabilizzare il proiettile (Kneubuehl *et al.*, 2011; Stefanopoulos *et al.*, 2019). A seguito di un urto molto elastico il proiettile può proseguire in una nuova direzione con una velocità prossima a quella al momento dell'impatto. All'aumentare dell'angolo di impatto, aumenta l'energia cinetica trasmessa e dunque il grado di deformazione del proiettile (Di Maio, 2016).

Ad ogni combinazione proiettile-superficie attinta corrisponde un angolo, detto angolo critico, oltre il quale il proiettile può frammentarsi e generare un foro di diametro addirittura maggiore rispetto al suo calibro, senza però attraversare la superficie urtata. Questo fenomeno può generare false interpretazioni nel corso di un'indagine medico-legale (Mori, 2013). Molto più complessi da prevedere e calcolare sono i rimbalzi contro superfici curve.

La traiettoria dei pallini da caccia

I pallini, al momento dell'uscita dalla bocca dell'arma, tendono a formare un insieme compatto. Dopo qualche metro, la resistenza dell'aria inizia ad agire in maniera diversa sui singoli pallini a seconda del loro peso, delle eventuali deformazioni subite per il contatto con l'anima della canna, urti reciproci, *etc.* L'insieme di pallini forma così uno sciame allungato, maggiormente concentrato nella sua parte anteriore e il centro di gravità della rosata si colloca a circa $\frac{2}{3}$ della sua lunghezza (Mori, 2013).



Figura 20: Rappresentazione grafica di uno sciame di pallini in volo (Mori, 2013).

Le munizioni spezzate possono essere sparate da fucili con canne cilindriche o conformate con particolari modelli di restringimento della volata, detti strozzature. I pallini che escono da una canna cilindrica tendono ad allargarsi radialmente, poiché la resistenza dell'aria agisce primariamente sulle componenti più esterne dello sciame. Può capitare inoltre che il borraggio ne penetri la parte centrale, se dispone di una velocità maggiore rispetto a quella dei pallini stessi. La funzione della strozzatura è di evitare questi inconvenienti, col risultato che lo sciame di pallini si allunga leggermente e la dispersione radiale inizia più avanti nel tempo. L'aumento della dispersione è maggiore per i pallini piccoli rispetto a quelli di dimensioni maggiori, come pure l'entità della deformazione; mentre l'effetto della strozzatura sulla velocità dei pallini è trascurabile. L'obiettivo è far sì che il bersaglio si venga a trovare nella zona più densa dello sciame, che, grazie alla strozzatura della canna, è conformato in maniera da garantire una copertura ottimale della rosata alla distanza voluta (Mori, 2003).

I pallini, anche a causa delle sopracitate deformazioni, non viaggiano secondo un moto rettilineo, ma come ogni altro proiettile subiscono deviazioni spiraliformi attorno alla linea della traiettoria. La loro velocità non è determinabile nei primi metri di volo, poiché lo sciame si comporta aerodinamicamente come un corpo unico e ogni pallino inizia ad avere una traiettoria autonoma solo quando esposto alla resistenza dell'aria. La distanza a cui ciò avviene è determinata dalla velocità iniziale, dal grado di strozzatura della canna, dal tipo e dal diametro dei pallini stessi e dalla deformazione subita (Mori, 2013). Il diametro della rosata non aumenta in maniera lineare con l'aumentare della distanza; tuttavia, è impossibile generare una regola matematica che consenta di calcolare con precisione la dispersione dei pallini, dato che ogni strozzatura ha un suo particolare comportamento (Mori, 2013).

3.3 – BALISTICA TERMINALE

La balistica terminale studia il comportamento del proiettile nel bersaglio dal momento dell'impatto fino al suo definitivo arresto. Una sua branca, la balistica lesionale, è uno dei principali campi applicativi d'interesse medico-legale in quanto dedicata allo studio degli effetti del proiettile sull'organismo – umano o animale –, descrivendo quali parametri fisici concorrono nel cagionare il danno al bersaglio, esaminando la conformazione delle ferite e l'estensione del danno tissutale (Zagra *et al.*, 2011). In tale contesto non vengono prese in considerazione le reazioni fisiopatologiche dell'organismo dal punto di vista medico, quali le emorragie, lo shock, le infezioni e la morte del soggetto. Queste informazioni rientrano infatti nell'ambito del trauma balistico, che si discosta dalla balistica lesionale ma ne rimane intrinsecamente collegato e parzialmente sovrapposto.

Nella presente trattazione verranno differenziate le caratteristiche delle lesioni dovute a tre elementi: le armi portatili con munizione a palla, le armi portatili con munizione spezzata e i frammenti. Nonostante i principi fisici che sottendono le due tipologie di armi siano gli stessi, la lesività dei vari tipi di munizionamento cambia in maniera sostanziale a causa delle differenze in termini di forma, struttura ed energia dei proiettili. Queste differenze ne influenzano il comportamento all'interno del bersaglio e, dunque, i caratteri della ferita. Il fattore determinante, di conseguenza, non risulta essere l'arma ma la munizione. I frammenti costituiscono una categoria a sé stante, ma che può essere assimilata al comportamento di un proiettile instabile nel suo volo o che impatta con il bersaglio con un angolo di incidenza particolarmente ampio (Kneubuehl *et al.*, 2011).

In balistica terminale, la fisica alla base dei meccanismi di danneggiamento del bersaglio permette di suddividere i proiettili in diverse tipologie. Sommarariamente, è possibile distinguere i proiettili che esercitano il proprio effetto distruttivo sfruttando l'energia cinetica

posseduta al momento dell'impatto e i proiettili che, invece, danneggiano il bersaglio sfruttando l'energia chimica in essi contenuta. I primi sono definiti penetratori cinetici (in gergo "penetratori KE", dall'inglese: *kinetic energy*) e tra questi rientrano tutti i proiettili sparati dalle armi da fuoco leggere. I proiettili non KE esercitano invece il proprio effetto distruttivo trasportando una carica di esplosivo al loro interno (bombe, granate, *etc.*). Questi proiettili non hanno la necessità di colpire il bersaglio con una velocità minima per garantire l'effetto terminale e il danno cagionato è conseguenza della detonazione, anche in prossimità del bersaglio stesso (Bettin, 2018). I proiettili oggetto di trattazione in questo lavoro di tesi sono esclusivamente di tipo KE.

La balistica lesionale è di fatto una scienza empirica. Le leggi fisiche che regolano e spiegano la penetrazione di un proiettile attraverso vari mezzi devono tenere in considerazione la natura dei diversi materiali e la diversità di comportamento dei singoli proiettili in relazione alla loro struttura e alla velocità di impatto; ciò non consente il ricorso a un modello matematico universale. Accade infatti, in alcuni casi, che proiettili che vengono a contatto col bersaglio ad alte velocità, si deformino considerevolmente ma non facciano in tempo a trasferire del tutto la loro energia cinetica nel punto di impatto. A titolo di esempio, un proiettile diretto verso una superficie perpendicolare alla sua traiettoria potrebbe impattare con un angolo diverso da 90° a causa dei movimenti di precessione; la sua penetrazione sarà dunque minore, fino a giungere in casi estremi al rimbalzo. Nell'attraversare materiali composti multistrato può anche accadere che il proiettile, inizialmente inclinato, venga ulteriormente deviato nell'attraversamento di uno degli strati superficiali, così da non essere più in grado di attraversare gli strati successivi (Bettin, 2018; Mori, 2013).

Per quanto concerne i test sperimentali, sono stati messi a punto negli anni dei simulatori balistici, ovvero materiali in grado di reagire all'impatto con il proiettile in maniera simile ai

tessuti biologici in termini di elasticità, densità, resistenza e capacità di assorbire l'energia. Rispetto alle simulazioni condotte su cadaveri umani o animali, questi strumenti risultano essere più affidabili e i risultati riproducibili, permettendo di creare dei modelli teorici che vengono successivamente validati confrontando i risultati con casi reali (Carr *et al.*, 2018; Kneubuehl *et al.*, 2011).

I due simulatori più diffusi e validati nel tempo sono il sapone balistico e la gelatina. Entrambi sono costituiti da acqua e materiale organico (lipidi e alcol o proteine, rispettivamente). La principale differenza tra i due materiali è la diversa capacità di reagire alla deformazione indotta dal passaggio del proiettile: il sapone si deforma in maniera plastica, la gelatina in maniera elastica. Ciò significa che la cavità temporanea generata in un blocco di sapone balistico non collassa come avviene nella gelatina, che tende a tornare alla sua forma originaria, ma rimane visibile e può essere studiata e analizzata. Le dinamiche sulle ossa possono essere studiate utilizzando dei simulatori plastici che ricalcano il più fedelmente possibile le caratteristiche biologiche del tessuto (Carr *et al.*, 2018; Kneubuehl *et al.*, 2011).

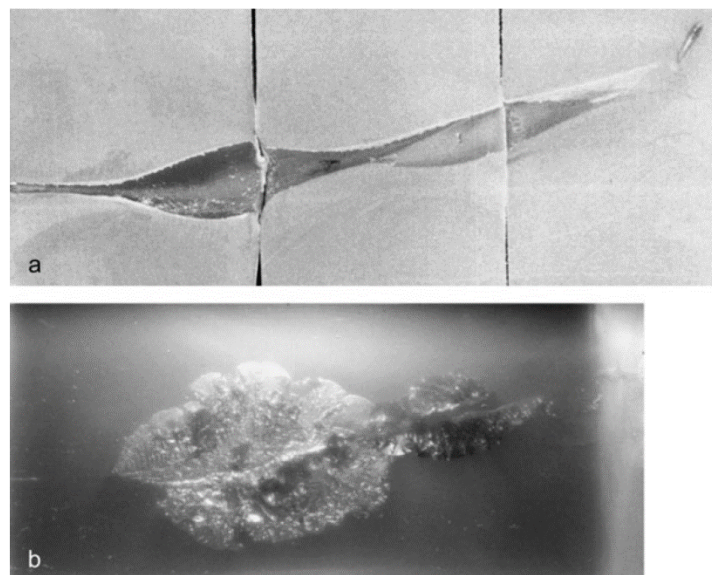


Figura 21: Comparazione tra sapone balistico (a) e gelatina (b). In entrambi i simulanti è stato sparato lo stesso proiettile (5.45x39 Kalashnikov), per convenzione da sinistra verso destra. La scelta del tipo simulante più adatto è dunque dettata dallo scopo della sperimentazione (Kneubuehl *et al.*, 2011).

L'energia cinetica

L'energia cinetica (o forza viva) che il proiettile cede al bersaglio al momento dell'impatto è l'elemento principale dello studio della balistica lesionale, in quanto determina la lesività per i tessuti ed è punto di partenza per il calcolo della penetrazione nella maggior parte dei materiali. Può essere calcolata con la seguente formula:

$$E = \frac{mv^2}{2} [J]$$

in cui m rappresenta la massa del proiettile in grammi, v la sua velocità in m/s (Ordog, 1984; Di Maio, 2016). Si potrebbe essere portati a pensare che un proiettile pesante ceda una maggiore quantità di energia al bersaglio, ma da questa formula si evince che è la velocità del proiettile a giocare un ruolo fondamentale e non tanto la sua massa (Rosenberg e Dekel, 2016; Kneubuehl *et al.*, 2011). È necessario specificare, inoltre, che non è l'energia totale posseduta dal proiettile a essere determinante, ma soltanto la quota che viene trasferita durante il passaggio dello stesso attraverso il mezzo (indicata con E_{ce}). L'energia potenziale è infatti trascurabile nell'ambito della balistica lesionale. È importante inoltre valutare quanta energia è stata ceduta in una porzione limitata del tragitto (E'_{ce}). In altre parole, è utile ai fini dello studio delle lesioni valutare se un proiettile è in grado di cedere energia a sufficienza nelle zone anatomiche più sensibili oppure se ne cede la maggior parte in aree poco utili per l'effetto terminale ricercato (Bettin, 2018). Per studiare questo aspetto è necessario mettere in relazione l'energia trasferita con la distanza percorsa, ottenendo così un parametro che indica il potenziale lesivo di un proiettile (Kneubuehl *et al.*, 2011; Ordog *et al.*, 1988), ovvero il gradiente della funzione distanza-energia, misurato in J/cm. Riportando un esempio pratico, un proiettile che penetra i tessuti ma non fuoriesce dal corpo cederà tutta la sua energia cinetica e avrà maggiore capacità lesiva rispetto a un proiettile perforante, che ne cederà solo una parte (Di Maio, 2016).

Queste considerazioni sono utilizzate nella pratica per stabilire il cosiddetto potere di arresto (*stopping power*), ovvero la capacità di un proiettile di rendere il bersaglio incapace di agire, anche se non colpito in punti vitali. Questa capacità dipende proprio dall'energia che il proiettile è in grado di cedere ai tessuti del bersaglio e dalla sua velocità (Mori, 2013).

La cavità temporanea e la cavità permanente

Quando un proiettile impatta contro il bersaglio, cede la propria energia cinetica ai tessuti circostanti in maniera proporzionale al suo grado di deformazione (Zagra *et al.*, 2011). Dopo la formazione di un'onda d'urto iniziale, i tessuti vengono allontanati in direzione radiale rispetto alla traiettoria intracorporea, determinando la formazione della c.d. cavità temporanea. Data la rapidità del fenomeno, si sviluppa dapprima uno spazio vuoto di diametro maggiore rispetto al calibro del proiettile stesso, che a causa dell'inerzia raggiunge la sua dimensione massima solo quando il proiettile ha già superato quel punto. Questa cavità si richiude dopo pochi millisecondi – grazie all'energia elastica posseduta dai tessuti e della presenza del vuoto – e tende a rimbalzare alcune volte, comportandosi come un corpo pulsante (Kneubuehl *et al.*, 2011; Mori, 2003). Il processo di formazione della cavità temporanea viene talvolta paragonato, erroneamente, a quello della cavitazione. Woodruff, nel 1898, fu il primo medico a usare il termine cavitazione per descrivere i fenomeni connessi alla balistica lesionale (Kneubuehl *et al.*, 2011).

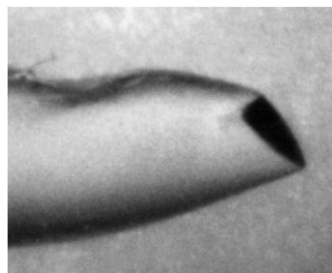


Figura 22: Fotografia di un proiettile (7.62x39) mentre attraversa un blocco di gelatina balistica. È visibile lo spazio vuoto creato caudalmente al proiettile e la formazione della cavità temporanea. Velocità di scatto: 1 μ s (Kneubeuhl *et al.*, 2011).

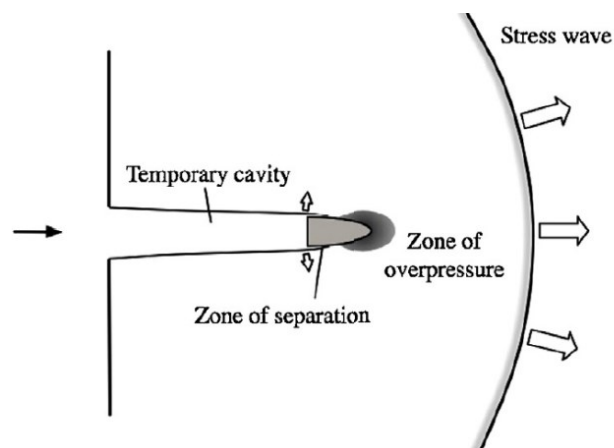


Figura 23: Rappresentazione schematica dei fenomeni pressori innescati da un proiettile che penetra nei tessuti. Nel punto di impatto si crea un'onda d'urto (*stress wave*) che si propaga rapidamente senza che si verifichi lo spostamento dei tessuti adiacenti. Poco più avanti, la separazione dell'interfaccia proiettile-tessuto determina la formazione della cavità temporanea alle spalle del proiettile (Stefanopoulos *et al.*, 2014).

La distruzione dei tessuti ad opera del contatto diretto con il proiettile forma invece la cavità permanente, ovvero la lesione macroscopica nella quale il tessuto è mancante e che rimane dopo il passaggio del proiettile anche a distanza di tempo. Intorno ad essa è possibile evidenziare una zona emorragica (o zona di extravasazione), caratterizzata da piccole emorragie causate dallo stiramento dei tessuti, in assenza di danno visibile (Kneubuehl *et al.*, 2011). Infatti, mentre la cavità permanente demarca sempre un'area distrutta dal proiettile, le conseguenze dell'espansione della cavità temporanea possono variare notevolmente: affinché la cavità temporanea sia in grado di causare un danno ai tessuti coinvolti, è necessario che la sua dilatazione sia sufficientemente ampia da stirare le cellule oltre il loro limite di rottura (Bettin, 2018). Gli elementi più sensibili a questa dinamica sono proprio i capillari sanguigni e i nervi, che possono perdere parte della loro funzione, anche solo temporaneamente (Stefanopoulos, 2014).

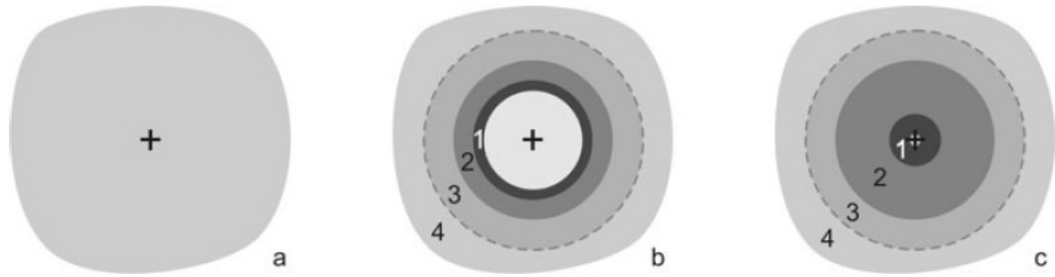


Figura 24: Rappresentazione schematica della dislocazione dei tessuti derivante dalla formazione della cavità temporanea in sezione trasversale. a) prima dell’impatto; b) poco dopo l’impatto, nel momento di massimo sviluppo della cavità temporanea; c) cavità permanente rimasta dopo il passaggio del proiettile; +: centro geometrico della ferita; 1: tessuti distrutti dallo schiacciamento; 2: zona di extravasazione; 3: tessuti stirati ma non danneggiati; 4: tessuti rimasti inalterati (Kneubuehl *et al.*, 2011).

I due meccanismi attraverso i quali un proiettile crea un danno al tessuto sono infatti lo schiacciamento e lo stiramento. Il primo è determinato dalla compressione operata dalla superficie del proiettile che viene a diretto contatto con i tessuti e genera la cavità permanente. Lo stiramento interessa invece i tessuti adiacenti al tramite, che vengono dislocati radialmente raggiungendo la massima espansione 2-4 millisecondi dopo il passaggio del proiettile. L’energia cinetica ceduta dal proiettile viene dissipata in una serie di pulsazioni di espansione-collasso che perdura per qualche millisecondo. I tessuti biologici non sono omogenei come i simulatori balistici, di conseguenza questa dilatazione avviene preferenzialmente lungo le linee di minore resistenza. La cavità temporanea reale in un corpo umano o animale è dunque asimmetrica (Bettin, 2018).

È stato dimostrato inoltre che al momento dell’impatto del proiettile sulla cute, alcuni frammenti di epidermide e di altri tessuti vengono proiettati sia all’esterno sia all’interno del tramite, a causa della pressione negativa operata dalla pulsazione della cavità temporanea, che opera un effetto di “suzione”. Questo trasporto retrogrado può coinvolgere anche batteri e materiale estraneo proveniente dall’esterno (Di Maio, 2016).

La cavità temporanea non è in grado di “pulsare” se il mezzo attraversato dal proiettile è una struttura cava, come ad esempio la scatola cranica, il cuore o una vescica urinaria repleta. In questi casi, il liquido contenuto all’interno (dal punto di vista balistico il materiale cerebrale può essere paragonato a un fluido) subisce un aumento di pressione tale da provocare in alcuni casi anche la rottura dell’organo. Nel caso di impatto con le ossa craniche, i frammenti ossei vengono proiettati senza una direzione precisa (Kneubuehl *et al.*, 2011).

Per quanto riguarda invece le ossa lunghe, se un osso viene colpito da un proiettile il cui calibro è inferiore al diametro dell’osso stesso, la frattura è causata principalmente dalla pressione idraulica all’interno del midollo osseo. In assenza di questo, ad esempio nelle ossa piatte (*e.g.* la scapola) il proiettile tende a lasciare solamente un foro e si ha una minor frammentazione. Indipendentemente dal tipo di proiettile, il danno arrecato all’osso dall’accumulo di pressione all’interno del midollo corrisponde approssimativamente alle dimensioni della cavità temporanea. La pressione spingerà i frammenti ossei in direzione del colpo ma anche in direzione opposta. Questi frammenti non possiedono energia cinetica sufficiente a creare dei tramiti intracorporei propri, ma vengono ritrovati nella cavità permanente (Kneubuehl *et al.*, 2011).

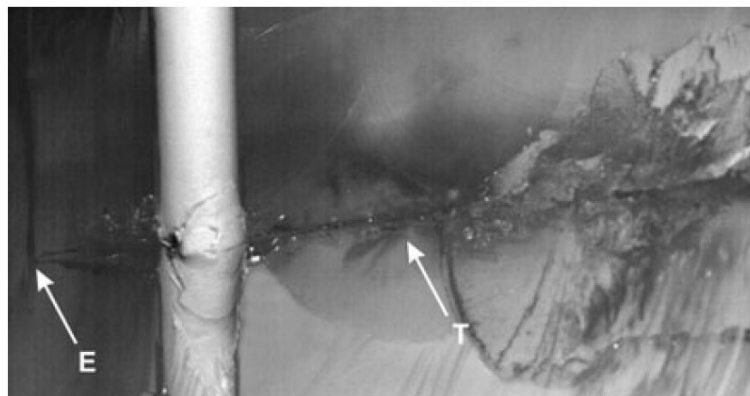


Figura 25: Un simulante per ossa lunghe in materiale plastico riempito in gelatina balistica (a emulare il midollo osseo) dopo essere stato attraversato da un proiettile FMJ per fucile. La lunghezza del *narrow channel* è pressoché identica a quella osservata in assenza di osso. Anche in questo tipo di simulazioni, per convenzione il proiettile è sempre sparato da sinistra. E: foro d’ingresso; T: tramite della ferita e inizio della cavità temporanea (Kneubuehl *et al.*, 2011).

In conclusione, la posizione, le dimensioni e la morfologia della cavità temporanea dipendono da quattro fattori principali:

- Il primo, come già anticipato, è la quantità di energia cinetica posseduta dal proiettile al momento dell'impatto, che dipende dalla velocità e, in minor misura, dalla massa del proiettile stesso (Di Maio, 2016).
- Il secondo fattore è l'angolo di incidenza, determinato dai movimenti di precessione e nutazione, che alterano la stabilità del proiettile soprattutto nelle fasi iniziali della traiettoria (Di Maio, 2016). Per questo motivo, colpi esplosi a distanza ravvicinata sono spesso più distruttivi di spari a distanza (Kneubuehl *et al.*, 2011).
- Il terzo elemento è determinato dal proiettile in sé, in termini di forma, calibro e materiale costitutivo. I proiettili ad espansione, ad esempio, sono impiegati in ambito venatorio e una volta penetrati i tessuti del bersaglio si deformano con una particolare morfologia, che viene definita in gergo "affungamento". Cedono quindi una quota di energia cinetica molto maggiore rispetto a una pallottola incamiciata (FMJ), impiegata nell'uso militare e progettata per resistere all'espansione. Anche il calibro del proiettile e l'ottusità della sua punta sono importanti – in quanto determinano il valore iniziale dell'area che si oppone al passaggio dello stesso e dunque la resistenza del mezzo. L'entità di quest'ultima dipende dalla velocità del proiettile e dalla sua morfologia, ovvero la presenza o meno di incamiciatura, la lunghezza, il tipo di punta, lo spessore e la durezza del materiale con cui è costruito (Di Maio, 2016).

Esistono inoltre i proiettili a frammentazione, che hanno la capacità di suddividersi in parti una volta penetrati nel bersaglio e la loro potenzialità lesiva è legata al danno arrecato agli organi raggiunti dai frammenti stessi (Kneubuehl *et al.*, 2011).

- Il quarto fattore che determina la quantità di energia cinetica ceduta dal proiettile è la natura del tessuto attraversato, in termini di densità, elasticità e resistenza alla trazione.

Queste variabili influenzano lunghezza del tramite intracorporeo e la gravità del trauma balistico. Organi molto elastici come ad esempio il polmone, l'intestino o le masse muscolari, sono relativamente più resistenti al danno causato dallo stiramento dei tessuti rispetto a organi solidi come il fegato o i reni. Maggiore è la densità di un organo o tessuto, infatti, maggiore è la resistenza che viene offerta al proiettile, dunque l'angolo di imbardata e il diametro della cavità temporanea (Di Maio, 2016).

La differenza nelle conseguenze dell'azione della cavità temporanea sull'organismo è la discriminante che permette di trattare separatamente la balistica lesionale dei colpi d'arma lunga da quelli d'arma corta (che generalmente possiedono energia inferiore). Per riportare un esempio, una munizione 9x21 (uno dei calibri più diffusi per armi corte da difesa personale) ha la capacità di erogare circa 500 J di energia. Uno dei calibri più piccoli per armi lunghe a canna rigata, usate sia per scopi bellici che venatori, è il .223 Remington (5,56x45) che può erogare il triplo dell'energia cinetica. Entrambi danno origine alla cavità permanente e alla cavità temporanea, ma a causa di alcuni parametri costruttivi dei proiettili per arma lunga e della maggiore energia cinetica da essi posseduta, la dilatazione della cavità temporanea raggiunge estensioni tali da lacerare parte dei tessuti oltre la zona della cavità permanente (Bettin, 2018).

3.3.1 – Moto e comportamento dei proiettili per armi lunghe

Proiettili monolitici e incamiciati

Quando un proiettile monolitico o incamiciato (FMJ) colpisce il bersaglio provoca un tramite intracorporeo che può essere suddiviso morfologicamente in tre sezioni, con un comportamento pressoché indipendente dalla geometria costruttiva del proiettile (Kneubuehl *et al.*, 2011).

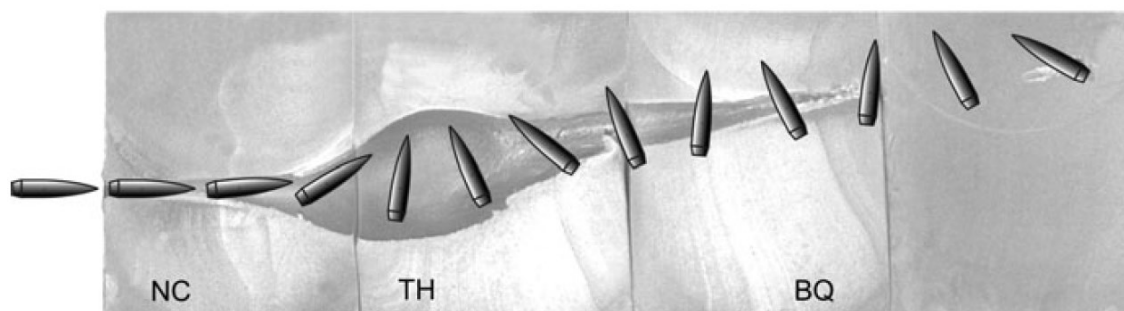


Figura 26: Rappresentazione schematica del moto di un proiettile FMJ per fucile in blocchi di sapone balistico, analogamente a ciò che avviene nei tessuti biologici. NC: *narrow channel*; TH: cavità temporanea nel suo punto di maggior diametro; BQ: fase finale in cui il proiettile ruota assumendo una posizione perpendicolare alla direzione di percussione (Kneubuehl *et al.*, 2011).

La prima parte del tramite è costituita da un canale di ingresso ad andamento rettilineo, noto come *narrow channel*, che nel suo punto di diametro minore corrisponde a circa 1,5-2,5 volte il calibro del proiettile a seconda di quanto arrotondata è la punta. Questo canale è tanto più lungo quanto minore è l'angolo di incidenza del proiettile sul bersaglio. Al momento dell'impatto, a livello della punta del proiettile si crea una pressione estremamente alta nel punto di contatto con i tessuti del corpo. Inizialmente, la viscosità e l'inerzia del mezzo fanno sì che solo una piccola parte della punta si trovi effettivamente a contatto con i tessuti e sia dunque soggetta alle forze operanti. In questa fase, l'inerzia risulta essere predominante rispetto alla forza di attrito. Se l'intera superficie del proiettile fosse a contatto diretto con il

mezzo, le forze che agiscono su di esso lo renderebbero immediatamente instabile e non si creerebbe questa prima sezione del tramite (Kneubuehl *et al.*, 2011).

Proprio perché la superficie a contatto con il mezzo è contenuta, la forza che agisce sul proiettile è molto minore e il punto di contatto (o punto di pressione) si trova nelle vicinanze della punta del proiettile. L'entità del movimento di imbardata del proiettile dipende principalmente dall'angolo di incidenza nel punto di impatto. Se il proiettile in volo è sufficientemente stabile, l'angolo di incidenza è piccolo e il momento ribaltante è minore rispetto al momento girostatico stabilizzante. Al diminuire della velocità, la superficie a contatto col mezzo aumenta; ciò porta ad un aumento relativo della forza e quindi del momento applicato. Questo meccanismo provoca una rapida imbardata del proiettile. La lunghezza del *narrow channel* dipende quindi dall'angolo di incidenza nel punto di impatto, dalla stabilità giroscopica e dalla forma della punta del proiettile (Stefanopoulos *et al.*, 2019; Kneubuehl *et al.*, 2011).

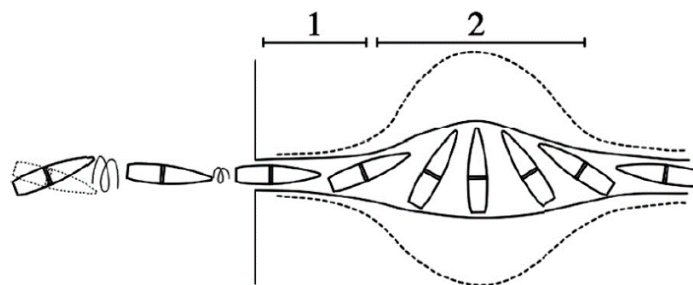


Figura 27: Rappresentazione grafica del comportamento di un proiettile FMJ in aria e nei tessuti. Il tramite della lesione presenta un iniziale percorso rettilineo di diametro ristretto, il c.d. *narrow channel* (1).

Successivamente, il tramite si allarga a causa dell'imbardata del proiettile (2) e si ha la creazione della cavità temporanea (linea tratteggiata). È da notare inoltre la diminuzione dei movimenti di precessione del proiettile in aria durante il volo, che si reintensificano durante la penetrazione dei tessuti (Stefanopoulos *et al.*, 2014).

La seconda sezione del tramite intracorporeo inizia dal momento in cui il proiettile imbarda fino ad arrivare a un punto in cui tutta la sua superficie diviene a contatto con i tessuti. A causa della forza di attrito (F_B) il proiettile compie una rotazione di qualche grado attorno al proprio centro di gravità e la sua base viene forzata ad attraversare il mezzo a grande velocità.

Si viene quindi a creare il vettore di un'altra forza (F_R), che tende a opporsi all'imbardata come mostrato in Figura 28. Allo stesso tempo, il proiettile subisce una decelerazione molto rapida e il mezzo si allontana da esso determinando la formazione della cavità temporanea (Kneubuehl *et al.*, 2011).

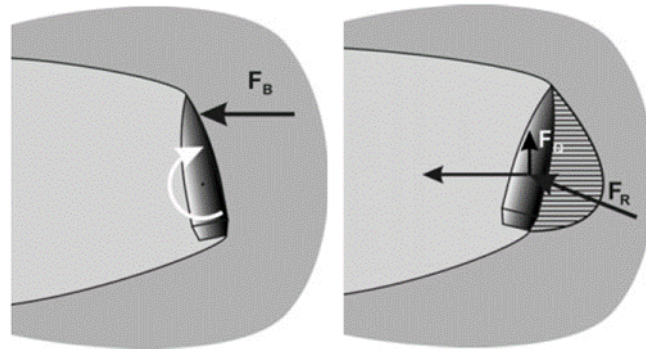


Figura 28: Forze che agiscono opponendosi all'imbardata del proiettile. FB: forza di attrito; FR: risultante; FQ: forza laterale (Kneubuehl *et al.*, 2011).

Il proiettile è soggetto in questa fase a diverse sollecitazioni meccaniche di flessione e compressione, che possono deformato o provocarne la rottura. Se ciò accade, si possono disperdere dei frammenti di piombo dalla coda e dal punto di frattura. Sembra che questo fenomeno si verifichi più frequentemente con proiettili di piccolo calibro con incamicatura in rame o tombacco. A velocità d'impatto inferiori a 600 m/s, tuttavia, i proiettili FMJ non subiscono pressoché alcuna deformazione (Kneubuehl *et al.*, 2011).

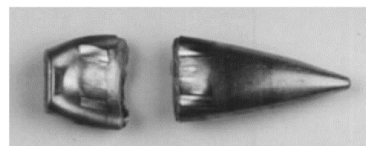


Figura 29: Proiettile FMJ (7.62x51) fratturato durante una simulazione su sapone balistico (Kneubuehl *et al.*, 2011).

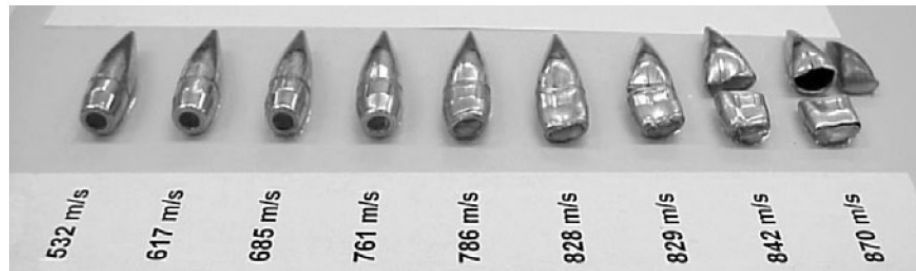


Figura 30: Deformazione/frammentazione dello stesso proiettile in funzione della velocità di impatto (simulazione in acqua) (Kneubuehl *et al.*, 2011).

Se il proiettile non si frammenta, viene a trovarsi in posizione perpendicolare rispetto alla sua traiettoria e la distribuzione asimmetrica delle pressioni che agiscono su di esso produce, come anticipato, una forza risultante (F_R). Questa forza raramente agisce esattamente nella stessa linea di movimento del proiettile, di conseguenza, si vengono a creare due componenti vettoriali: la prima agisce in senso opposto a quello in cui si muove il proiettile e lo rallenta, mentre l'altra agisce perpendicolarmente alla prima ed è in equilibrio con la forza di attrito tra proiettile e mezzo. Se la forza laterale supera quella di attrito si verifica un'accelerazione laterale (F_Q) che allontana il proiettile dal suo percorso rettilineo iniziale. Questo fenomeno si verifica in maniera incostante a seconda del rapporto tra la lunghezza e il diametro del proiettile. I proiettili più lunghi e sottili, infatti, tendono a deviare più spesso dal loro percorso iniziale (Kneubuehl *et al.*, 2011).

Per effetto dell'inerzia il proiettile continua quindi a imbardare, ma sempre più lentamente. Questo processo può essere visto come una sorta di oscillazione fortemente smorzata, in cui la forza di smorzamento (F_D) è dovuta principalmente alla resistenza dei tessuti. L'angolo massimo di rotazione del proiettile dipende dalla sua velocità istantanea e dalle sue caratteristiche geometriche ed è generalmente compreso tra 90° e 180° , ma può superare i 270° nel caso di un proiettile sottile come in Figura 31 (Stefanopoulos *et al.*, 2019; Kneubuehl *et al.*, 2011).

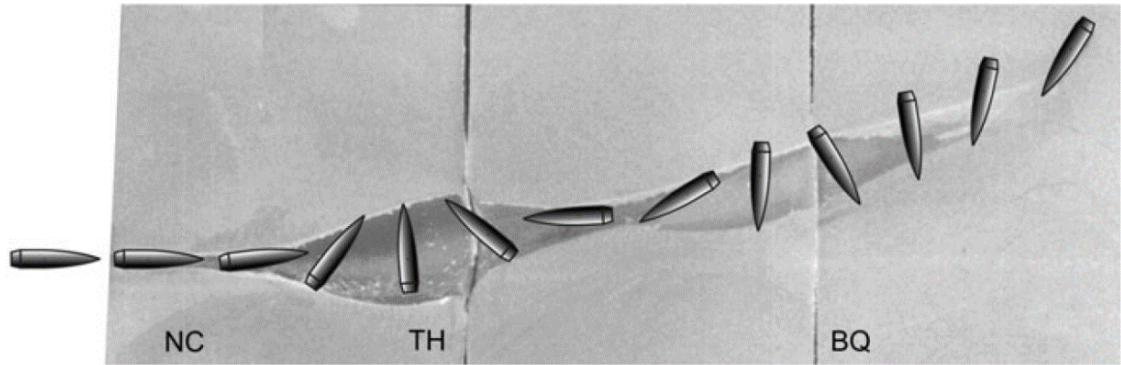


Figura 31: Rappresentazione schematica di un proiettile FMJ (5.45x39 - Kalashnikov) più sottile, che viene deviato dal suo percorso originale e compie una rotazione di oltre 270° (Kneubuehl *et al.*, 2011).

Nella terza sezione del tramite intracorporeo il proiettile si muove attraverso il mezzo orientato approssimativamente in maniera perpendicolare alla sua direzione di marcia, oscillando avanti e indietro rispetto al suo centro di gravità (Figura 32) (Di Maio, 2016; Kneubuehl *et al.*, 2011).

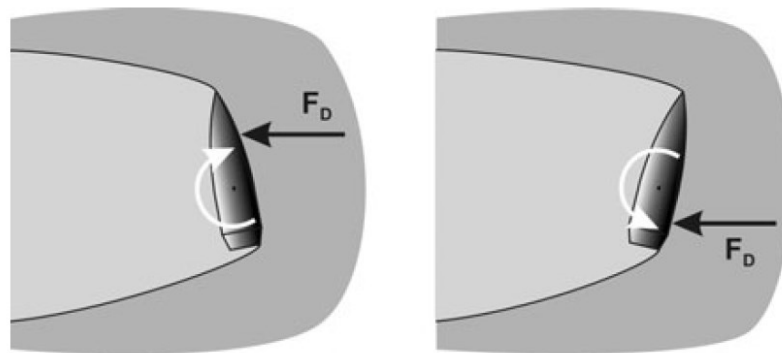


Figura 32: Stabilizzazione nella terza sezione del tramite intracorporeo di un proiettile FMJ per arma lunga.
 F_D : forza di smorzamento prodotta durante ogni cambio di rotazione (Kneubuehl *et al.*, 2011).

Dato che la velocità del proiettile è notevolmente diminuita il mezzo scorre più vicino alla sua superficie, fino a quando, poco prima di fermarsi, vi si trova completamente immerso. Il diametro dell'ultimo tratto del tramite intracorporeo risulta minore rispetto alle dimensioni del proiettile e, nei simulanti in gelatina balistica e nei tessuti biologici, non è più visibile. Alla

fine del suo percorso il proiettile tende ad arrestarsi in posizione perpendicolare rispetto alla sua direzione di marcia, ma la pressione negativa che si viene a creare a causa della pulsazione della cavità temporanea lo fa arretrare parzialmente. Questo ultimo movimento fa sì che il proiettile si fermi sempre con la coda in avanti rispetto alla direzione di marcia originale (Kneubuehl *et al.*, 2011).

Proiettili a deformazione e a frammentazione

Il comportamento dei proiettili a deformazione e frammentazione differisce in maniera sostanziale da quello dei proiettili sopra descritti. La differenza principale è che il primo tratto del tramite intracorporeo (il *narrow channel*) è quasi del tutto assente e la cavità temporanea inizia ad aprirsi subito dopo la penetrazione (Kneubuehl *et al.*, 2011).

La deformazione del proiettile è estremamente rapida e ha luogo entro circa 0,1 ms. Le forze necessarie per ottenere questo effetto sono prodotte dall'altissima pressione che si manifesta a carico della punta. Nel caso di proiettili *semi-jacketed*, tale pressione agisce sul piombo esposto all'estremità del proiettile, il quale si comporta come un fluido e viene forzato all'interno del rivestimento, provocandone la deformazione. Nel caso di proiettili incamiciati a punta cava, il mezzo deve essere in grado di penetrare nella punta scavata per far deformare il proiettile. La deformazione fa sì che la superficie anteriore del proiettile aumenti improvvisamente. La densità sezionale, dunque, diminuisce e aumenta la quota di energia cinetica ceduta ai tessuti. L'aumento dell'area della superficie anteriore del proiettile deformato determina un effetto di stabilizzazione denominato *shoulder stabilization* e, di conseguenza, questo tipo di proiettili crea sempre un tramite intracorporeo ad andamento rettilineo (in un mezzo omogeneo). Il diametro del tramite diminuisce poi gradualmente e, se la deformazione è avvenuta in maniera asimmetrica o se il tessuto non è omogeneo, il proiettile può deviare dalla sua traiettoria iniziale (Kneubuehl *et al.*, 2011).

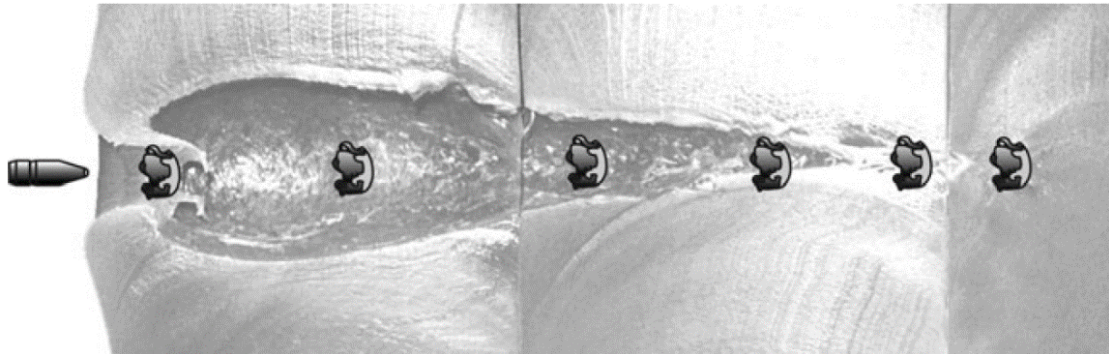


Figura 33: Rappresentazione schematica del tramite di un proiettile a deformazione (Kneubuehl *et al.*, 2011).

Didatticamente, la differenza tra un proiettile a deformazione e uno a frammentazione è data dalla massa del frammento più grande rimasto a seguito dell' impatto. I proiettili a deformazione tendono a perdere pochissimo materiale e la loro massa rimane pressoché costante; al contrario, il frammento più grande di un proiettile a frammentazione può pesare quasi la metà del proiettile originale. Questi frammenti spesso creano dei tramiti propri all'interno della ferita, che si diramano dal canale principale (Knudsen, 2016; Kneubuehl *et al.*, 2011).



Figura 34: Proiettile semi-incamiciato (*semi-jacketed*) calibro 7.62x51 (308 Win.) prima e dopo la deformazione (Kneubuehl *et al.*, 2011).

Palle slug

Le munizioni *slug* sono prerogativa delle armi lunghe a canna liscia e sono state sviluppate esclusivamente per l'attività venatoria. Per ragioni di balistica interna, la massa di questo tipo di proiettili deve essere simile o inferiore a quella di un carico di pallini; questi proiettili hanno di conseguenza una densità sezionale relativamente bassa – *e.g.* un proiettile Brenneke 12/70 (31,5 g) ha densità sezionale di soli 0,121 g/mm², quasi come un proiettile Luger 9 mm (0,125 g/mm²). La combinazione di un'elevata energia alla volata (2750 J nel caso di un 12/70) e la suddetta bassa densità sezionale conferiscono a questi proiettili un elevato potenziale lesivo. Il tramite intracorporeo è tendenzialmente di forma conica e ha andamento rettilineo, grazie all'effetto stabilizzante dato da un'interfaccia piatta che si oppone al mezzo attraversato (*shoulder stabilization*), parallelamente a quanto avviene nel caso di un frammento veloce e pesante (Di Maio, 2016).

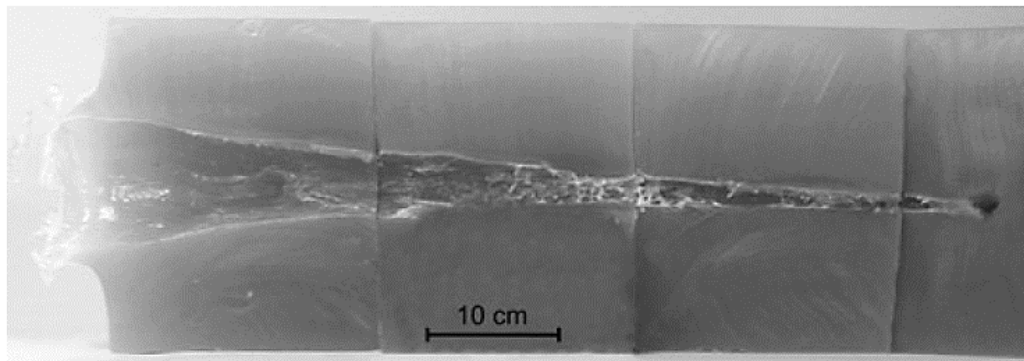


Figura 35: Tramite di un proiettile *slug* 12/70 Brenneke. Il diametro del foro d'ingresso è circa 10 cm e la distanza di penetrazione raggiunge i 68 cm (Kneubuehl *et al.*, 2011).

3.3.2 – Moto e comportamento dei proiettili per armi corte

Proiettili monolitici e incamiciati

I proiettili per armi corte possiedono generalmente molta meno energia rispetto ai proiettili per armi lunghe. Dato che, come già accennato, il trasferimento dell'energia cinetica dipende anche dall'energia istantanea totale del proiettile, i proiettili per pistola tendono a creare tramite intracorporei di minori dimensioni rispetto ai proiettili per fucile (Stefanopoulos *et al.*, 2019; Kneubuehl *et al.*, 2011).

Per una serie di ragioni tecniche e balistiche, i proiettili per pistola sono sostanzialmente più corti dei proiettili per fucile e generalmente hanno una punta più smussata (esistono ovviamente alcune eccezioni). Per questo motivo, la superficie a contatto con il mezzo aumenta solo in maniera trascurabile dal momento in cui il proiettile imbarda e la densità sezionale diminuisce solo in minor misura rispetto a quanto succede nel caso di proiettili più lunghi. Il trasferimento di energia, quindi, varia di poco durante la percorrenza del tramite intracorporeo e la cavità temporanea rimane di dimensioni contenute. I proiettili possono facilmente penetrare fino a una profondità di oltre 70 cm (Kneubuehl *et al.*, 2011).

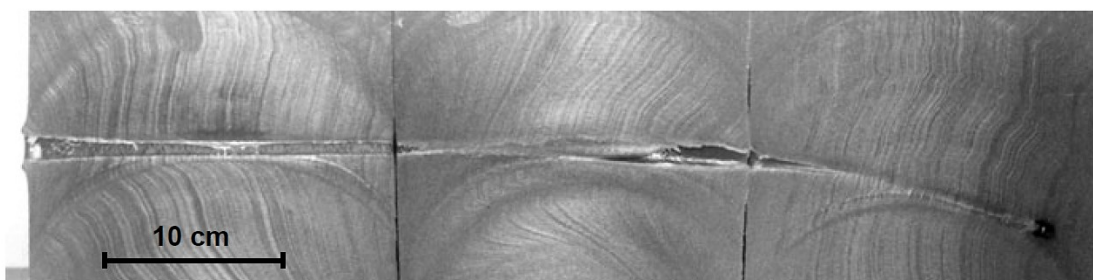


Figura 36: Tramite intracorporeo di un proiettile FMJ per pistola (Luger 9 mm) (Kneubuehl *et al.*, 2011).

Per questo tipo di munizioni l'effetto diretto del proiettile – ovvero la cavità permanente – è paradossalmente più impattante in termini lesivi rispetto all'effetto indiretto della cavità temporanea. I due fattori principali che determinano l'effetto lesivo sono dunque la

profondità di penetrazione e la velocità minima richiesta affinché il proiettile riesca a penetrare attraverso i vari tessuti. Questi fattori sono solo di secondaria importanza quando si trattano le lesioni cagionate da armi lunghe, poiché un proiettile per fucile avrà sempre energia sufficiente per la penetrazione – ad eccezione ovviamente dei casi di rimbalzo o di colpi che giungono al bersaglio al termine della loro traiettoria (Kneubuehl *et al.*, 2011).

Proiettili a deformazione e a frammentazione

Anche i proiettili per armi corte a deformazione e a frammentazione trasportano meno energia rispetto agli analoghi per arma lunga. Questi proiettili generalmente si deformano molto rapidamente (*e.g.* le palle monolitiche in rame o sue leghe raggiungono il massimo grado di deformazione molto prima rispetto alle palle convenzionali in piombo). In linea generale si può assumere che dopo 1-3 cm la maggior parte dei proiettili è già completamente deformata (Knudsen, 2016; Kneubuehl *et al.*, 2011).

L'aumento dell'area opposta al fluido determina lo stesso fenomeno di stabilizzazione visto in precedenza, che fa sì che il tramite intracorporeo di questo tipo di proiettili segua un andamento rettilineo e, dopo aver raggiunto l'ampiezza massima, tende poi a restringersi assumendo una forma conica (Kneubuehl *et al.*, 2011).

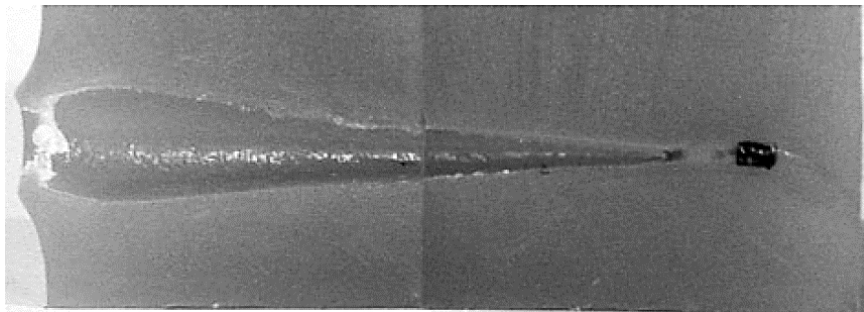


Figura 37: Tramite intracorporeo di un proiettile a deformazione per pistola (Luger 9 mm). Il proiettile spesso si ferma con una leggera angolazione rispetto alla sua direzione di percorrenza (Kneubuehl *et al.*, 2011).

Proiettili cilindrici

Esistono anche dei proiettili per pistola di forma cilindrica, usati principalmente per il tiro sportivo (*e.g.* i *wadcutter*). Questi proiettili sono molto stabili e la loro densità sezionale rimane pressoché invariata, creando un tramite lungo e rettilineo. Il diametro del tramite è maggiore nel punto di impatto e decresce in maniera esponenziale. I proiettili per fucile che colpiscono il bersaglio con la loro base e non con la punta (*e.g.* a seguito di un rimbalzo) si comportano in maniera simile, poiché la loro base è di forma approssimativamente cilindrica (Bettin, 2018; Kneubuehl *et al.*, 2011).

3.3.3 – Moto e comportamento dei frammenti e delle munizioni spezzate

Frammenti

I frammenti possono essere preformati o derivare dalla disgregazione causale di un proiettile o di una munizione esplosiva. In linea generale, è possibile affermare che ogni tipo di frammento, non possedendo alcuna forza stabilizzatrice, impatta col bersaglio in maniera casuale e ha un comportamento simile a un proiettile incamiciato nella terza sezione del suo tramite, come descritto in precedenza. Anche i frammenti mantengono una densità sezionale pressoché costante, generalmente con la superficie di area maggiore rivolta in avanti. Il diametro del tramite risulta pertanto maggiore in corrispondenza del foro di entrata e diventa progressivamente minore lungo il tragitto. A parità di massa e di velocità di impatto, i frammenti di forma grossolanamente sferica tendono a penetrare più in profondità e a creare fori d'ingresso di dimensioni minori rispetto a frammenti di forma allungata o irregolare (Kneubuehl *et al.*, 2011; Ordog *et al.*, 1988).

Pallini

Dal punto di vista balistico i pallini possono essere singolarmente considerati come frammenti di forma sferica. I pallini si prestano particolarmente alla sperimentazione su simulanti balistici, poiché rimangono stabili nel loro volo e la loro densità sezionale rimane costante, indipendentemente dall'imbardata. Ciò significa che è possibile trascurare molti parametri considerati fondamentali nei paragrafi precedenti, come la lunghezza del proiettile, la forma della punta, l'angolo di incidenza al momento dell'impatto e la velocità di rotazione attorno al proprio asse longitudinale (Kneubuehl *et al.*, 2011).

I pallini creano tramite intracorporei ad andamento rettilineo e di forma conica, con il diametro del tramite che diminuisce man mano che il pallino penetra nei tessuti o nel simulante balistico e il massimo del potenziale lesivo che si esplica nel tratto iniziale (Figura

38). La profondità di penetrazione dipende dalla velocità di impatto e della densità sezionale, dunque dal diametro del pallino stesso; conoscendo queste variabili può essere stimata con un certo grado di precisione (Kneubuehl *et al.*, 2011).

Il tramite delle munizioni per armi ad aria e gas compressi ricalca lo stesso schema, poiché sottendono gli stessi principi fisici. Nonostante sia presente sul mercato una grande varietà di forme e tipologie di munizioni per questo tipo di armi, si tratta comunque di elementi singoli di piccolo calibro, con una densità sezionale simile a quella di un pallino da caccia e che, nonostante la loro deformazione, l'effetto stabilizzante prodotto da un'interfaccia piana in un mezzo omogeneo rende rettilineo l'andamento del loro tramite (Kneubuehl *et al.*, 2011).

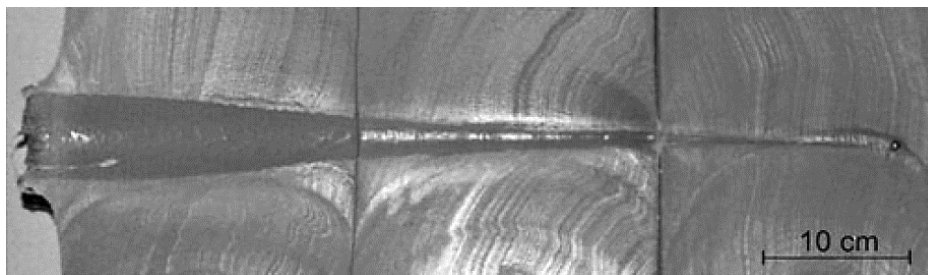


Figura 38: Tramite intracorporeo di un pallino in acciaio da 5.54 mm (Kneubuehl *et al.*, 2011).

È necessario tenere in considerazione che la balistica terminale dell'intera carica di pallini differisce in maniera sostanziale da quella del singolo elemento. Di fatto, lo sciame di pallini è paragonabile a un'entità frantumata, che scarica immediatamente e completamente tutta la sua energia con una superficie molto maggiore rispetto alla somma dei singoli elementi. Infatti, a distanza ravvicinata (indicativamente inferiore a 5 m) lo sciame di pallini è ancora compatto e può provocare un foro di ingresso di dimensioni ragguardevoli, circondato dai singoli fori d'ingresso dei pallini che si trovavano in posizione periferica (Kneubuehl *et al.*, 2011). Per riportare un esempio, la carica di un calibro 12 ha una superficie di 2,5 cm² alla bocca, ovvero circa otto volte la superficie di una palla calibro 8 mm. A 5 m di distanza la

superficie di impatto sarà molto superiore (dai 6 ai 10 cm di diametro) con un'energia che supera i 2000 J – questo spiega l'effetto “fulminante” della carica di pallini a breve distanza, anche su animali di grossa taglia (Mori, 2003).

Proiettili instabili

I proiettili che rimbalzano contro un oggetto tendono a riprendere un volo stabile dopo qualche centinaio di metri grazie alla stabilizzazione giroscopica che era stata impartita dalla rigatura della canna al momento dello sparo. Spesso, procedono con la base rivolta in avanti e la punta indietro. Questo tipo di proiettile a contatto con il bersaglio non è in grado di generare un *narrow channel* e imbarca immediatamente, creando una cavità temporanea di dimensioni anche molto grandi, come mostrato in Figura 39. I proiettili a deformazione che non riescono ad “affungare”, poiché non si crea una pressione sufficientemente alta da deformare la punta nel modo corretto, si comportano come qualsiasi altro proiettile a seguito di un rimbalzo (Bettin, 2018; Kneubuehl *et al.*, 2011).

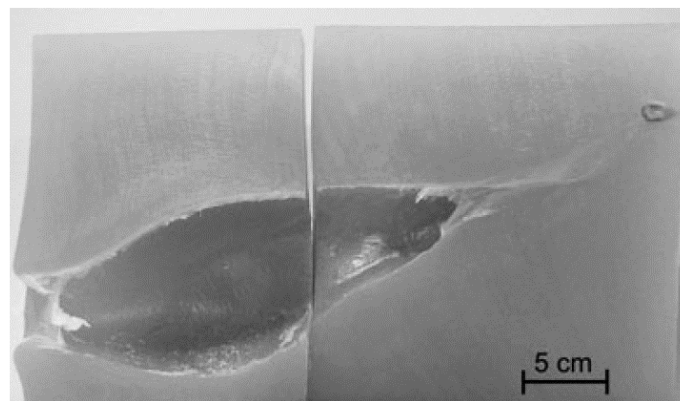


Figura 39: Tramite intracorporeo di un proiettile rimbalzato. Il simulante viene colpito con un angolo di incidenza particolarmente ampio e il proiettile imbarca rapidamente, creando una cavità temporanea di grandi dimensioni e di forma irregolare (Kneubuehl *et al.*, 2011).

LE LESIONI

Quando un proiettile penetra attraverso i tessuti umani o animali, si verificano dei processi dinamici non solo a carico del tessuto a diretto contatto con il proiettile, ma anche nelle porzioni adiacenti ad esso. Come anticipato nel capitolo precedente, al momento dell'impatto si crea un'onda d'urto che si propaga a una velocità prossima a quella del suono. Nonostante le pressioni in questo frangente siano particolarmente elevate, data la rapidità alla quale si propaga, l'onda d'urto non è responsabile di alcuno spostamento macroscopico a carico dei tessuti. Secondo Kneubuehl, a questo fenomeno non sono correlate lesioni significative. Tuttavia, due processi fluidodinamici sono di grande importanza e sono i diretti responsabili del meccanismo alla base della genesi delle lesioni: lo schiacciamento e lo stiramento dei tessuti. Lo schiacciamento è causato dal contatto diretto del tessuto con la superficie anteriore del proiettile e da questo deriva la formazione della cavità permanente, chiaramente identificabile in sede necroscopica. Lo stiramento dei tessuti è invece dovuto all'allontanamento degli stessi in direzione radiale rispetto al proiettile e alla formazione della cavità temporanea (Di Maio, 2016; Kneubuehl *et al.*, 2011). Questo fenomeno è particolarmente significativo nel caso di proiettili per arma lunga (Capitolo 3.3). Le pulsazioni della cavità temporanea e la presenza di interfacce di densità differente tra i diversi tipi di tessuto creano ulteriori forze di stiramento, che provocano la lacerazione del tessuto se il limite di elasticità dello stesso viene superato. Si ha dunque la formazione di tasche nella ferita (*wound pockets*), che puntano radialmente verso l'esterno della cavità permanente. Nella zona di extravasazione si possono osservare gli effetti della compressione e dello stiramento solo all'esame istologico dei tessuti coinvolti, poiché a occhio nudo non è rilevabile alcuna lesione macroscopica (Kneubuehl *et al.*, 2011).

Come anticipato nel capitolo precedente, l'entità delle lesioni dipende sì dalle caratteristiche dell'arma e della munizione, ma soprattutto dalla natura del tessuto attraversato. Più un organo è elastico, maggiore è la sua capacità di compensare le forze di stiramento; pertanto, i grossi vasi arteriosi, i muscoli, il tessuto connettivo, la cute e alcuni organi come il polmone o l'intestino sono molto più resistenti rispetto ad organi parenchimatosi come il fegato, la milza, i reni e l'encefalo, che sono descritti come anelastici (Bradley-Siemens e Brower, 2016; Kneubuehl *et al.*, 2011).

Durante l'esame necroscopico è necessario distinguere le lesioni d'arma da fuoco da ferite cagionate in altre circostanze (ferite da morso, d'arma bianca, lacerazioni a seguito di investimenti o altri tipi di trauma *etc.*) (Bradley-Siemens e Brower, 2016). Il foro d'ingresso, il tramite intracorporeo e il foro d'uscita sono elementi caratteristici e devono essere analizzati e documentati singolarmente. Il riconoscimento di queste lesioni passa, inoltre, attraverso l'analisi di segni complementari alla ferita, che forniscono numerose informazioni utili alla formulazione della diagnosi medico-legale (Di Maio, 2016).

4.1 – CARATTERI GENERALI DELLE LESIONI

Le lesioni d'arma da fuoco possono essere suddivise in due categorie: perforanti e penetranti (o a fondo cieco). Le prime si verificano quando un proiettile attraversa completamente il bersaglio e si ha la creazione di un foro d'ingresso e un foro d'uscita. Le ferite penetranti invece mancano di un foro d'uscita poiché il proiettile viene ritenuto all'interno del corpo. Una ferita, tuttavia, può essere sia penetrante che perforante; ad esempio, un proiettile che colpisce la testa può passare attraverso l'encefalo e le ossa craniche prima di arrestarsi al di sotto della cute, producendo così una ferita penetrante nella testa ma perforante nei confronti del cranio dell'encefalo (Di Maio, 2016).

Il foro d'ingresso

Una volta raggiunto il bersaglio, il proiettile causa un effetto contusivo sulla cute e, se possiede energia sufficiente, la perfora e penetra nei tessuti. La morfologia del foro d'ingresso è di particolare importanza nella valutazione medico-legale delle ferite d'arma da fuoco, in quanto può fornire numerose informazioni riguardo la distanza di sparo, l'angolo di impatto e alcune caratteristiche del proiettile (Kneubuehl *et al.*, 2011).

Il foro d'ingresso si presenta come una soluzione di continuo cutanea di forma circolare o ovalare con i margini che presentano un'abrasione di colore rossastro o bruno-rossastro, definita come orletto ecchimotico-escoriativo (*abrasion ring*). Si tratta di un segno che caratterizza solamente il foro d'ingresso ed è generato dalla rapida introflessione della cute “a guisa di dito di guanto” provocata dal moto del proiettile, responsabile sia dell'effetto contusivo – che determina l'area ecchimotica che contorna il foro –, sia dell'effetto abrasivo sugli strati superficiali dell'epidermide (Zagra *et al.*, 2011; Di Maio, 2016). L'aspetto di questo

orletto può variare a seconda del calibro dell'arma, dell'angolo di impatto del proiettile e della regione anatomica colpita (Di Maio, 2016).

Il diametro del foro d'entrata è generalmente inferiore a quello del proiettile, a causa della detrazione elastica della cute, che viene tesa e introflessa all'interno del tramite al passaggio del proiettile stesso (Zagra *et al.*, 2011; Kneubuehl *et al.*, 2011). Quando il proiettile perfora la cute, quest'ultima si sposta in direzione radiale creando un ingresso temporaneo di forma conica il cui vertice è diretto verso l'interno del tramite. Questo foro temporaneo, che ha un diametro considerevolmente maggiore rispetto al calibro del proiettile, si contrae rapidamente ed esita successivamente nella formazione del foro d'entrata definitivo, come mostrato in Figura 40. L'orletto ecchimotico-escoriativo è dovuto proprio allo stiramento della cute in questo frangente e non alla temperatura del proiettile o alla sua rotazione giroscopica, come potrebbe essere intuitivo pensare (Di Maio, 2016).

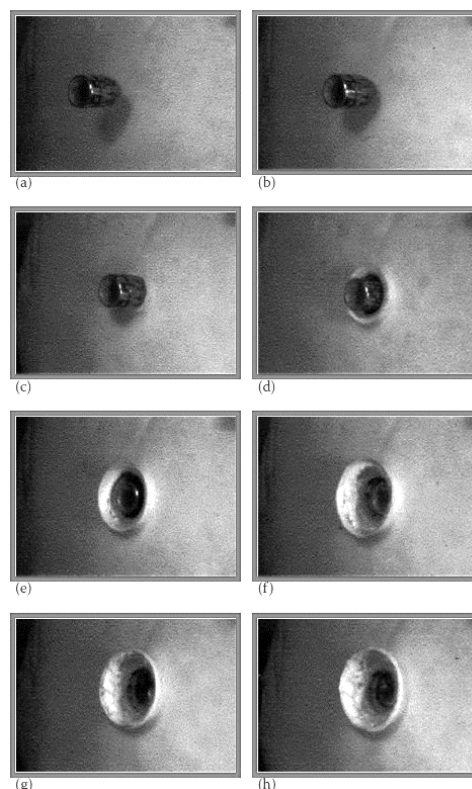


Figura 40: Fotografie di un proiettile al momento della formazione del foro d'ingresso in un blocco di simulante balistico, che riproduce e mette in evidenza il fenomeno di retrazione elastica della cute. Tempo di scatto 1 μ s (Kneubuehl *et al.*, 2011).

L'aspetto bruno-rossastro dell'orletto ecchimotico-escoriativo è un artefatto consecutivo dovuto all'essiccazione del derma esposto all'azione dell'aria, che inizialmente si presenta umido e di colore bianco-rosato. Esistono inoltre casi particolari in cui questa caratteristica non è visibile e si assiste a una transizione diretta tra la cute illesa e il derma visibile nel foro d'entrata. Queste ferite possono essere osservate nel caso di munizioni per fucile a percussione centrale e proiettili per pistola FMJ, in considerazione dell'elevata velocità che raggiunge il proiettile (Bradley-Siemens e Brower, 2016). Spesso, in questi casi, sono visibili delle microlacerazioni sui margini del foro d'ingresso che possono essere distribuite in maniera simmetrica o asimmetrica a seconda dell'angolo di impatto del proiettile e della sede anatomica della ferita – *e.g.* la testa (Di Maio, 2016).



Figura 41: Foro d'ingresso di un colpo sparato a distanza a un cinghiale (*Sus scrofa*) abbattuto durante l'attività venatoria. È visibile il margine introflesso della ferita e l'orletto ecchimotico-escoriativo di colore rosato. Tiro a 35 metri con carabina Benelli Argo cal. 9.3x62 Mauser con palla Norma Vulkan da 212 gr. (per gentile concessione di Jacopo Pellini, armaiolo).

I margini del foro d'ingresso del proiettile appaiono in genere introflessi, per i meccanismi illustrati poco sopra. Tuttavia, può capitare che presentino un aspetto estroflettente nei casi in cui si ha la protrusione di materiale organico proveniente dagli strati più profondi (*e.g.*

omento, pannicolo adiposo, materiale cerebrale *etc.*). Anche la fuoriuscita di sangue da fori d'ingresso posti in sedi gravitarie può determinare un'estroflessione dei margini (Zagra *et al.*, 2011).

Al momento dell'impatto il proiettile può depositare sulla cute anche del materiale estraneo che viene portato con sé durante il volo, come tracce di lubrificante, polvere, residui contenuti nella canna ed eventuali sostanze raccolte a seguito di impatti contro bersagli secondari. Tali depositi, spesso di colore nerastro, determinano la formazione dell'orletto di detersione, che contribuisce anch'esso all'individuazione del foro d'entrata in quanto distintivo. Le dimensioni dell'orletto ecchimotico-escoriativo e dell'orletto di detersione riproducono in maniera approssimativa il diametro del proiettile che ha causato la ferita (Stefanopoulos *et al.*, 2014). La formazione di questo alone non è sempre evidenziabile sulla cute animale, ma le tracce depositate sul pelo – che viene appositamente raccolto e campionato in sede necroscopica – possono essere comunque oggetto di analisi successive (Brooks, 2018).

Se la canna dell'arma da fuoco è posta a qualche centimetro dalla cute, la fiammata prodotta dalla combustione della polvere può ustionare la zona circostante il foro d'ingresso e bruciarne i peli (per questo motivo si parla di “colpi a bruciapelo”) formando una zona scura e nerastra, denominata alone di bruciatura (Stefanopoulos *et al.*, 2014; Zagra *et al.*, 2011).

Al momento dello sparo, inoltre, un certo quantitativo di residui carboniosi prodotti dalla combustione della polvere da sparo emerge dalla bocca dell'arma. Se quest'ultima viene tenuta entro una certa distanza dal bersaglio, i gas non riescono a determinare un'ustione ma questi residui possono depositarsi sulla cute formando un alone nero o grigio denominato alone di affumicatura, che può presentare dei pattern caratteristici in determinate circostanze. Il tipo, l'aspetto e la dimensione di questi segni dipendono da numerosi fattori, quali la distanza e l'angolazione dello sparo, il tipo di polvere, il tipo di arma, la lunghezza della canna, il calibro e altre caratteristiche proprie del bersaglio. All'aumentare della distanza di sparo la

dimensione dell'alone di affumicatura tende ad aumentare a sua volta, mentre la sua intensità a diminuire, fino a una distanza limite oltre la quale diventa impossibile delinearne i confini. Il tipo di propellente e la lunghezza della canna determinano la quantità di fuliggine che viene depositata, in quanto alcune polveri bruciano in maniera più efficiente rispetto ad altre. Armi con una canna particolarmente lunga determinano la formazione di un alone più denso e di diametro inferiore. L'orientamento della bocca dell'arma, inoltre, influenza la forma di questo alone, che può essere simmetrico (concentrico) o eccentrico (Di Maio, 2016). La conformazione circolare del foro d'ingresso e degli aloni che possono contornarlo è infatti tipica dei colpi pervenuti con direzione perpendicolare alla cute, ma se il proiettile impatta con una direzione obliqua, il conseguente orifizio e i relativi orletti presentano una conformazione di forma ellittica, più o meno accentuata a seconda dell'angolo di incidenza. Anche la destabilizzazione del proiettile nel corso della sua traiettoria di volo può contribuire a creare un foro d'entrata di forma non circolare; ad esempio, se impatta con il fianco o con la sua parte posteriore rivolta in avanti si può creare una soluzione di continuo irregolare, talvolta definita "a buco di serratura" o *keyhole* (Zagra *et al.*, 2011).

Non di rado le ferite d'arma da fuoco si presentano sporche di sangue, che a seconda dei casi può essere fresco, secco o incrostato. Durante il processo di lavaggio della ferita nel contesto di una necropsia forense il pelo deve essere necessariamente tosato e la cute lavata, per permettere il riconoscimento e un'accurata documentazione della lesione. Per rimuovere efficacemente il sangue senza intaccare i residui di fuliggine, è possibile utilizzare acqua o perossido di idrogeno (10 vol. - 3%), che dissolve i coaguli ma preserva gli aloni causati dalla polvere (Di Maio, 2016).

Un altro segno complementare delle lesioni d'arma da fuoco è denominato da numerosi autori "*stippling*" (punteggiatura) e consiste in una serie di abrasioni cutanee puntiformi di colore bruno-rossastro, causate dall'impatto sulla cute di piccoli frammenti di materiale

estraneo Spesso, questo materiale è costituito da granelli di polvere da sparo incombusta, che determinano il cosiddetto tatuaggio (*powder tattooing*). Se invece questo materiale ha natura diversa, si parla di pseudotatuaggio (Di Maio, 2016; Kneubuehl *et al.*, 2011). Per fornire un esempio, un proiettile che rimbalza su una superficie dura può generare elementi secondari dovuti sia alla frammentazione del proiettile stesso, sia provenienti dall'oggetto contro cui ha rimbalzato (generalmente legno o pietra). Questi frammenti determinano una lesione simile a quella causata dalla polvere, ma di forma irregolare, di dimensioni maggiori e considerevolmente meno densa (Di Maio, 2016). Occasionalmente, alcuni frammenti più grandi possono essere ritrovati nel pelo o incorporati nella cute delle zone limitrofe (Brooks, 2018).

In alcuni casi le ferite d'arma da fuoco possono provocare delle emorragie secondarie a carico dei follicoli piliferi e la rasatura della cute durante l'esame necroscopico può renderle particolarmente evidenti. Anche l'attività di alcuni tipi di insetti può determinare lesioni multifocali puntiformi da differenziare dal tatuaggio (Marchetti, 2017). Queste ultime tuttavia, essendo post mortali, sono di colore diverso e virano dal bruno al giallastro. Sono inoltre di dimensioni maggiori, hanno forma irregolare e sono disposte con uno schema lineare, dovuto allo spostamento dell'insetto nell'epidermide (Di Maio, 2016).

Il tramite

Dopo aver penetrato la cute il proiettile prosegue il suo tragitto intracorporeo producendo un tramite secondo i meccanismi illustrati nel Capitolo 3.3. Quest'ultimo può essere definito completo (o trapassante), laddove faccia seguito l'uscita del proiettile, o incompleto (a fondo cieco) nel caso il proiettile rimanga all'interno del corpo senza dare esito a un foro d'uscita. Se il proiettile attraversa una delle grandi cavità corporee, si parla di tramite transfosso (Zagra *et al.*, 2011).



Figura 42: Tramite trapassante in un cinghiale, evidenziato dopo scuoiamento nel corso di una necropsia forense (per gentile concessione di Jacopo Pellini, armaiolo).

In alcuni casi il proiettile può intaccare la cute solo tangenzialmente, creando una ferita di striscio (*gaze wound*), che consiste in una zona di abrasione di forma allungata senza che vi sia una effettiva perforazione o lacerazione della cute. Se l'angolo di incidenza è poco più ampio e il proiettile attraversa i tessuti in direzione tangenziale, la lesione si estende esponendo gli strati profondi (Di Maio, 2016), determinando una superficiale perdita di sostanza (tramite a doccia o semicanale). In questi casi è difficile stabilire in quale direzione il proiettile stava procedendo; tuttavia, un attento esame delle due estremità della ferita può rivelare che l'estremità di ingresso generalmente possiede un margine parzialmente abraso, mentre l'estremità di uscita è più che altro lacerata e possiede un accumulo di tessuto organizzato in pliche (Di Maio, 2016). Un dettaglio interessante è rappresentato da una serie di lacerazioni parallele, che si viene a creare grazie all'attrito della cute nei confronti del proiettile. Queste lacerazioni possono essere indicative della direzione di sparo, come mostrato in Figura 43 (Kneubuehl *et al.*, 2011).

Esiste altresì una situazione limite tra una ferita trapassante e una ferita di striscio, che consiste nelle c.d. ferite perforanti superficiali. In questo tipo di lesione il foro d'ingresso e quello d'uscita sono ravvicinati e anche in questo caso potrebbero essere difficili da distinguere. Se il percorso del proiettile è proprio al di sotto della cute, quest'ultima può presentare delle strie da stiramento dovuto al trauma (Di Maio, 2016).

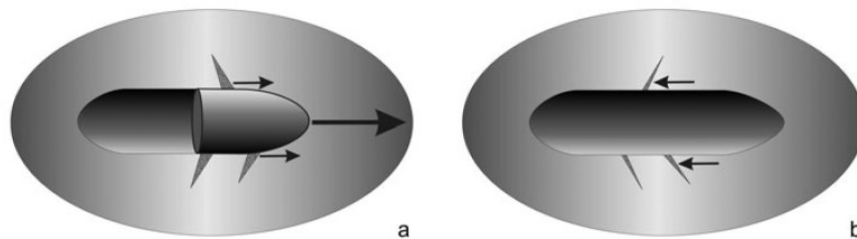


Figura 43: Rappresentazione schematica dell'aspetto di una ferita di striscio. La cute viene trascinata in avanti dal proiettile (a), generando delle piccole lacerazioni che, una volta che la cute è rilasciata e non più tesa, puntano verso la direzione d'origine dello sparo (b) (Kneubuehl *et al.*, 2011).

Un caso particolare sono le c.d. ferite da rientro (*reentry wounds*), che si verificano quando un proiettile attua un tramite trapassante una sede anatomica e successivamente rientra in un'altra sede, ad esempio quando si ha la perforazione di un arto e poi la penetrazione nel torace. Queste lesioni sono caratterizzate da un foro d'ingresso ampio, ovalare, dai margini frastagliati e con un evidente orletto ecchimotico-escoriativo, anch'esso di forma irregolare. Se considerate da sole, possono assomigliare a un foro d'uscita (Di Maio, 2016).

Se nel corso del suo tragitto intracorporeo un proiettile dotato di elevata energia incontra un'interfaccia dura (*e.g.* un osso o un'articolazione), può andare incontro a deformazione o frammentazione e modificare il suo percorso (tramite angolato). Se tali frammenti possiedono energia sufficiente, inoltre, possono creare dei tramiti secondari che si distaccano dalla direzione originaria. Un proiettile che possiede una velocità inferiore può invece essere

deviato formando un tramite non rettilineo. Ad esempio, può succedere che un proiettile venga incanalato tra le coste e produca un foro d'uscita senza aver attraversato la cavità toracica (tramite circumgirante) (Zagra *et al.*, 2011).

L'aspetto macroscopico del tramite intracorporeo dipende sostanzialmente dalla natura del tessuto attraversato dal proiettile, come mostrato in Tabella 3:

Tabella 3: Caratteri del tramite in relazione al tipo di tessuto (Corradi *et al.*, 2001).

Tessuto	Caratteristiche del tramite
Sottocute	Tramite cilindrico e regolare, reso virtuale dalla protrusione dei lobuli di tessuto adiposo.
Masse muscolari	Tramite ampio e irregolare, crateriforme o con fessurazioni a seconda della direzione delle fibre.
Fasce e aponeurosi	Fessure lineari o perforazioni stellate a seconda della direzione delle fibre.
Vasi sanguigni	Possono spostarsi e sfuggire al proiettile. Se colpiti, presentano lacerazioni lineari o stellate, oppure una semplice contusione con trombosi secondaria.
Pericardio	Perforazioni rotonde o fenditure lineari con margini frastagliati.
Cuore	Soluzioni di continuo lineari o oblique, spesso caratterizzate da perdita di sostanza.
Organi parenchimatosi (fegato, rene, milza)	Tramiti cilindrici o crateriformi, con margini anfrattuosi e foro d'uscita di dimensioni maggiori.
Organi cavi (stomaco, intestino, vescica)	Perforazioni nette con foro d'uscita ampio e lineare, oppure lesioni da scoppio con ampie brecce laterali.
Ossa lunghe	Gravi fratture comminute o scheggie
Oso spongioso (corpi vertebrali)	Canale con piccole fratture irradiate
Ossa piatte (scapola)	Perforazione netta, a stampo, di forma conica.
Cranio ed encefalo	Scoppio con frammentazione delle ossa craniche e dispersione della massa cerebrale.

Il foro d'uscita

Il foro d'uscita è costituito nella maggior parte dei casi da una soluzione di continuo di forma circolare, di diametro maggiore rispetto al foro d'ingresso (a meno che il proiettile non si sia frammentato) e dai margini estroflessi e irregolari, a causa dei fenomeni di ribaltamento che avvengono all'interno del tramite. Come anticipato in precedenza, il foro d'uscita è sprovvisto degli aloni caratteristici del foro d'entrata, ma in rari casi è possibile evidenziare la presenza di uno pseudo-orletto contusivo. Ad esempio, se la superficie sulla quale si verrebbe a creare il foro d'uscita si trova a poggiare contro un ostacolo di una certa consistenza (un muro, un albero *etc.*) si forma una zona ecchimotica a causa dello schiacciamento della cute. L'assenza della componente escoriativa a livello dei margini, tuttavia, dovrebbe permettere il riconoscimento differenziale (Zagra *et al.*, 2011).

Se il proiettile non possiede energia sufficiente e viene ritenuto al di sotto della cute, senza quindi creare un foro d'uscita, è di comune riscontro un'ecchimosi sottocutanea che denuncia la presenza del proiettile sottostante, spesso apprezzabile mediante palpazione locale (Kneubuehl *et al.*, 2011; Zagra *et al.*, 2011).



Figura 44: I margini irregolari, lacerati e l'assenza di aloni di affumicatura o tatuaggio sono caratteristiche tipiche del foro d'uscita (Bradley-Siemens e Brower, 2016).



Figura 45: Foro d'uscita nel torace di un cinghiale abbattuto durante l'attività venatoria. Tiro a 35 metri con carabina Benelli Argo cal. 9.3x62 Mauser con palla Norma Vulkan da 212 gr. (per gentile concessione di Jacopo Pellini, armaiolo).

4.2 – LESIONI DA ARMI PORTATILI CON MUNIZIONE A PALLA

Dallo studio della morfologia delle lesioni è possibile acquisire numerose informazioni riguardo la distanza di sparo e l'angolo di impatto del proiettile, sulla base dei segni lasciati dall'azione meccanica dei gas combusti e dai residui o componenti della carica di lancio e/o dell'innesco. Numerosi autori hanno definito e classificato le ferite d'arma da fuoco sulla base di questi due parametri. Tra i più illustri, Sellier descrive tre campi di distanza: *absoluter Nabschuss* (ravvicinato assoluto), *relativer Nabschuss* (ravvicinato relativo) e *Fernschuss* (a distanza). La classificazione di Di Maio delle lesioni d'arma da fuoco prevede invece la suddivisione in quattro categorie a seconda della distanza che intercorre tra la volata della canna e il bersaglio:

1. Ferite da sparo a contatto (*contact wounds*), in cui la bocca dell'arma è a contatto diretto con la superficie corporea del bersaglio. A loro volta possono essere suddivise in:
 - a. *Hard-contact wounds*, in cui la bocca dell'arma viene spinta con forza contro la cute.
 - b. *Loose-contact wounds*, in cui invece non si esercita una forte pressione nonostante la canna sia a contatto diretto con la cute.
 - c. *Angled-contact wounds*, in cui la canna non risulta perfettamente perpendicolare alla superficie corporea.
 - d. *Incomplete-contact wounds*, in cui la bocca dell'arma è a contatto con la cute solo parzialmente e non in tutta la sua circonferenza.
2. Ferite da sparo a distanza ravvicinata (*near-contact wounds*). Anche in questo caso il colpo può provenire con una direzione perpendicolare o angolata rispetto al piano cutaneo (*near-contact angled wounds*).
3. Ferite da sparo a distanza intermedia (*intermediate-range wounds*)
4. Ferite da sparo a lunga distanza (*distant wounds*)

La differenza tra le due suddivisioni risiede, di fatto, nell'individuazione delle *near-contact wounds*, ovvero una situazione intermedia tra un colpo a contatto e uno a distanza di qualche millimetro. È doveroso precisare tuttavia che, la maggior parte del materiale esistente in letteratura utilizzato nell'ambito della Patologia Forense Veterinaria proviene da studi condotti in Medicina Umana; di conseguenza, non tutte le caratteristiche che verranno descritte più avanti saranno individuabili sulla cute animale, che nella maggior parte dei casi è ricoperta dal pelo.

Ferite da sparo a contatto (contact wounds)

Quando la bocca dell'arma viene tenuta contro la superficie corporea del bersaglio al momento dello sparo, vengono depositati all'interno e lungo tutto il tramite della ferita dei residui composti da fuliggine, polvere incombusta e metalli vaporizzati provenienti dal proiettile, dall'innesco e dal bossolo (Stefanopoulos *et al.*, 2014; Di Maio, 2016).

Se la canna viene spinta con forza contro la cute, tanto che la cute stessa rientra parzialmente nel vivo di volata, i margini cutanei del foro d'ingresso vengono ustionati dal calore dei gas di sparo e anneriti dalla fuliggine (Figura 46). Questa fuliggine viene a tutti gli effetti incorporata nella cute e non può essere rimossa neanche mediante lavaggio e sfregamento della ferita (Di Maio, 2016).

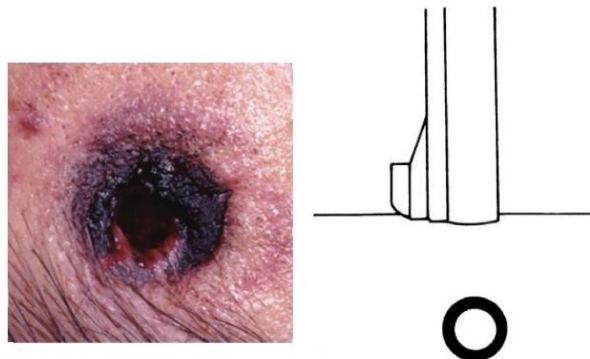


Figura 46: Ferita da sparo a contatto stretto, in cui la bocca dell'arma è premuta saldamente contro la cute impedendo ai gas di sparo di uscire. Non si ha dunque la creazione di aloni attorno ai margini del foro d'ingresso (Di Maio, 2016).

In alcuni casi, i gas provenienti dalla combustione della polvere tendono a penetrare caudalmente al proiettile e si espandono all'interno della ferita, infiltrando e lacerando il sottocute e determinando un tipico aspetto stellato (Zagra *et al.*, 2011). Questo fenomeno si verifica soprattutto in determinate regioni anatomiche, come la testa (Di Maio, 2016).

Se invece la bocca dell'arma è tenuta solo leggermente a contatto con la cute, l'espansione dei gas di sparo e il moto del proiettile causano il discostamento della cute dal vivo di volata, creando una temporanea intercapedine attraverso la quale i gas riescono a fuoriuscire. La fuliggine trasportata dai gas stessi si deposita in una zona circolare intorno al foro d'ingresso ma, a differenza del caso precedente, può essere agevolmente rimossa in sede necroscopica (Di Maio, 2016). Inoltre, la polvere da sparo non va incontro a completa combustione e alcuni granuli di maggiori dimensioni vengono proiettati insieme al proiettile, ledendo la cute e infiggendosi nel derma. Questo fenomeno determina la formazione dell'alone di tatuaggio, la cui ampiezza e concentrazione dei singoli elementi che lo compongono è direttamente proporzionale alla distanza di sparo (Zagra *et al.*, 2011). Nel caso specifico di questo tipo di lesione, il tatuaggio tende a sovrapporsi all'alone di affumicatura come mostrato in Figura 47 (Di Maio, 2016).

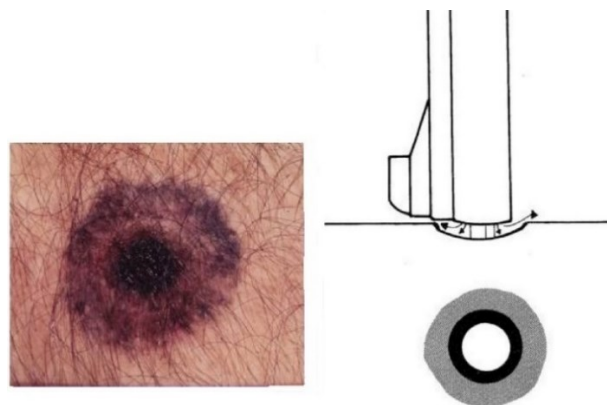


Figura 47: Ferita da sparo in cui il contatto con la cute non è stretto come nel caso precedente. I gas di sparo riescono a fuoriuscire dall'intercapedine creata tra la bocca dell'arma e la cute, creando un alone di residui attorno al margine della ferita. È ben visibile l'orletto ecchimotico-escoriativo e anche, seppur leggermente, il tatuaggio sovrapposto all'alone di affumicatura (Di Maio, 2016).

In alcuni casi la canna è tenuta sì a contatto col bersaglio, ma in maniera angolata rispetto alla cute, in modo che l'intera circonferenza della bocca non sia totalmente a contatto con essa. In questo caso, i gas e la fuliggine che fuoriescono da questo spazio si irradiano verso l'esterno depositando la fuliggine in maniera eccentrica. La fuliggine viene disposta in due zone distinguibili: la zona più evidente (e spesso l'unica visibile) è un'ustione annerita con una configurazione circolare, ovale o piriforme, direttamente a contatto con i margini del foro d'ingresso del proiettile. La zona più esterna è meno evidente e può essere mascherata dal sanguinamento o rimossa durante la pulizia della ferita. Presenta una morfologia a ventaglio di colore chiaro e si irradia verso l'esterno in direzione opposta all'angolazione della canna. Anche in questo caso l'estensione degli aloni attorno al foro d'ingresso è in rapporto con l'angolazione della canna. Se l'angolo di incidenza aumenta, aumenta di conseguenza lo spazio che si viene a creare tra la bocca dell'arma e il piano cutaneo. Alcuni grani di polvere incombusta possono fuoriuscire e si aprono a ventaglio a partire dal foro d'ingresso determinando anche l'alone di tatuaggio (Di Maio, 2016; Stefanopoulos *et al.*, 2014).

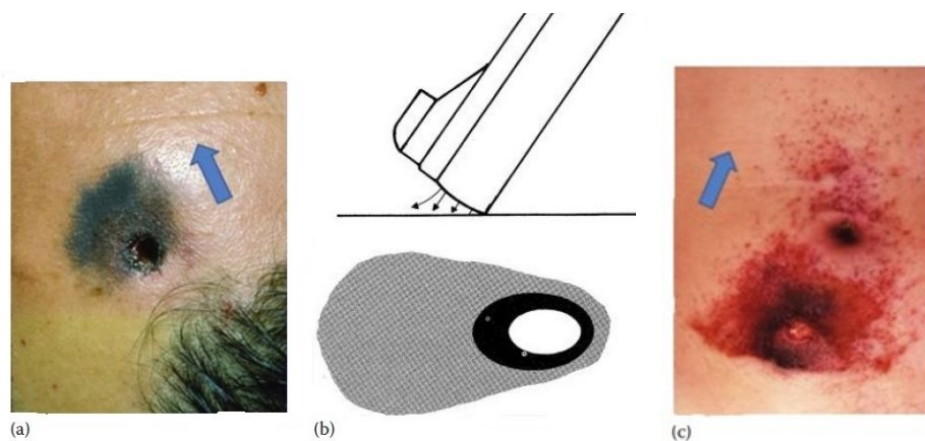


Figura 48: Ferita da sparo a contatto in cui la direzione della canna non è perpendicolare al piano cutaneo. Sia

l'orletto ecchimotico-escoriativo che l'alone di affumicatura sono di forma eccentrica e si trovano in posizione opposta rispetto alla provenienza del proiettile (a e b). Nell'immagine c) è possibile osservare il tatuaggio determinato dalla polvere incombusta, che si deposita, anch'essa, secondo la stessa direzione del colpo (Di Maio, 2016).

Le ferite da contatto incompleto (*incomplete-contact wounds*) sono di fatto una variante delle ferite da contatto angolato (*angled-contact wounds*) precedentemente descritte. In questo caso la bocca dell'arma è tenuta solo parzialmente a contatto con la cute, ad esempio perché la superficie di quel distretto corporeo non è perfettamente piana. Un fiotto di gas carico di fuliggine fuoriesce da questa fessura generando un alone di bruciatura dalla morfologia allungata, in relazione alla circonferenza della bocca e alla sua posizione al momento dello sparo. Anche in questo caso è possibile riscontrare la presenza del tatuaggio (Di Maio, 2016).

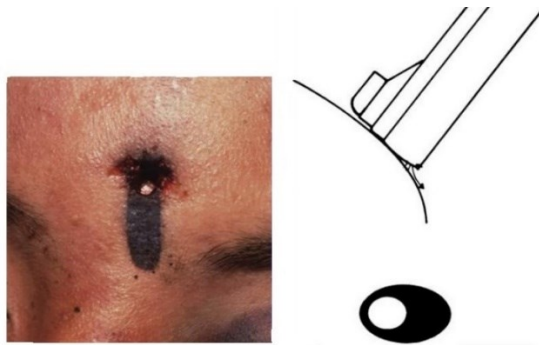


Figura 49: Ferita da sparo a contatto incompleto. Si può osservare l'alone di bruciatura di forma allungata (Di Maio, 2016).

Ferite da sparo a distanza ravvicinata (near-contact wounds)

Le ferite operate da uno sparo a distanza ravvicinata si trovano in una zona grigia di confine tra le ferite da sparo a contatto e quelle a raggio intermedio. Esiste infatti una certa sovrapposizione tra l'aspetto delle ferite di uno e dell'altro tipo, tanto che a volte non è semplice distinguerle. In questo tipo di ferita, la bocca dell'arma non è a contatto diretto con la cute, ma è tenuta a distanza di qualche millimetro. Questa distanza è sufficientemente breve da non permettere ai granelli di polvere incombusta di disperdersi e intaccare la cute; di conseguenza, in questo tipo di ferita non è visibile l'alone di tatuaggio. Il foro d'ingresso è caratterizzato da una zona di bruciatura annerita con i margini di dimensioni maggiori rispetto alle ferite da sparo a contatto ed è circondato da un ampio alone di affumicatura

(Figura 50). Anche in questo caso, la fuliggine viene integrata nella cute e non può essere rimossa completamente. Possono essere ritrovati nei pressi della ferita anche alcuni granuli di polvere incombusta (Di Maio, 2016).

In alcuni casi, se la bocca dell'arma è posta in stretta vicinanza con la superficie cutanea i fenomeni di rinculo e ritorno in avanti dell'arma possono produrre delle impronte a stampo denominate "ecchimosi figurata", che riproducono il piano della bocca dell'arma o particolari della volata (Zagra *et al.*, 2011).

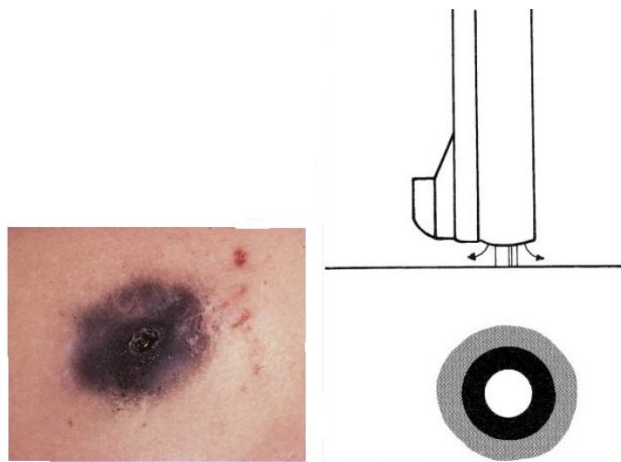


Figura 50: Ferita da sparo a distanza ravvicinata. È ben visibile il margine annerito del foro d'ingresso che si presenta di dimensioni maggiori rispetto ai casi precedenti. Nell'immagine a sinistra è stato rimosso l'alone di affumicatura durante il lavaggio della ferita (Di Maio, 2016).

Se la canna è tenuta in direzione non perfettamente perpendicolare al piano cutaneo, la fuliggine si irradia verso l'esterno creando un pattern bizonale molto simile al caso delle ferite da sparo a contatto angolato (Figura 51). Tuttavia, la posizione e l'andamento dell'alone di affumicatura rispetto al foro di ingresso è diversa rispetto al caso precedente, poiché viene a trovarsi dalla stessa parte dell'arma, in direzione opposta al tramite (Knudsen, 2016; Di Maio, 2016).

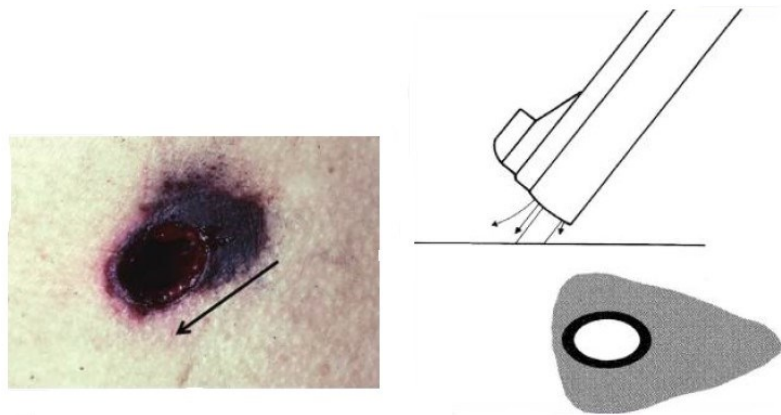


Figura 51: Ferita da sparo angolato a distanza ravvicinata. L'alone di affumicatura in questo caso è localizzato, rispetto al foro d'ingresso, dallo stesso lato della canna (Di Maio, 2016).

Da questo particolare si evince che non è possibile ricostruire in maniera univoca la direzione in cui l'arma era puntata osservando soltanto lo schema di deposizione della fuliggine. Correlando però questo dato con la direzione del tramite intracorporeo del proiettile, allora è possibile formulare una diagnosi differenziale tra una ferita da sparo a contatto diretto da una a distanza ravvicinata (Knudse, 2016; Di Maio, 2016). Purtroppo, è necessario ricordare che la presentazione delle ferite non è sempre così didattica, soprattutto in presenza di pelo.

Ferite da sparo a distanza intermedia (intermediate-range wounds)

Nelle ferite da sparo a distanza intermedia la bocca dell'arma è tenuta, al momento dello sparo, a una distanza tale per cui i residui di polvere incombusta sono ancora in grado di determinare la formazione del tatuaggio sulla cute, caratteristica peculiare di questo tipo di lesioni (Stefanopoulos *et al.*, 2019; Di Maio, 2016). Parallelamente a quanto osservato nel paragrafo precedente, anche in questo caso non esiste un limite netto tra le ferite da sparo a distanza ravvicinata e intermedia.

Il tatuaggio consiste in un insieme di lesioni puntiformi di colore bruno-rossastro che circonda il foro d'ingresso, con una distribuzione simmetrica o eccentrica a seconda

dell'angolazione della canna rispetto al bersaglio, la posizione anatomica e, soprattutto, la quantità e il tipo di pelo che ricopre la cute nel caso di un bersaglio animale (Di Maio, 2016). L'alone di tatuaggio è uno dei principali fenomeni *ante mortem*, ovvero fornisce la prova che il bersaglio era vivo al momento dello sparo. Nel caso di una lesione *post mortem*, la polvere lascia sulla cute dei segni grigi o giallastri, facilmente differenziabili dal tipo di tatuaggio sopracitato (Di Maio, 2016).



Figura 52: Ferita da sparo a distanza intermedia. Sono visibili le abrasioni puntiformi bruno-rossastre che caratterizzano il tatuaggio causato dai grani di polvere incombusta (Di Maio, 2016).

Il tatuaggio non appare istantaneamente al momento dello sparo, ma solo dopo qualche secondo. Questi segni infatti sono prodotti dall'impatto dei grani di polvere sulla cute e non corrispondono a delle bruciature, ma piuttosto a vere e proprie abrasioni (Di Maio, 2016).

In alcuni casi, materiali diversi dalla polvere – come alcuni tipi di munizioni spezzate o frammenti di vario tipo – possono creare lesioni multifocali puntiformi simili al tatuaggio, che vengono però da esso differenziate mediante l'utilizzo del termine pseudotatuaggio o tatuaggio spurio (Zagra *et al.*, 2011).

Le abrasioni dovute alla polvere incombusta non possono essere eliminate durante la pulizia della ferita e tendono a guarire rapidamente se l'individuo sopravvive. Alcuni tipi di polvere

possono tuttavia infiltrarsi al di sotto degli strati superficiali della cute e dare luogo a un vero e proprio “tatuaggio permanente” (Di Maio, 2016).

Anche per questo tipo di lesioni la canna può trovarsi in posizione angolata rispetto al piano cutaneo al momento dello sparo. La lesione prodotta avrà un tatuaggio posto su entrambi i lati del foro d'ingresso, ma più denso verso la direzione di provenienza del proiettile (Di Maio, 2016; Stefanopoulos *et al.*, 2014).

Ferite da sparo a distanza (distant wounds)

Nell'ambito della Patologia Veterinaria Forense la stragrande maggioranza delle lesioni osservate sugli animali in sede necroscopica appartiene a questa categoria. In questo tipo di lesioni gli unici segni visibili sono quelli prodotti dall'interazione del proiettile con la cute (Di Maio, 2016; Santucci e Chang, 2004) e, nel caso di lunghe distanze, nessun metodo chimico o strumentale è in grado di rilevare tracce di residui con i quali è possibile ricostruire la distanza di sparo (Bettin, 2013).

I fori d'ingresso possono essere difficili da evidenziare a causa del pelo. La morfologia più o meno circolare dei margini della ferita dipende dall'angolazione dello sparo e presenta, nella maggior parte dei casi, il tipico orletto ecchimotico-escoriativo (Munro, 2008).

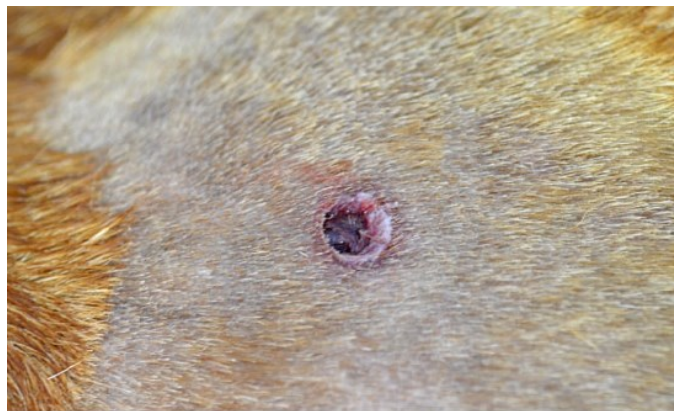


Figura 53: Foro d'ingresso ritrovato sulla cute di un cane (*Canis lupus familiaris*). L'assenza di aloni di affumicatura o di tatuaggio, nonostante la presenza del pelo, è indicativa di un colpo sparato a distanza (Bradley-Siemens e Brower, 2016).

Se durante il suo percorso il proiettile colpisce un osso, può venire ulteriormente deformato e frammenti metallici o derivanti dall'osso stesso vengono ampiamente distribuiti nei tessuti molli circostanti. Le ossa pneumatiche dei volatili offrono molta meno resistenza al passaggio del proiettile e tendono a frammentarsi più facilmente (Munro, 2008).

Le immagini radiografiche possono fornire informazioni preziose: ad esempio, un proiettile calibro .22, procedendo nel suo tramite a velocità sempre minore, può scivolare tra le fasce muscolari o nel sottocute senza ledere i tessuti e rendendo impossibile l'identificazione della sezione terminale del tramite intracorporeo. In questi casi, senza l'ausilio delle radiografie può essere difficile determinare la posizione del proiettile (Munro, 2008). Se il proiettile non si deforma, il foro d'uscita tende ad avere dimensioni analoghe a quelle del foro d'ingresso; tuttavia, è comunque differenziabile grazie alla formazione di un ematoma di dimensioni maggiori e i margini leggermente estroflessi e privi di orletto ecchimotico-escoriativo. Anche il sanguinamento del foro di uscita può essere un indizio, in quanto generalmente di maggiore entità rispetto a quello osservato nel foro d'entrata (Munro, 2008).



Figura 54: Radiografia del cranio di un tasso adulto (*Meles meles*) ucciso da una palla monolitica .22. Sono visibili numerosi frammenti di diverse dimensioni allocati nel cranio, che risulta particolarmente danneggiato, nei tessuti molli circostanti, nelle cavità nasali e nei relativi seni (Munro, 2008).

4.3 – LESIONI DA ARMI PORTATILI CON MUNIZIONE SPEZZATA

Al momento dello sparo la carica di pallini lascia la bocca del fucile in maniera compatta; solo dopo qualche metro la resistenza offerta dall'aria tende a disperdere gli elementi dello sciame, che si dispongono concentricamente a formare la rosata (Capitolo 2). Le dimensioni della rosata – e dunque della ferita – sono direttamente proporzionali alla distanza di sparo (Di Maio, 2016). A distanza ravvicinata, il potenziale lesivo di questo tipo di munizione è particolarmente elevato. La maggior parte dei pallini penetra la cute come una massa compatta, creando un singolo foro d'ingresso dai margini irregolari circondato da piccoli fori secondari corrispondenti agli elementi più esterni dello sciame (Munro, 2008). Se il colpo viene sparato a distanza superiore, al momento dell'impatto si formano sulla cute tanti fori d'ingresso quanti sono gli elementi che hanno colpito il bersaglio, ai quali corrispondono altrettanti tramiti intracorporei. Se l'angolo di impatto è perpendicolare alla superficie corporea del bersaglio la rosata assume una forma grossomodo circolare, uno sparo angolato invece determina una rosata di forma eccentrica (Bradley-Siemens *et al.*, 2018). All'aumentare della distanza di sparo, il numero di pallini che colpisce il bersaglio diminuisce in maniera esponenziale (Munro, 2008).



Figura 55: Ferita da munizione spezzata sparata a distanza ravvicinata sul torace (Kneubuehl *et al.*, 2011).

Il foro d'ingresso dei singoli pallini è molto piccolo, ma è comunque evidente nella maggior parte dei casi l'alone ecchimotico-escoriativo. A distanze inferiori a 30 cm è possibile evidenziare anche la presenza di aloni di affumicatura e, in alcuni casi, del tatuaggio (Munro, 2008). Rispetto ai proiettili sparati da armi a carica unica, i pallini tendono ad avere un tramite breve e a rimanere molto più spesso ritenuti all'interno del corpo – a causa della minore energia cinetica posseduta –, così come alcuni elementi del borraggio, il cui rinvenimento potrà fornire elementi molto utili circa il tipo di munizionamento adoperato (Zagra *et al.*, 2011). Il ritrovamento del foro d'uscita è relativamente meno frequente, ad eccezione dei c.d. pallettoni che possiedono massa ed energia cinetica maggiore e tendono a penetrare più in profondità. I pallini possono comunque riuscire ad attraversare e perforare gli arti dei mammiferi di piccola taglia o uccelli, ma è stato osservato che i fori d'uscita sono sempre in numero minore rispetto ai fori d'entrata (Munro, 2008).

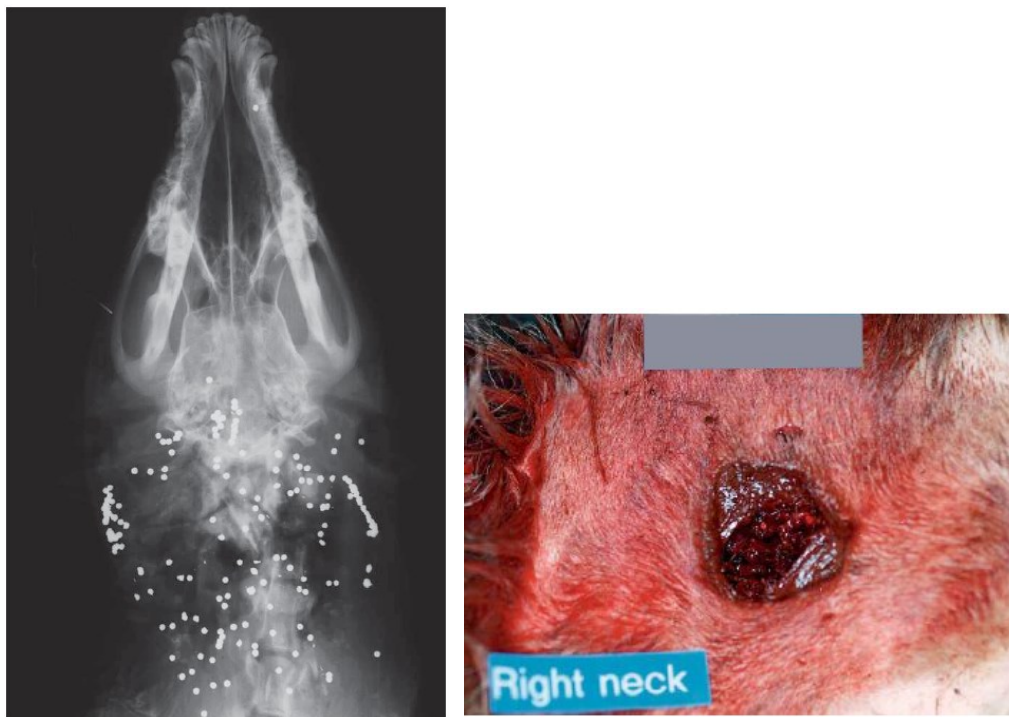


Figura 56: A sinistra: radiografia della testa di un cane colpito al collo a distanza ravvicinata (1-2 m). A destra: il foro d'ingresso osservato in sede necroscopica (Munro, 2008).



Figura 57: Ferita da munizione spezzata sul fianco sinistro di un cane. La distanza tra i fori d'ingresso è compatibile con uno sparo effettuato a distanza (Munro, 2008).



Figura 58: Radiografie del rachide lombare di un gatto (*Felis catus*) nelle proiezioni ventro-dorsale e latero-laterale. Si rileva un pallino da caccia a livello del canale spinale di L5 (per gentile concessione della Sezione di Radiologia Veterinaria e Diagnostica per Immagini del Dipartimento di Scienze Medico-Veterinarie dell'Università degli Studi di Parma).

4.4 – LESIONI DA ARMI DA SPARO AD ARIA O GAS COMPRESSI

Le armi ad aria o gas compressi sparano generalmente proiettili di peso inferiore a 0,5 g, siano essi di tipo diabolino a punta tonda o piatta, diabolino appuntito o pallini sferici in piombo, con una velocità alla volata di circa 50-150 m/s per le pistole e fino a 300 m/s o più per i fucili. Secondo la legge italiana, tuttavia, l'energia cinetica posseduta da tali proiettili non può superare i 7,5 J nelle armi consentite per l'uso civile senza obbligo di denuncia di possesso, ovvero le più diffuse; la velocità alla volata, dunque, nella maggior parte dei casi non supera i 175 m/s (Kneubuehl *et al.*, 2011).

In un animale di taglia medio-grande è improbabile che un proiettile di questo tipo causi lesioni significative; tuttavia, possono essere frequentemente osservate nella pratica clinica e forense delle ecchimosi – accompagnate occasionalmente dalla rimozione dell'epitelio superficiale – e delle ferite cutanee che tendono a non oltrepassare il sottocute o le prime fasce muscolari. Un proiettile tondo o diabolino che colpisce la cute esposta (anche in presenza di pelo) con un'angolazione vicina ai 90° e velocità superiore a 100 m/s può tuttavia penetrare agevolmente nel corpo, grazie alla sua densità sezionale elevata (Kneubuehl *et al.*, 2011; Di Maio, 2016).

Il foro d'ingresso ha generalmente un diametro di 3-5 mm e il tramite intracorporeo appare simile a quello dei pallini da caccia osservati singolarmente, con un canale stretto ed emorragico (Munro, 2008). Il grado di penetrazione dipende dalla sede anatomica colpita, in quanto sono state descritte anche lesioni gravi o mortali sia nell'uomo che negli animali (Kneubuehl *et al.*, 2011; Di Maio, 2016). I proiettili che penetrano nella cavità addominale, ad esempio, possono causare la rottura di un'ansa intestinale e la morte può sopraggiungere alcuni giorni dopo a causa della peritonite. Le lesioni agli occhi sono particolarmente frequenti negli animali domestici e si rivelano spesso fatali (Munro, 2008).

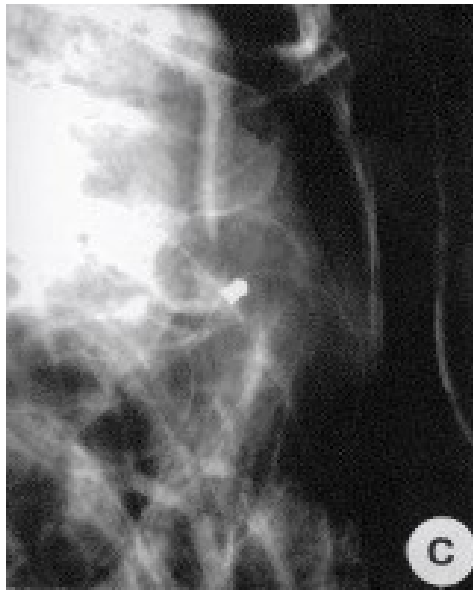


Figura 59: Radiografia della porzione craniale sinistra dell'addome di un cane, in proiezione ventro-dorsale. Si rilevano processi enfisematosi a livello addominale e sottocutaneo e un pallino in piombo per fucile ad aria compressa (per gentile concessione della Sezione di Radiologia Veterinaria e Diagnostica per Immagini del Dipartimento di Scienze Medico-Veterinarie dell'Università degli Studi di Parma).



Figura 60: Radiografia di un cigno (*Cygnus* spp.) adulto ucciso da sette colpi d'arma da sparo ad aria compressa. È ben visibile la morfologia a clessidra dei proiettili di tipo diabolico (Munro, 2008).

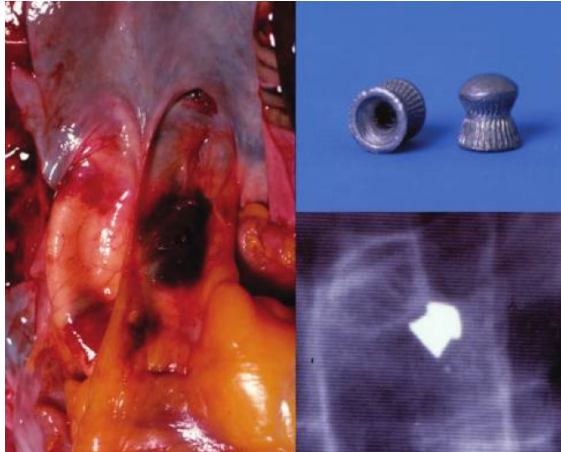


Figura 61: Lesione causata da un proiettile tipo diavolo che ha perforato il torace, l'arteria polmonare e l'aorta
(Di Maio, 2016).

4.5 – LESIONI DA PISTOLA A PROIETTILE CAPTIVO

Lo studio delle lesioni indotte da pistole a proiettile captivo ha valore in ambito medico-veterinario per l'uso che ne viene fatto in sede di macellazione. Il corretto uso di tali dispositivi è di grande importanza in termini di applicazione delle procedure di salvaguardia del benessere animale. Le pistole a proiettile captivo non possono essere definite armi, in quanto non riconosciute come tali dal Testo Unico delle Leggi di Pubblica Sicurezza (T.U.L.P.S.). Si tratta di dispositivi che devono essere utilizzati conformemente alle norme stabilite dall'art. 4 del Reg. CE 1099/2009 sulla protezione degli animali durante l'abbattimento e sono annoverati tra i metodi fisici descritti dall'AVMA (*American Veterinary Medical Association*) per l'esecuzione dell'eutanasia. Il personale preposto all'utilizzo di tali metodi deve essere adeguatamente formato, in modo da garantire che l'eutanasia sia condotta in modo appropriato e scongiurare potenziali pericoli per gli operatori o per gli animali, che potrebbero non essere efficacemente soppressi e andare incontro a inutile sofferenza (AVMA, 2020). Per quanto concerne l'uso di tale dispositivo in sede di macellazione, il Regolamento impone che gli animali siano abbattuti esclusivamente previo stordimento, ovvero un processo indotto intenzionalmente che provochi in maniera indolore la perdita di coscienza e di sensibilità, che deve essere mantenuta fino alla morte degli animali (Reg. CE 1099/2009, art. 4).

Le pistole a proiettile captivo possono essere classificate in due tipologie: penetrante o non penetrante. La prima è principalmente destinata a bovini, equini, ovi-caprini e, in alcuni casi, ai suini; la seconda tipologia è invece riservata ad animali di dimensioni minori, come ruminanti di peso vivo inferiore ai 10 kg, lagomorfi o pollame (AVMA, 2020). Entrambe inducono un'immediata insensibilità grazie all'effetto congiunto della concussione e la distruzione fisica del parenchima cerebrale (Gibson *et al.*, 2015). Sono composte da un cilindro in metallo contenente al suo interno un chiodo in acciaio, che viene fatto avanzare

grazie alla propulsione data dall'aria compressa o da una munizione a salve, ed arretrare nuovamente all'interno della camera grazie a un meccanismo a molla e un fermo che impedisce una fuoriuscita accidentale (Geisenberger *et al.*, 2020; Martinelli, 2016).



Figura 62: Rappresentazione schematica dei due tipi di pistola a proiettile captivo, penetrante e non penetrante (Martinelli, 2016).

Le cartucce, la lunghezza del chiodo e il punto esatto dove effettuare il colpo devono essere adattati alla specie e alla taglia dell'animale, secondo le disposizioni indicate dal Regolamento (AVMA, 2020; Grandin, 2020).

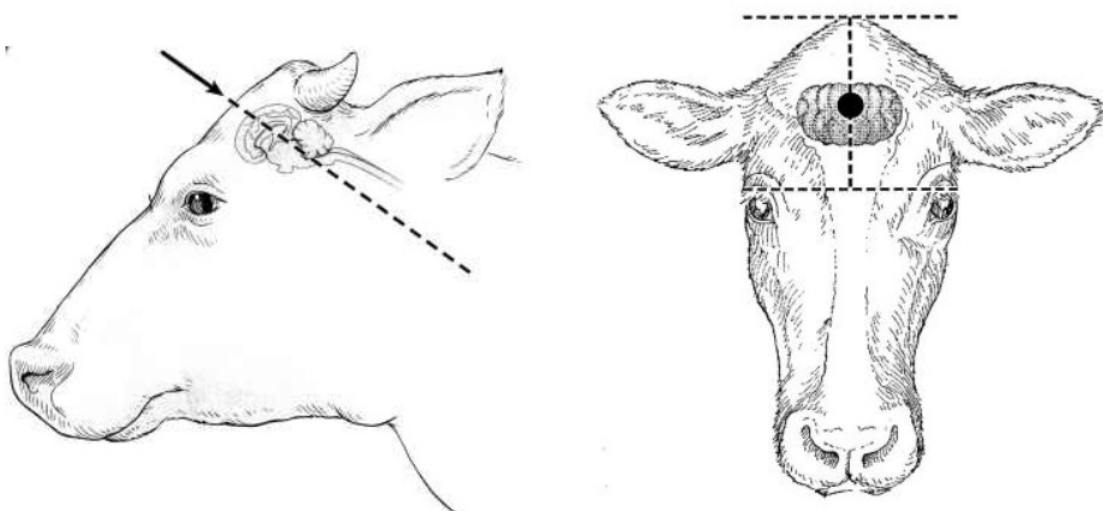


Figura 63: Rappresentazione grafica del corretto posizionamento della pistola a proiettile captivo nel bovino, a titolo di esempio. Lo strumento deve essere mantenuto perpendicolarmente alla superficie delle ossa frontali, in corrispondenza dell'encefalo (Grandin, 2020).

I segni di un'efficace penetrazione del proiettile captivo sono l'immediata perdita di coscienza dell'animale, seguita da contrazioni tonico-cloniche e movimenti di pedalamo degli arti posteriori. Il riflesso corneale deve essere assente e lo sguardo deve essere fisso, con assenza di nistagmo o pupille ventroruotate (Reg. CE 1099/2009, allegato I). Le persone responsabili dello stordimento ed il personale adibito a tale mansione sono tenuti a svolgere controlli regolari per garantire che gli animali non presentino segni di coscienza o sensibilità. Se un animale non è adeguatamente stordito, il responsabile dello stordimento deve provvedere affinché l'animale perda rapidamente conoscenza e sensibilità ripetendo le operazioni e sparando un secondo colpo a distanza di 1 cm dal primo (AVMA, 2020).

Il foro d'ingresso di questo tipo di ferita si presenta di forma circolare o ellittica in base alla direzione dell'arma, con i margini introflessi e il tipico orletto ecchimotico-escoriativo causato dall'effetto contusivo e abrasivo del chiodo sulla cute. Anche il foro osservato sulle ossa craniche risulta di forma circolare, di diametro simile a quello del chiodo utilizzato (7-12 mm). Il tramite ha andamento rettilineo e a fondo cieco, con una morfologia cilindrica o leggermente conica. Nella quasi totalità dei casi di rileva la presenza di un frammento osseo sul fondo del tramite, spinto in profondità dall'avanzamento del chiodo. La velocità e l'energia cinetica posseduta da quest'ultimo non sembrano essere sufficienti a generare una cavità temporanea o un'onda d'urto (Kneubuehl *et al.*, 2011; Gibson *et al.*, 2015).

Nelle ferite operate da pistole a proiettile captivo che utilizzano una munizione a salve, è possibile osservare degli aloni di affumicatura e di bruciatura dovuti alla fuoriuscita dei gas da alcuni fori presenti vicino alla bocca dello strumento. Il numero e la posizione di queste aperture variano tuttavia in base al modello e i depositi di fuliggine non sono costanti (Di Maio, 2016; Geisenberger *et al.*, 2020).

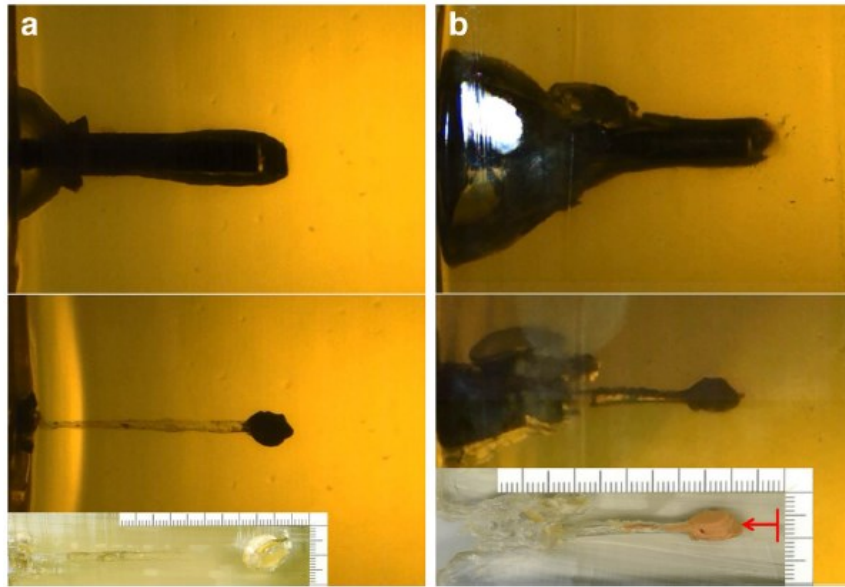


Figura 64: Simulazione sperimentale su sapone balistico di due modelli di pistola a proiettile captivo. In alto (sia a che b) è visibile il momento in cui il chiodo si trova al massimo della sua penetrazione. In basso è mostrato il frammento di ossa craniche e tessuti che sono stati spinti in profondità dall'azione del chiodo, successivamente ritornato in sede (Geisenberger *et al.*, 2020).

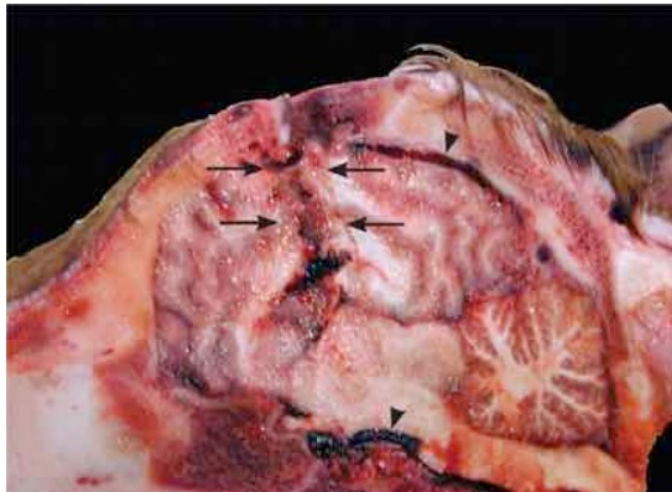


Figura 65: Sezione longitudinale della testa di un bovino (*Bos taurus*). È indicato con le frecce il tramite del colpo di una pistola a proiettile captivo penetrante (Martinelli, 2016).

LA DIAGNOSI MEDICO-LEGALE

La diagnosi medico-legale si basa sullo studio del sito di ritrovamento di un cadavere animale, sulla valutazione anatomo-patologica delle lesioni, sulla determinazione della direzione e distanza e di sparo, sul numero di colpi esplosi e sul tipo di arma e munizionamento utilizzati. Per poter ottenere tali informazioni il patologo veterinario si avvale della pratica della necropsia (o autopsia) medico-legale, della diagnostica per immagini e di una diagnostica di laboratorio specializzata, mirata alla rilevazione e all'analisi dei residui di sparo e al riconoscimento dell'arma sulla base di alcune caratteristiche distintive.

La Medicina Forense Veterinaria è una disciplina relativamente recente, che si occupa della gestione delle questioni legali relazionate agli atti di crudeltà nei confronti degli animali uccisi in violazione della legge. In Italia, le attività relative alla Medicina Forense Veterinaria vengono eseguite in via prioritaria presso gli Istituti Zooprofilattici Sperimentali, coordinati dal Centro di Referenza Nazionale per la Medicina Forense Veterinaria (IZS di Lazio e Toscana), nonché presso le Facoltà di Medicina Veterinaria e grazie al supporto del Gruppo Italiano di Patologia Forense Veterinaria e della Società Italiana di Scienze Forensi Veterinarie. Data la variabilità delle circostanze in cui un Medico Veterinario è chiamato a intervenire, risulta di primaria importanza la collaborazione interdisciplinare con figure professionali appartenenti all'area tecnico-scientifica, quali genetisti, tossicologi, zoologi, esperti di balistica, ma anche all'area giuridica, quali magistrati, avvocati e Forze dell'Ordine. Il Medico Veterinario, in uno dei ruoli previsti per legge, è perciò chiamato a indagare e a fornire accertamenti al fine di individuare la causa della morte dell'animale (una ferita d'arma da fuoco, un avvelenamento, *etc.*), il meccanismo della morte (emorragia, lesione traumatica cerebrale *etc.*), la categoria dell'evento (cause patologiche naturali, cause colpose, dolose, *etc.*)

e l'epoca della morte, ovvero il tempo intercorso tra la morte dell'animale e il suo ritrovamento (IZSVE, 2021; Ministero della Salute, 2018).

Il tema dei diritti degli animali e della loro tutela è in continua evoluzione e la legislazione italiana è stata recentemente integrata con nuove disposizioni. L'emanazione della Legge 20 luglio 2004 n. 189 "Disposizioni concernenti il divieto di maltrattamento degli animali, nonché di impiego degli stessi in combattimenti clandestini o competizioni non autorizzate" introduce, tra le altre disposizioni, alcuni nuovi tipi di reati (art. 544 c.p.). Dai dati forniti dal Rapporto Zoomafia 2020, il reato più frequente si attesta quello di maltrattamento (32,66% del totale dei 7.115 procedimenti analizzati), al quale seguono l'uccisione (32,10%), i reati venatori (15,87%), l'abbandono e la detenzione in condizioni incompatibili con la loro natura (14,53%) e altri.

In caso di uccisione animale il primo intervento del Medico Veterinario è il sopralluogo sulla scena del crimine, a cui seguono la raccolta delle prove concernenti il reato, l'analisi delle stesse e l'esame necroscopico della vittima, che deve essere attuato secondo le Linee Guida nazionali promosse dal Ministero della Salute nel 2018. In tal modo, le procedure e i criteri metodologici sono comuni e il più possibile standardizzati. La necroscopia ha lo scopo di identificare univocamente la vittima, provvedere all'interpretazione e alla correlazione dei fatti e delle circostanze relative alla morte, evidenziare i fattori che hanno determinato le lesioni, nonché recuperare, identificare e conservare eventuali reperti e ulteriori fonti di prova (IZSVE, 2021).

5.1 – LA NECROSCOPIA FORENSE

La necropsia forense consiste nelle operazioni di ispezione esterna del cadavere e di dissezione del corpo dell'animale, eseguite in strutture opportunamente attrezzate per le finalità di patologia forense e avvalendosi di adeguate tecniche, allo scopo di distinguere gli aspetti fisiologici da quelli patologici e di stabilire, attraverso questi ultimi, le cause della morte e le correlazioni patogenetiche che hanno connotato il decorso morboso (Ministero della Salute, 2018). Il patologo veterinario che esegue tale esame è inoltre responsabile dell'accettazione del reperto, dei contatti con i richiedenti e della custodia giudiziaria del materiale inviato nel caso esso sia accompagnato da sequestro giudiziario, delle eventuali indagini diagnostiche, nonché della refertazione finale. Il referto rappresenta l'atto finale del lavoro del patologo veterinario e contiene tutte le informazioni raccolte durante l'esame del cadavere, annotate tramite appositi moduli (Mod. A1-7) che comprendono il segnalamento (specie, razza, sesso, età *etc.*), la valutazione dello stato nutrizionale dell'animale, delle condizioni fisiche, delle modificazioni tanatologiche immediate o consecutive, biotiche o abiotiche (*livor mortis*, *rigor mortis*, fenomeni di decomposizione, eventuale presenza di entomofauna *etc.*), nonché dell'ambiente di ritrovamento del cadavere in caso di sospetto maltrattamento ed eventuali richieste di intervento. Segue la descrizione della scena del crimine e una scheda per ogni campione raccolto sul campo e il verbale di inizio operazioni peritali. Ogni campione destinato alle analisi genetiche deve essere raccolto, campionato e conservato secondo le Linee Guida (Ministero della Salute, 2018).

La determinazione della sola causa della morte nei casi di lesioni d'arma da fuoco è infatti insufficiente e non può rispondere a tutte le questioni di implicazione legale sollevate in questo tipo di situazione. Oltre al referto dell'esame necroscopico il patologo deve fornire informazioni e adeguata documentazione delle lesioni causate dal passaggio del proiettile ed essere a conoscenza della presenza di prove balistiche esterne al cadavere, che devono essere

raccolte prima della conduzione dell'esame *post mortem*. Prima di procedere con la manipolazione della carcassa deve essere sviluppato un piano operativo che tenga conto della migliore sequenza per la raccolta delle prove (Brooks, 2018; De Nonno *et al.*, 2012).

La manipolazione del corpo dovrebbe essere ridotta al minimo nelle fasi iniziali, almeno finché non sia evidenziata e documentata la posizione di proiettili, pallini o elementi del munizionamento non infissi e che potrebbero essere altrimenti dispersi. Alcuni autori suggeriscono, ove possibile, di eseguire una radiografia ancor prima di rimuovere il cadavere dall'involucro in cui è contenuto (Bradley-Siemens e Brower, 2016; Brooks, 2018).

L'esame esterno del cadavere prevede poi un'accurata documentazione fotografica dell'intera carcassa, delle lesioni visibili e di qualsiasi indizio attinente al caso. È necessario eseguire una serie di radiografie in diverse proiezioni che permettano di localizzare la presenza di proiettili ritenuti e frammenti o addirittura, in alcuni casi, il tramite del proiettile. Tali immagini possono fornire una prima indicazione circa il tipo di arma e di munizione utilizzato (*e.g.* arma ad aria compressa, fucile da caccia caricato con pallini o a carica unica *etc.*) sia perché in alcuni casi è possibile apprezzare la morfologia del proiettile, sia mediante l'osservazione di alcuni elementi caratteristici di tali ferite. Ad esempio, un proiettile .22 che colpisce un osso a bassa velocità produce verosimilmente una frattura scheggiata con frammenti radiopachi di diverse dimensioni, mentre un proiettile che possiede un maggiore potenziale lesivo che raggiunge lo stesso osso ad alte velocità, è probabile che si disintegri con uno schema di frammentazione tipico, noto come *lead snowstorm* (Figure 67 e 68). La separazione dell'incamiciatura in rame dal nucleo in piombo di un proiettile da caccia può determinare la ritenzione della stessa all'interno della carcassa, riconoscibile per la sua particolare morfologia mostrata in Figura 66 (Munro e Munro, 2008).

Le nuove tecniche di *digital imaging* come la TAC (tomografia assiale computerizzata), sono oggi una tecnologia sempre più diffusa e, sebbene abbia circa le stesse limitazioni della radiografia per quanto riguarda la visualizzazione dei tessuti molli, offre un maggior numero

di informazioni e permette una migliore localizzazione tridimensionale dei proiettili e dei
tramiti prima dell'esame necroscopico (Brooks, 2018; Amadasi *et al.*, 2011).



Figura 66: Radiografia di un gufo (*Asio* spp.) con una ferita perforante causata da un proiettile a frammentazione. Le strutture radiopache a forma di “ali di gabbiano” sono risultate essere porzioni dell'incamiciatura in rame del proiettile (Munro e Munro, 2008).



Figura 67: Radiografia dei tessuti molli circostanti le prime vertebre cervicali in un toro (*Bos taurus*). È visibile il fenomeno della c.d. *lead snowstorm*, compatibile con un proiettile a frammentazione ad alta velocità. Sulla destra sono visibili anche alcuni pallini (Munro e Munro, 2008).



Figura 68: Tramite di un proiettile per fucile con *lead snowstorm* nella regione toracica di un lupo (*Canis lupus*). Il proiettile procedeva in direzione ventro-dorsale cranio-caudale (Brooks, 2018).

Le ferite riconosciute come da arma da fuoco devono essere numerate e fotografate separatamente, procedendo in direzione cranio-caudale. Il tramite di tali ferite deve essere ispezionato in prima istanza durante l'esame esterno del cadavere, mediante l'ausilio di appositi specilli. Successivamente, verrà fotografato dopo l'apertura e tale documentazione deve essere accompagnata da una descrizione delle sue caratteristiche e delle strutture coinvolte (Brooks, 2018; Taccini *et al.*, 2006).

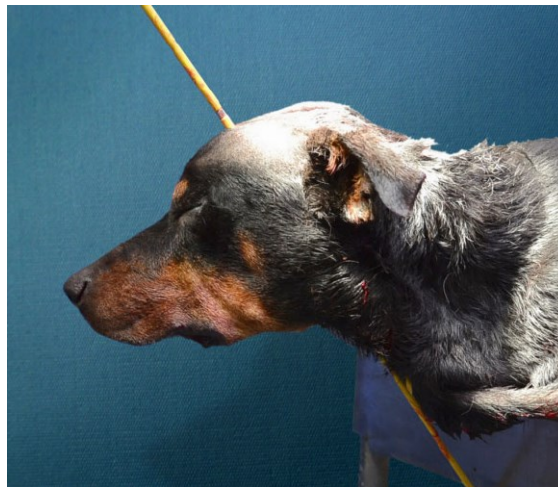


Figura 69: Individuazione del tramite di una ferita d'arma da fuoco in un cane mediante l'uso di uno specillo. In questo caso il foro d'ingresso si trova nella porzione dorsale sinistra del cranio e il foro d'uscita nella regione ventrale del collo, caudalmente al ramo della mandibola (Bradley-Siemens e Brower, 2016).

La determinazione della direzione del colpo e del tramite intracorporeo è di fondamentale importanza, ma è necessario prestare attenzione poiché tali specilli, se usati in maniera non corretta, possono alterare l'angolazione e la morfologia della cavità permanente (Bradley-Siemens e Brower, 2016). È preferibile in tal caso ritardare il posizionamento degli specilli fino all'esecuzione dell'esame interno del cadavere (Brooks, 2018).

Anche il riconoscimento dei fori di ingresso e di uscita del proiettile e la determinazione dell'eventuale presenza di ferite da reingresso è di rilevanza fondamentale. Le caratteristiche morfologiche distintive di tali lesioni sono riassunte nella Tabella 4:

Tabella 4: Riassunto delle principali caratteristiche dei fori d'ingresso e di uscita (Bradley-Siemens e Brower, 2016).

Foro d'ingresso	Foro d'uscita
Forma circolare o ellittica	Forma irregolare, con lacerazioni
Diametro generalmente minore, talvolta anche inferiore al calibro del proiettile	Diametro maggiore
Margini introflettenti	Margini estroflettenti
Presenza di pelo e materiale estraneo all'interno della ferita	Protrusione verso l'esterno dei tessuti sottostanti
Presenza di orletto ecchimotico-escoriativo	-
Presenza di tatuaggio, alone di affumicatura o residui in base alla distanza di sparo	-

Si precisa che tali informazioni sono generiche e didatticamente riassuntive. Per una trattazione più approfondita si rimanda al Capitolo 4.

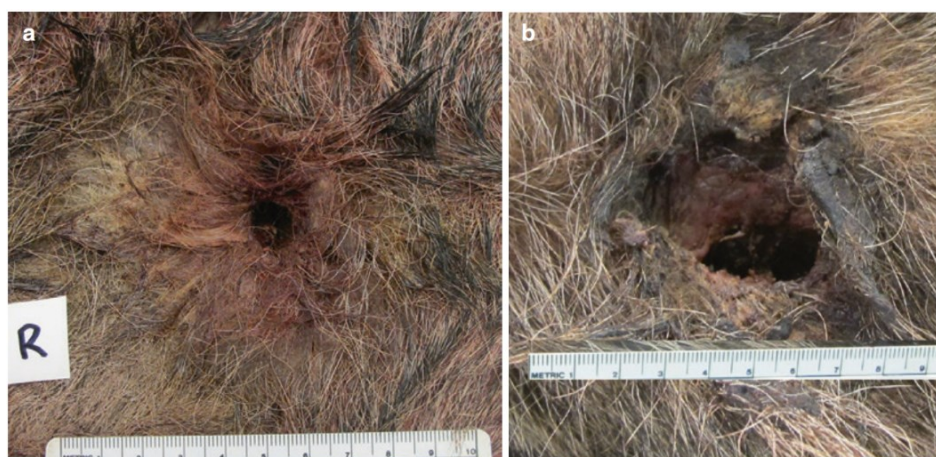


Figura 70: Comparazione tra il foro d'ingresso (a) e il foro d'uscita (b) di un proiettile per fucile che ha ucciso un lupo (*Canis lupus*). È evidente la differenza nelle dimensioni e nella morfologia delle due lesioni (Brooks, 2018).

È relativamente frequente assistere a casi di ferite d'arma da fuoco per i quali tuttavia non è presente sulla cute una ferita d'ingresso intatta e riconoscibile. Ciò può essere dovuto a predazione, decomposizione *post mortem* o altre circostanze. In assenza di questo elemento probatorio, l'interpretazione delle fratture ossee e della disposizione dei frammenti con

l'ausilio degli strumenti di *imaging* precedentemente descritti, può essere decisivo per l'identificazione della lesione e nella determinazione della direzione della traiettoria del proiettile (Bradley-Siemens e Brower, 2016).

Oltre al riconoscimento visivo, che può non essere del tutto attendibile, per effettuare una diagnosi differenziale tra foro d'ingresso e di uscita è possibile avvalersi anche di metodiche laboratoristiche specializzate come i test cromogenici, che verranno illustrati più avanti, o la quantificazione della diversa concentrazione di monossido di carbonio nei tessuti lesionati (Di Maio, 2016).

Dopo aver condotto l'esame esterno del cadavere è indispensabile procedere allo scuoiamento, per consentire la visualizzazione della cute e del sottocute ed evidenziare aree ecchimotiche o piccole ferite che altrimenti potrebbero non essere visibili a causa del mantello o del piumaggio (Ministero della Salute, 2018).



Figura 71: A destra: osservazione esterna del cadavere di un daino (*Dama dama*). A sinistra: osservazione dei tessuti sottocutanei in cui si rileva la presenza del trauma e del foro d'ingresso (per gentile concessione della Dott.ssa Cristina Marchetti).

L'esame interno del cadavere prevede poi l'osservazione e la rimozione di tutti gli organi interni, prestando particolare attenzione alle aree che presentano anomalie e all'eventuale ritrovamento di proiettili o frammenti all'interno di tessuti o cavità corporee (Taccini *et al.*,

2006). Tali reperti devono essere maneggiati con oggetti non metallici e non appuntiti, in modo da prevenire la formazione di artefatti e non intaccare rigature o altri segni identificativi (Brooks, 2018).

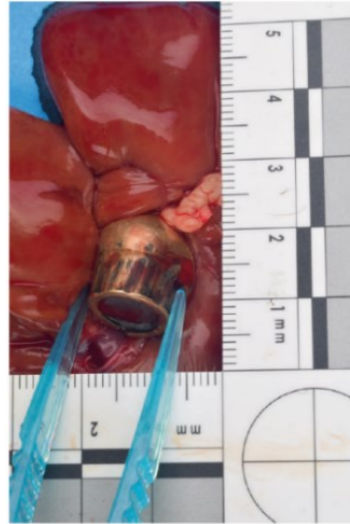


Figura 72: Rimozione di un proiettile .45 dal fegato mediante l'uso di una pinza in plastica (Brooks, 2018).

Una volta recuperato il corpo metallico si procede con un accurato esame visivo alla ricerca tracce biologiche o segni (Vinci e Rosa, 2007). Successivamente viene pesato, misurato, fotografato e tutte queste informazioni vengono documentate nel referto (Pomara e Fineschi, 2007). Tutti i corpi metallici ritrovati durante l'esame autoptico non devono essere ripuliti, ma riposti come tali all'interno di un sacchetto di carta e un contenitore rigido. Su ognuno dei contenitori deve essere apportato il numero del caso e l'identificativo della sede anatomica da cui è stato estratto (in genere codificato con una lettera alfabetica). I contenitori sigillati vengono consegnati al perito balistico che è tenuto a firmare una dichiarazione di ricevimento, secondo quanto previsto dalla catena di custodia delle prove e delle fonti di prova (Brooks, 2018; Linee Guida GIPF).

Può rendersi necessario effettuare degli esami collaterali sui tessuti nel punto di impatto del proiettile, se si sospetta che lo stesso possa aver attraversato o colpito un bersaglio intermedio prima di giungere all'animale oggetto d'indagine forense (Bradley-Siemens e Brower, 2016). I protocolli per la raccolta delle prove balistiche possono differire tra i diversi laboratori e tali metodiche devono essere concordate con il laboratorio forense. Alcune procedure includono l'escissione della ferita d'ingresso e del tessuto circostante nella sua interezza, nei limiti di un diametro prestabilito. La cute e i tessuti molli sottostanti devono essere adeguatamente trattati e conservati e verranno successivamente analizzati con il microscopio elettronico a scansione e la spettrometria a raggi X per osservare la qualità e la quantità residui al fine di determinare la distanza di sparo, come verrà illustrato più avanti. Esistono diverse tecniche per la raccolta delle prove: i granuli di polvere da sparo o le particelle di fuliggine ritrovate sul pelo e sulla cute possono, ad esempio, essere asportate con del nastro adesivo o tramite l'uso di appositi kit commerciali. Il pelo in corrispondenza dei fori di ingresso e di uscita deve essere asportato e conservato, come pure le sezioni di cute che presentano ferite da contatto o aloni di tatuaggio, che possono essere fissate in formalina e analizzate separatamente (Bradley-Siemens e Brower, 2016; Brooks, 2018). Una volta completata la necropsia, la carcassa deve essere riposta e conservata per tutta la durata delle indagini (Munro, 2008).

5.2 – IDENTIFICAZIONE DELL'ARMA E COMPATIBILITA'

Tra i reperti balistici che più spesso vengono ritrovati sulla scena del crimine compaiono alcune componenti della cartuccia che talvolta possono residuare dopo lo sparo. Anche gli elementi della cartuccia destinati ad essere espulsi (proiettili, pallini e borraggio) non necessariamente vengono ritrovati integri. La tipologia di residui di munizionamento che si possono rinvenire dipende sostanzialmente dalla tipologia di cartuccia impiegata: nel caso delle munizioni a carica unica, le parti che possono essere ritrovate sulla scena sono bossoli con la capsula d'innescio percossa, proiettili o parti di esso frammentate e, nel caso di impatti particolarmente traumatici, anche l'incamiciatura del proiettile che si è dissociata dal nucleo interno; nel caso di munizioni spezzate, oltre ai bossoli con la capsula percossa si possono ritrovare il borraggio o porzioni di esso, pallini o pallettoni più o meno deformati e loro frammenti. Solo saltuariamente possono essere rinvenute munizioni integre o addirittura parti dell'arma. Non sempre gli elementi ritrovati permettono, tuttavia, di risalire con certezza all'identificazione dell'arma utilizzata (Paniz, 2019; Vinci e Rosa, 2007).

Le impronte balistiche

L'identificazione dell'arma avviene attraverso lo studio e il confronto delle parti di munizionamento ritrovate sulla scena del crimine con l'arma sospettata (Bradley-Siemens e Brower, 2016; Paniz, 2019). Nelle fasi di movimento degli elementi meccanici dell'arma al momento dello sparo, infatti, si vengono a creare impronte caratteristiche e spesso ripetibili, definite impronte balistiche. Tali tracce si ritrovano sull'arma, sui bossoli e sui proiettili (De Matthaeis, 2017; Ugolini, 1978). Per questo motivo la modalità di estrazione dei corpi metallici dal cadavere è di fondamentale importanza ai fini dell'attendibilità delle impronte rilevate sugli stessi; è necessario infatti l'uso di una apposita pinza in materiale plastico o di una mano guantata, in modo da non creare involontariamente degli artefatti (Brooks, 2018).

Infine, tutti i proiettili, i frammenti e ogni altro componente della cartuccia, dopo essere stati prelevati avendo cura di evitare danneggiamenti, devono essere conservati in buste singole antiurto, opportunamente contrassegnate con i dati del caso e la sede anatomica di rinvenimento. I pallini da caccia devono essere prelevati in quantità sufficiente a misurarne il peso e il diametro medio (Linee Guida GIPF).

Non tutti i reperti balistici possiedono una sufficiente idoneità identificativa, ovvero la capacità di consentire l'identificazione dell'arma che lo ha prodotto con il maggior grado di accuratezza possibile. Esistono diversi protocolli riconosciuti dalla comunità scientifica per classificare il livello di compatibilità balistica, tra cui i più largamente diffusi sono quello dell'A.F.T.E. (*American Firearms and Toolmarks Examiners*) o dell'E.N.F.S.I. (*European Network of Forensic Science Institutes*) (Paniz, 2019).

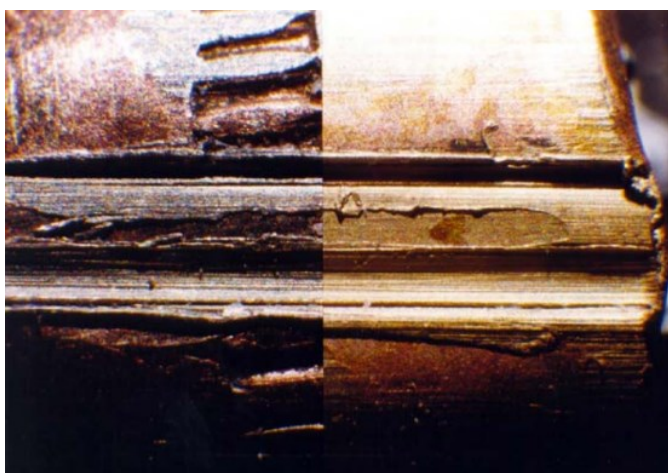


Figura 73: Esempio di comparazione positiva delle impronte di rigatura residue su un proiettile oggetto di indagine e un proiettile di confronto sparato con la stessa arma (De Mattheis, 2017).

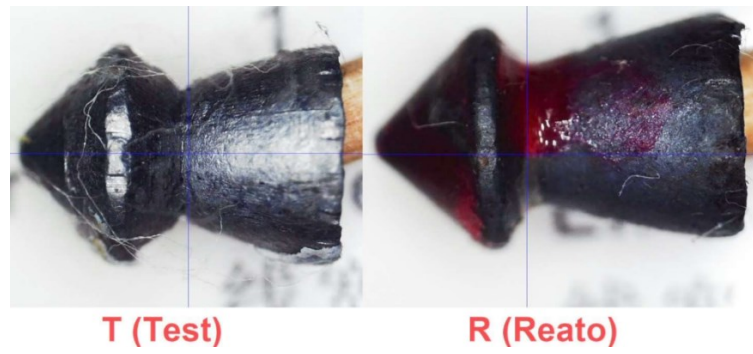


Figura 74: Comparazione balistica tra due proiettili tipo diavolo per fucile ad aria compressa prelevati in corso di necropsia forense in un caso di uccisione di un gatto (per gentile concessione della Dott.ssa Cristina Marchetti).

5.3 – I RESIDUI DI SPARO

5.3.1 – Definizione e classificazione dei residui di sparo

L'analisi dei residui di sparo è uno strumento essenziale della balistica forense e viene utilizzata per determinare la composizione, la quantità e la distribuzione del particolato generato dall'uso di un'arma da fuoco (Bettin, 2019).

Tali residui possono essere classificati in tre categorie:

- Residui dell'innesco
- Residui della combustione del propellente
- Segni lasciati dall'impatto dei corpi balistici proiettati

(Paniz, 2019).

Per avere la certezza che le tracce ritrovate siano effettivamente attribuibili a uno sparo è necessario considerare contemporaneamente più elementi: la composizione chimica dei residui in esame, la loro morfologia e la distribuzione sul bersaglio (Bettin, 2013).

I residui dell'innesco

I residui dello sparo (o *gunshot residues*, GSR) si formano nel momento in cui il percussore dell'arma colpisce l'innesco, che nella maggior parte dei casi oggi è realizzato con miscele esplosive di stivato di piombo, solfuro di antimonio e nitrato di bario (Dalby *et al.*, 2010). Nel corso della detonazione dell'innesco vengono raggiunte temperature tra i 1500 e i 2000 °C, sufficienti a determinare la sublimazione di alcuni elementi metallici contenuti nella miscela esplosiva. I residui sono dunque le particelle originate dalla solidificazione di tali vapori e possiedono una composizione definita, una caratteristica forma sferica e un diametro compreso tra 0,1 e 10 µm (Figura 75). In determinate situazioni i residui possono contenere anche quantità ridotte di elementi provenienti dal proiettile, dal bossolo e dalla canna, nonché granuli di polvere incombusta, tracce di grasso, lubrificante o altri elementi

(Dalby *et al.*, 2010; Bettin, 2019). Al momento dello sparo i residui si diffondono come una nube nell'ambiente circostante, depositandosi sull'arma, sulle mani dell'operatore e su tutto ciò che si trova nelle immediate vicinanze (Paniz, 2019).

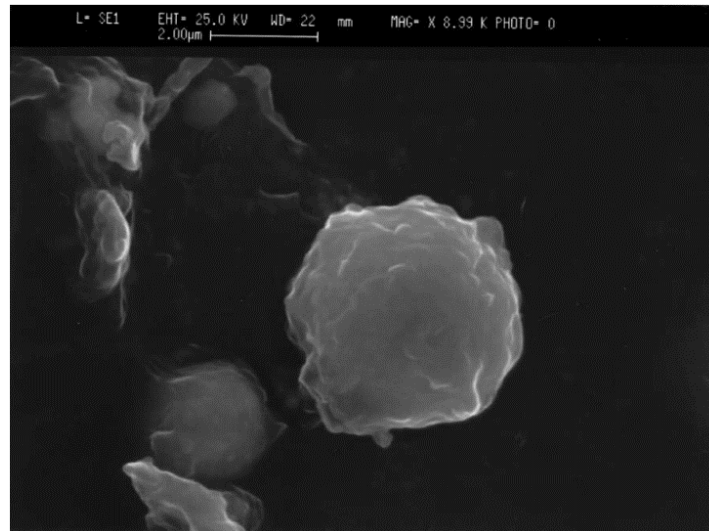


Figura 75: Immagine ottenuta tramite microscopia elettronica a scansione (SEM) di una particella GSR (Romolo e Margot, 2001).

Mediante l'uso di appositi kit commerciali o del nastro adesivo è possibile raccogliere dei campioni di materiale, che verranno analizzati grazie a moderne metodiche di indagine, tra le quali la più diffusa è la microscopia elettronica a scansione con microsonda a raggi X. All'analisi chimica quindi si aggiunge il criterio di riconoscimento legato alla combinazione degli elementi presenti nelle singole particelle e alla forma delle particelle stesse (Paniz, 2019). Le particelle di residui di sparo possono essere classificate in due categorie: univoche (o caratteristiche) – le quali presentano una composizione chimica esclusiva dei residui di sparo – e indicative – che pur essendo compatibili possono provenire da altre fonti (Paniz, 2019). Uno studio di Schwoeble ed Exline ha ristretto l'insieme delle particelle univoche alla sola combinazione ternaria di piombo, antimonio e bario, individuando una nuova classificazione dei residui di sparo, mostrata in Tabella 5:

Tabella 5: Classificazione delle particelle residuo di sparo (Schwoeble ed Exline, 2000).

Univoche	Indicative
Piombo, Antimonio, Bario	Piombo, Antimonio
	Piombo, Bario
	Antimonio, Bario
	Antimonio
	Bario
	Bario, Calcio, Silicio (con tracce di zolfo)

Questo sistema di classificazione tuttavia presenta dei limiti, poiché si applica soltanto a cartucce con bossolo in ottone e innesco a base di piombo e altri elementi. In tempi recenti è diventato sempre più frequente, per motivi ecologici, l'uso di inneschi “*lead-free*” che non producono nessuna delle particelle univoche annoverate nelle precedenti classificazioni (Paniz, 2019).

Inoltre, sussiste uno stretto rapporto tra la quantità e le dimensioni di residui di sparo rinvenibili e il tempo trascorso fra sparo e prelievo. Le particelle di dimensioni maggiori, che sono quelle più facilmente campionabili ed analizzabili, svaniscono più rapidamente rispetto a quelle di dimensioni minori e sembrano permanere sui tessuti (e quindi indicativamente anche sul pelo animale) per non più di 24 ore (Paniz, 2019; Andrasko e Maehly, 1977).

I residui della combustione del propellente

Quando avviene lo sparo di una cartuccia, gli oggetti nelle vicinanze possono venire a contatto con i residui prodotti dalla deflagrazione della polvere da sparo, nonché con alcuni granuli di polvere incombusti. Questo fenomeno ha generalmente un raggio d'azione circoscritto a mezzo metro per le armi corte e un metro per le armi lunghe (Paniz, 2019), di gran lunga più frequenti nei casi di Medicina Forense Veterinaria. Nel caso particolare dei revolver, che possiedono una discontinuità tra il tamburo contenente le camere di cartuccia

e la canna, i gas di sparo possono trafilare e la dispersione dei residui può avvenire anche in direzione ortogonale all'asse della canna (Paniz, 2019). La deflagrazione della polvere da sparo può provocare diversi effetti in base alla distanza della bocca dell'arma dal bersaglio, illustrati e definiti come aloni di bruciatura, affumicatura e di tatuaggio nel Capitolo 4. Oltre una certa distanza, questi effetti non sono più visibili (Zagra *et al.*, 2011).

Segni lasciati dall'impatto dei corpi balistici proiettati

La tipologia di queste tracce dipende sostanzialmente dalle caratteristiche fisiche del proiettile e del bersaglio, nonché dalla velocità e l'orientazione del proiettile stesso al momento dell'impatto. Generalizzando, si possono formulare con estrema sintesi due considerazioni preliminari. In primo luogo, l'impatto del proiettile determina una maggiore deformazione all'aumentare della velocità dello stesso e, dunque, all'aumentare dell'energia cinetica trasferita durante l'impatto (Paniz, 2019; Kneubuehl *et al.*, 2011). Inoltre, sul proiettile e sul bersaglio avrà luogo una maggiore o minore deformazione sulla base della relativa resistenza meccanica e solidità (Paniz, 2019).

5.3.2 – Rilevazione dei residui e metodi analitici

I metodi utilizzati per le analisi dei residui utili per stimare la distanza di sparo sono molteplici, ma possono essere suddivisi didatticamente in tre categorie:

- Metodi visivi
- Metodi cromogenici (o chemiografici)
- Metodi strumentali

(Bettin, 2019).

Le analisi condotte utilizzando i metodi visivi si svolgono a occhio nudo o con strumenti di ingrandimento di vario tipo, quali microscopi ottici, fotografie con luce polarizzata, a infrarossi *etc.* e sono precursori di ogni altro metodo di indagine (Bettin, 2019).

I metodi cromogenici sono così denominati poiché sfruttano particolari reazioni chimiche colorimetriche e si basano sull'analisi della morfologia e delle dimensioni dell'alone di residui depositati dallo sparo. L'applicazione mirata dei reagenti rende evidenti all'occhio umano la presenza di tracce altrimenti invisibili (Bettin, 2019; Dalby *et al.*, 2010). Le Linee Guida E.N.F.S.I. (*European Network of Forensic Science Institutes*) riportano numerosi metodi cromogenici per la visualizzazione dei GSR e la scelta deve ricadere su quello più appropriato per l'identificazione della sostanza chimica di cui è composta la munizione oggetto di indagine (Marchetti, 2017).

Le analisi strumentali sono il mezzo d'indagine più sensibile attualmente disponibile. A titolo di esempio, le analisi strumentali più conosciute annoverano la spettrometria ad assorbimento atomico (AAS), il microscopio a scansione elettronica con sonda a dispersione di raggi X (SEM/EDX) e l'analisi per attivazione neutronica (NAA) (Bettin, 2019; Romolo e Margot, 2001).

I metodi cromogenici

In Medicina Forense Veterinaria è possibile ricorrere all'utilizzo di metodi cromogenici con il fine di discriminare tra una lesione d'arma da fuoco da una d'arma bianca o altro corpo penetrante, riconoscere il foro d'ingresso e la natura del munizionamento utilizzato (entro una distanza di circa 80 cm), riconoscere la direzione di tiro tramite la visualizzazione della morfologia dell'alone di residui e ipotizzare la distanza di sparo. La presenza del mantello non sembra essere vincolante ai fini della ricerca, in quanto il flusso turbolento dell'aria al

momento dell'arrivo del proiettile tende a spostare il pelo e permette ai residui di depositarsi sulla cute (Marchetti, 2017).

I metodi cromogenici più diffusi comprendono il metodo di Griess modificato, il metodo con rodizonato di sodio e il metodo con l'acido rubeanico (Bettin, 2019).

Il metodo di Griess modificato rileva i residui della polvere da sparo combusta o parzialmente combusta entro una distanza di circa un metro dalla volata della canna. Vengono evidenziati in particolare i nitriti, attraverso una reazione colorimetrica che mostra un colore aranciato in caso di risultato positivo (Bettin, 2019).

Il metodo con rodizonato sodico (o acido rodizonico dissociato) è ormai una metodica consolidata ed economica, utilizzabile anche in presenza di pelo animale, e che può essere utilizzata per distanze di sparo superiori (Marchetti, 2017; Bradley-Siemens e Brower, 2016). Vengono rilevate le tracce di piombo con una reazione chimica che determina un viraggio di colore dei residui verso il rosa (Bettin, 2019).



Figura 76: A sinistra, test sperimentale con rodizonato sodico effettuato su un cuscino mediante alcuni spari diretti (in basso) e uno sparo tangenziale effettuato da un revolver, tenuto vicino al cuscino. TB: sfogo del tamburo, VOL: sfogo della volata. A destra, dettaglio di uno dei fori di ingresso con una reazione spot (colore viola) di conferma (Bettin, 2019).

Le principali applicazioni di questo metodo sono sostanzialmente tre: in primo luogo, consente di stimare la distanza di sparo valutando l'alone di affumicatura lasciato sulla cute del bersaglio; inoltre, è possibile effettuare una diagnosi differenziale tra un foro d'ingresso

e un foro d'uscita grazie alla presenza dell'alone di detersione soltanto nel primo caso; in ultimo, il rilievo della presenza di piombo fornisce informazioni riguardo alla frammentazione di un proiettile a seguito dell'impatto con bersagli intermedi. Come anticipato in precedenza, è possibile che questo metodo non rilevi alcuni tipi di munizioni non contenenti piombo (Bettin, 2019).

Il metodo con l'acido rubeanico (o ditiossamide) è, infine, utilizzato per rilevare le tracce di rame, che si presentano di colore grigio-verde. Questo elemento è originato quasi esclusivamente dal proiettile, in quanto la polvere da sparo e le miscele esplosive contenute nell'innesco ne sono prive. È stato ipotizzato, tuttavia, che lo sparo possa determinare l'asportazione di elementi di rame dal bossolo, costituito in genere in ottone (una lega di rame e zinco) (Bettin, 2019; Romolo e Margot, 2001).

L'esecuzione delle analisi prevede l'applicazione dei reagenti chimici direttamente sulla superficie da esaminare (metodo diretto) o mediante l'utilizzo di un foglio di riscontro, su cui vengono trasferite tracce delle sostanze da analizzare e sul quale si evidenzierà il viraggio colorimetrico ricercato se il test risulta positivo. Esistono inoltre dei sistemi atti ad esaltare i risultati in determinate reazioni, per esempio l'idrolisi dei residui incombusti per aumentare la sensibilità del metodo di Griess modificato (Bettin, 2019).

Questi tre metodi di prova possono anche essere effettuati in sequenza, per ottenere il maggior numero di informazioni possibili. Qualora si volesse applicare il metodo di Griess per la rilevazione dei nitriti, o il metodo dell'acido rubeanico per il rame, è necessario che questi vengano eseguiti prima del test con rodizonato sodico, poiché altrimenti si potrebbero verificare delle interferenze (Bettin, 2019).



Figura 77: Il mantello attorno ai fori d'entrata del proiettile non viene interessato dalle variazioni tintoriali del metodo cromogenico (a) e il foglio di riscontro ha assorbito le soluzioni mantenendo una colorazione neutra (b). Sulla cute intorno al foro d'ingresso (c), invece, è visibile un marcato alone arancione. Munizione *slug* in piombo calibro 12 Brenneke (per gentile concessione della Dott.ssa Cristina Marchetti).

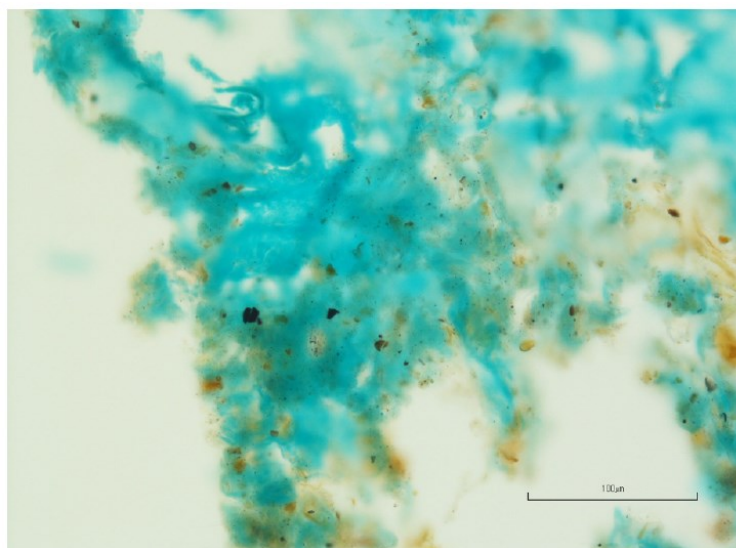


Figura 78: Studio al microscopio ottico (ingrandimento 4x) di una sezione istologica di cute prelevata attorno al foro d'entrata di un proiettile in piombo. Sono visibili alcune formazioni granulari di colore nero su fondo verde, compatibili con i residui di piombo rilevati dal metodo con rodizonato di sodio (Marchetti, 2017).

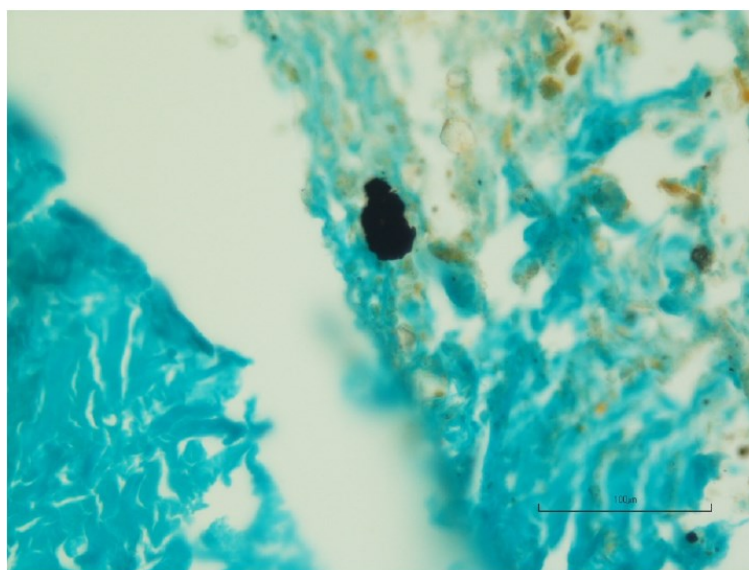


Figura 79: Ingrandimento 10x dell'immagine precedente. La formazione nera di forma irregolare è una particella in piombo a cui si è legato il rodizonato di sodio (Marchetti, 2017).

TOSSICITÀ SECONDARIA LEGATA AD ALCUNI TIPI DI MUNIZIONAMENTO

Numerosi studi condotti in diversi contesti ambientali hanno dimostrato come l'utilizzo di alcuni tipi di munizioni contenenti metalli pesanti possa avere effetti negativi sulla salute umana, animale e sull'ambiente. Tra questi elementi, il piombo è sicuramente il più conosciuto, essendo al giorno d'oggi oggetto di restrizioni normative per quanto concerne il munizionamento utilizzato durante l'attività venatoria in alcuni ecosistemi particolarmente a rischio (ISPRA, 2012).

Il piombo (Pb) è un elemento metallico presente in natura in forma inorganica e organica ed è ampiamente utilizzato dall'uomo in molteplici contesti grazie alle sue proprietà fisico-chimiche. Le sue caratteristiche fisiche di malleabilità e deformabilità lo rendono particolarmente adatto in termini balistici alla fabbricazione di munizioni, anche grazie al suo basso costo come materia prima. La crescente preoccupazione per la pericolosità di questo metallo per la salute umana, animale e per l'ambiente, ha portato negli ultimi decenni a una serie di provvedimenti volti a vietarne o limitarne l'utilizzo in molti settori produttivi, come la produzione di vernici, benzine, giocattoli, contenitori per la conservazione di alimenti, tubature, pesi da pesca *etc.* (ISPRA, 2012). Inoltre, in diversi Paesi occidentali è stato proibito l'utilizzo di munizioni contenenti piombo per la caccia nelle zone umide in ottemperanza a un accordo internazionale per la conservazione degli uccelli acquatici (AEWA, *African-Eurasian Migratory Waterbird Agreement*), stipulato all'Aja nel 1996 e recepito dal nostro ordinamento giuridico. Si è sviluppato successivamente un crescente interesse da parte della comunità scientifica sulle implicazioni per la salute umana e la conservazione degli ecosistemi terrestri. Il campo di indagine è stato esteso, oltre che all'avifauna nelle zone umide, anche a numerose specie di uccelli esposti al rischio di avvelenamento da piombo in seguito

all'ingestione dei pallini utilizzati per la caccia della piccola selvaggina o di frammenti di proiettili impiegati per abbattere gli ungulati selvatici (EFSA, 2010; Guitart *et al.*, 2003).

Il saturnismo negli animali e i rischi per la salute umana

L'esposizione al piombo e ai suoi composti avviene principalmente attraverso l'ingestione, più raramente l'inalazione e, per quanto concerne la forma organica, attraverso il contatto con la cute (Bertini e Menozzi, 2010). Le conseguenze dell'intossicazione da piombo sulla salute sono note fin dall'antichità con il termine "saturnismo". Nel caso di un'intossicazione cronica, i cui effetti sono legati a un'esposizione protratta per lunghi periodi, i sintomi possono essere assenti o talmente aspecifici da non destare alcun sospetto sulla possibile causa (EFSA, 2010). L'assorbimento del piombo sembra essere meno efficiente con il progredire dell'età dell'individuo, ma una volta entrato nel circolo sanguigno si distribuisce rapidamente in tutti i tessuti, concentrandosi particolarmente nei globuli rossi, nei reni, nell'encefalo e nelle ossa, all'interno delle quali si accumula e permane per lunghi periodi. Ben nota è la tossicità nervosa, renale ed emopoietica del piombo. La piombemia, ovvero la concentrazione di tale elemento nel sangue, è un valido identificatore dello stato tossimico del soggetto (Bertini e Menozzi, 2010).

Le modalità attraverso le quali gli animali possono assumere il piombo diffuso nell'ambiente variano a seconda dell'ecologia alimentare delle diverse specie. Nei mammiferi (eccetto l'uomo) sono noti solamente casi sporadici di saturnismo, principalmente a causa di inalazione di polveri, assunzione di acqua contaminata o ingestione di vernici o benzine. Altre situazioni a rischio di intossicazione da piombo negli animali sono il pascolo in aree inquinate o limitrofe a zone industriali e campi di tiro (ISPRA, 2012; EFSA, 2010). Per quanto riguarda gli uccelli, sono state descritte due principali modalità di assunzione del piombo metallico di origine venatoria: l'assunzione primaria prevede l'ingestione diretta del munizionamento disperso nell'ambiente; l'assunzione secondaria invece è data dall'ingestione del

munizionamento contenuto nel corpo delle specie predate, oppure dall'ingestione di carni di animali che presentano elevate concentrazioni di piombo nei loro tessuti (ISPRA, 2012). Nel caso dell'avifauna acquatica, l'ingestione di pallini in piombo deriva da un comportamento etologico tipico di tali specie, che prevede l'assunzione di sassolini (denominati *grit* o *gastroliti*) per favorire la frantumazione del cibo all'interno dello stomaco muscolare, oppure perché scambiati per semi di piante acquatiche. L'abrasione meccanica per lo sfregamento dei pallini tra loro o contro altri gastroliti, combinata con l'acidità gastrica, favorisce l'erosione e di conseguenza l'assorbimento del piombo. Si stima che bastino solamente due o tre pallini di piombo per causare un'intossicazione acuta in un germano reale, mentre per specie più piccole, come l'alzavola, la quantità necessaria è persino inferiore. Anche i Passeriformi e molti uccelli granivori terrestri (Galliformi, Columbiformi *etc.*) sono particolarmente esposti all'ingestione accidentale di pallini dispersi dell'ambiente (ISPRA, 2012; Komosa e Kitowski, 2008).

Per quanto riguarda l'assunzione secondaria, le specie più esposte al rischio di saturnismo sono gli uccelli da preda che si nutrono di carcasse (avvoltoi, nibbi, Corvidi, poiane, aquile *etc.*). Queste specie tendono a ingerire grosse porzioni di cibo senza discernimento, dunque con cartilagini, frammenti di ossa e possibilmente anche corpi estranei come pallini o persino i proiettili di maggiori dimensioni utilizzati per la caccia agli ungulati. Il rischio per gli uccelli necrofagi risiede anche nella pratica dei cacciatori di abbandonare nei luoghi di caccia i visceri eliminati dagli animali abbattuti. I rapaci che si nutrono esclusivamente di prede vive, invece, sono esposti al rischio di saturnismo qualora catturino animali che sono stati feriti, ma non uccisi, con colpi d'arma da fuoco (Komosa e Kitowski, 2008). Gli effetti del piombo su queste specie sono particolarmente devastanti, in quanto si tratta di animali longevi e con un tasso riproduttivo molto basso, particolarmente esposti al rischio di intossicazione cronica a causa del loro etogramma e delle attitudini alimentari (ISPRA, 2012).

Un'ulteriore fonte di assunzione secondaria riguarda animali che si nutrono di organismi che possiedono elevate concentrazioni di piombo non metallico nei loro tessuti. Ad esempio, i gamberi e altre specie a contatto con il sedimento sul fondo delle zone umide possono determinare l'intossicazione degli uccelli che se ne nutrono, con una frequenza tutt'altro che sporadica (ISPRA, 2012; Buenz, 2016). Questa forma di avvelenamento può coinvolgere anche l'uomo (Guitart *et al.*, 2003; EFSA, 2010).

Uno studio svedese segnala inoltre la pericolosità dell'alimentazione per i cani da caccia con gli scarti della macellazione della selvaggina, contenenti pallini o frammenti di piombo in quantità ingenti (Høgåsen *et al.*, 2016). Negli animali abbattuti con munizioni contenenti piombo è possibile, infatti, riscontrare la presenza di frammenti di piombo metallico nei tessuti attorno al tramite della ferita. Queste parti vengono normalmente scartate e non sono destinate al consumo umano, ma una certa quantità di frammenti può essere comunque assunta accidentalmente. La contaminazione da parte di piombo metallico nella carne di selvaggina cacciata è attualmente oggetto di numerosi studi volti a stimare l'entità e la pericolosità dell'ingestione di tale elemento e la probabilità di una conseguente intossicazione nell'uomo (Qvarfort e Holmgren, 2012; EFSA, 2010). È stato dimostrato infatti che i pallini e, in particolar modo, i proiettili contenenti piombo tendono a disgregarsi e a disperdere frammenti (Figura 80), anche di dimensioni tali da non essere percepibili durante le fasi di preparazione e consumo degli alimenti (Menozzi *et al.*, 2019).

Il piombo metallico, in particolar modo se legato ad altri elementi come accade nelle munizioni, è difficilmente assorbibile dall'organismo come tale e viene espulso pressoché inalterato con le feci. I frammenti di piccole dimensioni, tuttavia, offrono una maggior superficie relativa all'azione dei succhi gastrici, con un conseguente maggior assorbimento del piombo in forma ionica a livello intestinale (ISPRA, 2012; CDC, 2005). Tuttavia, anche le parti che contengono frammenti di grosse dimensioni o interi pallini, che normalmente verrebbero scartate dal consumatore al momento del pasto, possono contribuire alla

contaminazione dei cibi durante le fasi di preparazione e cottura, in quanto le alte temperature e ingredienti acidi favoriscono la dissoluzione del piombo (Thomas *et al.*, 2020; EFSA, 2010). Un'ulteriore fonte di rischio per l'uomo è data dall'assunzione di carni o frattaglie di uccelli selvatici a loro volta vittime di saturnismo (ISPRA, 2012).



Figura 80: Radiografia in proiezione latero-laterale di un cinghiale (*Sus scrofa*) ucciso con un munizionamento contenente piombo. La frammentazione del proiettile ha dato origine al fenomeno della c.d. *lead snowstorm*. Il foro d'ingresso è indicato con un punto bianco a livello della spalla sinistra, mentre i numeri in giallo rappresentano i punti di campionamento e la relativa concentrazione di piombo riscontrata nei tessuti (Menozzi *et al.*, 2019).

Numerosi studi sperimentali hanno cercato di stabilire l'effettiva biodisponibilità del piombo metallico derivante da frammenti o pallini da caccia contenuti nelle carni (Qvarfort e Holmgren, 2012) e la soglia di rischio derivante da altre vie di esposizione, con la conclusione che l'assunzione di piombo rappresenta un rischio per la salute umana anche a dosi molto basse (ISPRA, 2012). Sulla base di questi dati, il Dipartimento per il Controllo e la Prevenzione delle Malattie (CDC – *Centers for Disease Control and Prevention*) ha

progressivamente abbassato nel corso degli anni la soglia di allarme per i livelli di piombemia, da 40 µg/dl nel 1971 a 10 µg/dl nel 1991 (CDC, 2005). È da precisare che per i bambini e per le donne in gravidanza e in allattamento non esiste una soglia minima di sicurezza; pertanto, sono in atto numerosi sforzi multidisciplinari per diminuire il rischio di esposizione anche per le fasce di popolazione più sensibili. In ultimo, secondo l'*International Agency for Research on Cancer* (IARC), il piombo è stato classificato nel gruppo 2B, ovvero tra le sostanze che hanno una probabile azione cancerogena per l'uomo (ISPRA, 2012).

Il piombo nelle munizioni

A livello internazionale esistono diversi atti normativi o di indirizzo che prevedono l'eliminazione del piombo da determinati prodotti o processi industriali (ISPRA, 2012; Buenz, 2016). Per quanto concerne espressamente il superamento dell'uso del piombo nella costituzione delle munizioni da caccia, il 25 gennaio 2021 è stato pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale il Regolamento (UE) 2021/57 che impone una restrizione all'uso del piombo e dei relativi composti nelle munizioni utilizzate per attività di tiro all'interno di zone umide. Per quanto riguarda il munizionamento spezzato esistono valide alternative ai pallini in lega di piombo e, tra di esse, la più accreditata sembra essere l'utilizzo di pallini in acciaio (Mori, 2003; Thomas *et al.*, 2020). Le diverse proprietà fisiche di questi materiali, tuttavia, comportano alcune complicazioni: la maggior durezza dell'acciaio determina una precoce usura delle canne dei fucili e una minor deformabilità al momento dell'impatto, che può aumentare la possibilità di fuoriuscita del proiettile dal corpo dell'animale e la probabilità di ferimento senza uccisione. Inoltre, un pallino più duro può rimbalzare più facilmente contro superfici come alberi o rocce (Mori, 2003).

Per quanto riguarda il munizionamento a carica unica, la maggior parte dei calibri moderni non prevede più, al giorno d'oggi, l'utilizzo di piombo esposto. È presente, infatti, una

camiciatura in rame che protegge il nucleo in piombo dall'abrasione della rigatura della canna. I proiettili di tipo monolitico in lega diversa dal piombo (generalmente in rame) stanno avendo negli ultimi tempi una diffusione sempre maggiore (Thomas *et al.*, 2020). Le prestazioni balistiche e i costi di tale metallo, tuttavia, differiscono enormemente rispetto alle comuni palle in piombo utilizzate tradizionalmente in ambito venatorio (Mori, 2003).

L'uranio impoverito e la sindrome dei Balcani

L'uranio impoverito è un metallo pesante, radioattivo e ad alta capacità piroforica, che viene prodotto come materiale di scarto dalla raffinazione dell'uranio naturale. Viene utilizzato in ambito industriale e nella costruzione di alcuni tipi di armi militari, grazie alla sua elevatissima densità e ad altre peculiari caratteristiche fisico-chimiche (Leggett e Pellmar, 2008). Si ritiene che l'uranio impoverito possa esercitare una tossicità sia radiologica che chimica e, una volta rilasciato nell'ambiente, è dimostrato essere un inquinante per l'aria, il suolo e l'acqua, anche a causa della sua lunghissima emivita (Yue *et al.*, 2018).

L'esposizione può avvenire tramite inalazione, ingestione o per via transcutanea. Gli effetti sulla salute, raggruppati nella c.d. sindrome dei Balcani, dipendono da molteplici fattori tra cui l'entità dell'esposizione, la quale può coinvolgere sia i corpi bellici sia la popolazione civile durante la guerra o nel post-guerra (Mitchel e Sunder, 2004). Per quanto riguarda gli animali, sono stati riportati casi di inquinamento ambientale e conseguente intossicazione in alcune zone destinate all'utilizzo intensivo e concentrato di tali munizioni nel corso di esercitazioni militari o in luoghi di scontro bellico, dove per accordi locali era consentito il pascolo di animali (Yue *et al.*, 2018).

CONCLUSIONI

L'interesse per questo argomento di tesi nasce da un caso giudiziario per omicidio colposo durante una battuta di caccia, in cui il ruolo della Medicina Forense Veterinaria si è rivelato decisivo per la determinazione della dinamica degli eventi. Grazie alle indagini forensi e all'utilizzo di tecniche genomiche come la PCR (*polymerase chain reaction*) sul proiettile estratto dal cadavere della vittima, è stato possibile infatti dimostrare che il colpo aveva correttamente raggiunto l'animale prima di colpire la vittima a seguito di un rimbalzo. Il Medico Veterinario è stato dunque una figura professionale fondamentale in un'indagine che apparentemente riguardava soltanto la Medicina Umana.

Nei casi di ferimenti o uccisioni con armi da fuoco, siano esse di pertinenza veterinaria o meno, sono numerose le questioni che possono trovare risposta applicando le conoscenze relative alle varie tipologie di arma e agli effetti balistici delle diverse munizioni. Tuttavia, le variabili da analizzare possono essere numerose e particolarmente complesse. L'utilità della Medicina Forense Veterinaria si è ormai consolidata nel corso degli anni. Un Medico Veterinario esperto nel settore può, infatti, fornire un fondamentale supporto tecnico-scientifico all'autorità giudiziaria nei casi di maltrattamenti o uccisioni di animali d'affezione o di animali selvatici protetti, ma anche nel contesto dell'attività di caccia se operata in violazione delle leggi. Con l'emanazione della Legge 20 luglio 2004 n. 189 ("Disposizioni concernenti il divieto di maltrattamento degli animali, nonché di impiego degli stessi in combattimenti clandestini o competizioni non autorizzate") l'intervento della Medicina Forense Veterinaria è divenuto prioritario, in quanto nuovi tipi di reato sono stati introdotti nel Codice Penale. Tra questi spiccano per importanza gli artt. 544-bis e 544-ter, che riguardano rispettivamente l'uccisione e il maltrattamento degli animali.

La conoscenza della normativa vigente permette, dunque, di contestualizzare e condurre in maniera più efficace le indagini forensi su casi giudiziari con risvolti di tipo medico-legale, grazie anche alla possibilità di una collaborazione interdisciplinare con altre figure professionali appartenenti all'area tecnico-scientifica e giudiziaria.

Lo scopo del presente elaborato è dunque quello di fornire una disamina atta a dimostrare l'importanza degli aspetti tecnici generali delle armi da fuoco, del relativo munizionamento e delle scienze balistiche, al fine di ottenere una corretta valutazione anatomo-patologica delle lesioni osservate e una corretta scelta nell'utilizzo delle tecniche diagnostiche ausiliarie. Inoltre, è richiesta al patologo forense la conoscenza delle tecniche essenziali per trattare correttamente le diverse fonti di prova.

La maggior parte delle nozioni illustrate in questo lavoro di tesi deriva da articoli presenti in letteratura scientifica e libri specializzati o dallo studio di cadaveri di animali abbattuti in ambito venatorio.

Infine, questa tesi si conclude offrendo una panoramica degli effetti della presenza di elementi tossici e inquinanti in alcuni tipi di munizioni, oggetto di interesse da parte della comunità scientifica al fine di tutelare la salute umana e animale, nonché alcuni ecosistemi particolarmente a rischio.

BIBLIOGRAFIA

- Amadasi, A., Borgonovo, S., Brandone, A., Di Ginacamillo, M., Cattaneo, C. «The survival of metallic residues from gunshot wounds in cremated bone: a radiological study.» *International Journal of Legal Medicine*, 2012: 126: 363–369.
- Andrasko, J., Maehly, A.C. «Detection of gunshot residues on hands by scanning electron microscopy.» *Journal of Forensic Sciences*, 1977: 279-287.
- AVMA. «AVMA Guidelines for the Euthanasia of Animals .» 2020: 1-121.
- Bertini, S., Menozzi, A. «Metalli e Minerali.» In *Tossicologia Veterinaria*, di G., Soldani, G. Mengozzi, 103-132. Napoli: Casa Editrice Idelson-Gnocchi, 2010.
- Bettin, C. *Analisi dei residui di sparo - Introduzione ai metodi cromogenici per visualizzare i residui e le tracce di sparo*. Padova, 2019.
- . *Il colpo di rimbalzo*. Padova, 2018.
- . *La lesività delle armi da fuoco - Cenni di balistica lesionale e applicazioni legali/forensi*. Padova, 2018.
- Bianchi, L. *Armi da Fuoco Leggere - Meccanica, Funzionamento e Manutenzione*. Roma: L'Airone editrice, 1998.
- Bradley-Siemens N., Brower A.I., Kagan R. «Firearm injuries.» In *Veterinary Forensic Pathology*, di Brooks J.W. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2018.
- Bradley-Siemens, N., Brower, A.I. «Veterinary Forensics: Firearms and Investigation of Projectile Injury.» *Veterinary Pathology*, 2016: Vol 53 (5) 988-1000.
- Brooks, J.W. *Veterinary Forensic Pathology*. Cham, Switzerland: Springer, 2018.
- Buenz, E.J. «Non-lead ammunition may reduce lead levels in wild game.» *Environmental Science and Pollution Research*, 2016: 23:15773.
- Cadiou Y., Richard A. *Armi da Fuoco*. Milano: Mondadori, 1978.

- Carr, D.J., Stevenson, T., Mahoney, P.F. «The use of gelatine in wound ballistics research.» *International Journal of Legal Medicine*, 2018: 132: 1659–1664.
- Corradi, A., Luppi, A., Pittioni, E. «Medicina Veterinaria Forense e Lesioni da Arma da Fuoco: Caratteri e Diagnosi.» *Annali*, 2001: 371-387.
- Dalby, O., Butler, D., Birkett, J.W. «Analysis of Gunshot Residue and Associated Materials - A Review.» *Journal of Forensic Sciences*, 2010: Vol. 55 (4): 924-943.
- De Matthaeis, C. «Dettagli a confronto - Le comparazioni sui bossoli.» *Balistica Forense*, 2017: 188-193.
- De Nonno, A., Marrone, M., Tarantino, F., Vinci, F. *Patologia medico-legale e tanatologia*. Aracne Editore, 2012.
- Di Maio, V. J. M. *Gunshot Wounds - Practical Aspects of Firearm, Ballistics and Forensic Techniques*. Boca Raton, FL: CRC Press - Taylor and Francis Group, 2016.
- EFSA. «Scientific Opinion on Lead in Food.» *EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM) - EFSA Journal*, 2010: 8(4): 1570.
- Geisenberger, D., Giorgetti, A., Glardon, M., Perdekamp, M.G., Pollak, S., Pircher, R. «The punched-out tissue complex (skin-bone "imprimatum") in shots from captive-bolt guns: does it act as a secondary projectile?» *International Journal of Legal Medicine*, 2020: 134:1095-1102.
- Gibson, T.J., Mason, C.W., Spence, J.Y., Barker, H., Gregory, N.G. «Factors affecting penetrating captive bolt gun performance.» *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 2015: 18:222–238.
- Grandin, T. «Recommended Captive Bolt Stunning Techniques for Cattle.» *Department of Animal Science - Colorado State University*, 2020.
- Guitart, R., Serratos, J., Thomas, V. «Lead-poisoned wildfowl in Spain: a significant threat for human consumers.» *International Journal of Environmental Health Research*, 2003: 12 (4): 301-9.

- Høgåsen, H.R., Ørnstrud, R., Knutsen, H.K., Bernhoft, A. «Lead intoxication in dogs: risk assessment of feeding dogs trimmings of lead-shot game.» *BMC Veterinary Research*, 2016: 12:152.
- Hogg, I. *Il Grande Libro delle Pistole di Tutto il Mondo*. Milano: De Vecchi, 1978.
- ISPRA. «Il piombo nelle munizioni da caccia: problematiche e possibili soluzioni.» *Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale*, Rapporto 158/2012.
- Kneubuehl B. P., Coupland R. M., Rotschild M. A., Thali M. J. *Wound Ballistics*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2011.
- Knudsen, P.J.T. «Ballistic Trauma: Overview and Statistics – Wound Ballistics.» *Encyclopedia of Forensic and Legal Medicine*, 2016: Vol 1, 413-424.
- Komosa, A., Kitowski, I. «Elevated lead concentration in skeletons of diurnal birds of prey Falconiformes and owls Strigiformes from eastern Poland - ecological approach and review.» *Ecological Chemistry and Engineering*, 2008: 15 (3): 349-358.
- Leggett, R.W., Pellmar, T.C. «The biokinetics of uranium migrating from embedded DU fragments.» *Journal of Environmental Radioactivity*, 2003: 64: 205–225.
- Marchetti, C. «Utilizzo del sodio rodizonato nelle analisi chimiche e istologiche per la rilevazione delle tracce dei residui d'arma da fuoco - Studio preliminare in Medicina Veterinaria Forense.» *Tesi di Master Universitario in Scienze Biomediche, Autoptiche, Istocitotecnologiche, Antropologiche, Entomologiche e Veterinarie*, 2017.
- Martinelli, N. - ATS Bergamo. «La protezione degli animali alla macellazione.» Ischia: ATS Bergamo, 2016.
- Menozzi, A., Menotta, S., Fedrizzi, G., Lenti, A., Cantoni, A.M., Di Lecce, R., Gnudi, G., Pérez-López, M., Bertini, S. «Lead and copper in hunted wild boars and radiographic evaluation of bullet fragmentation between ammunitions.» *Food Additives & Contaminants*, 2019: 182-190.

- Mitchel, R.E.J., Sunder, S. «Depleted uranium dust from fired munitions: physical, chemical and biological properties.» *Health Physics Society*, 2004: 57-67.
- Mori, E. «Balistica interna.» In *Enciclopedia delle Armi*. 1997-2003.
- . *Balistica pratica*. Bolzano, 2013.
- Mori, E. «Le palle slug e il tiro al cinghiale.» In *Enciclopedia delle Armi*. 1997-2003.
- . *Sintesi del Diritto delle Armi*. Bolzano, 2020.
- Mori, E., Palazzini, C. *Elementi di Balistica*. Internet Distributed Booklet - www.studionet.it/mori/, 2003.
- Munro, R., Munro, H.M.C. *Animal Abuse and Unlawful Killing - Forensic Veterinary Pathology*. Saunders - Elsevier, 2008.
- Murtz, H.A. *The Gun Digest - Book of Exploded Gun Drawings*. USA: KP Books, 2005.
- Musciarelli, L. *Dizionario delle Armi*. Milano: Oscar Mondadori, 1978.
- Nunziata, F. «Il profilo aerodinamico ottimale dei proiettili.» *Enciclopedia delle Armi*, 2003.
- Ordog, G.J. «Wound ballistics: theory and practice.» *Ann Emerg Med*, 1984: Vol 13, 1113-1122.
- Ordog, G.J., Wasserberger, M.D., Balasubramaniam, S. «Shotgun wound ballistics.» *The Journal of Trauma*, 1988: Vol. 28, 624-631.
- Paciello, O., Fico, R. *Linee Guida Nazionali per le Autopsie a Scopo Forense in Medicina Veterinaria - a cura di O. Paciello e R. Fico*. Ministero della Salute, 2018-2019.
- Paniz, E. *Balistica Forense - Teoria e Pratica dell'Indagine Balistica*. Santarcangelo di Romagna (RN): Maggioli Editore, 2019.
- Paulsen, P., Sager, M. «Nickel and copper residues in meat from wild artiodactyls with nickel-plated non-lead rifle bullets.» *The European Journal of Wildlife Research*, 2017: 63: 63.
- Pomara, C., Fineschi, V. *Manuale-atlante di tecnica autoptica forense*. Piccin, 2007.
- Pozzato, N., Pallante, I., Pillitteri, S., Fico, R. *Medicina Forense Veterinaria*. IZSVE, 2021.

- Qvarfort, U., Holmgren, C. «Lead in game meat: a study of bioaccessibility of lead metal fragments.» *working paper*, 2012.
- Ricketts, H. *Armi da Fuoco*. Milano: Mursia, 1962.
- Romolo, F.S., Margot, P. «Identification of gunshot residue: a critical review.» *Forensic Science International*, 2001: 195-211.
- Rosenberg, Z., Dekel, E. *Terminal Ballistics*. Haifa: Springer, 2016.
- Santucci, R.A., Chang, Y. «Ballistics for physicians: myths about wound ballistics and gunshot injuries.» *The Journal of Urology*, 2014: Vol. 171, 1408–1414.
- Schwoeble, A.J., Exline, D.L. *Current Methods in Forensic Gunshot Residue Analysis*. New York: CRC Press, 2000.
- Sellier, K.G., Kneubuehl, B.P. *Wound Ballistics and Scientific Background*. Elsevier, 1994.
- Shideler, D. *The Gun Digest - Book of Exploded Gun Drawings*. USA: Dan Shideler, 2011.
- Spadola, F. «Contenimento farmacologico mediante l'impiego della teleanestesia.» *Conference Paper*, 2003.
- Staffieri, S. *Cartucce per Armi Portatili*. Parma: Ermanno Albertelli Editore, 2009.
- Stefanopoulos, P.K., Filippakis, K., Soupiou, O.T., Pazarakiotis, V.C. «Wound ballistics of firearm-related injuries - part 1: Missile characteristics and mechanisms of soft tissue wounding.» *International Journal of Oral & Maxillofacial Surgery*, 2014: 43: 1445–1458.
- Stefanopoulos, P.K., Hadjigeorgiou, G.F., Filippakis, K., Gyftokostas, D. «Gunshot wounds: a review of ballistics related to penetrating trauma.» *Journal of Acute Disease*, 2014: 178-185.
- Stefanopoulos, P.K., Mikros, G., Pinalidis, D.E., Oikonomakis, I.N., Tsiatis, N.E., Janzon, B. «Wound ballistics of military rifle bullets: An update on controversial issues and associated misconceptions.» *Trauma Acute Care Surg*, 2019: Volume 87, 690-698.
- Sweeney, P. *The Gun Digest - Book of AK & SKS*. USA: Gun Digest Book, 2015.

- . *The Gun Digest - Book of Tactical Weapons - Assembly/Disassembly*. USA: The Gun Digest Books, 2008.
- . *The Gun Digest - Book of the AR-15*. USA: Gun Digest Book, 2005.
- Taccini, E., Rossi, G., Gili, C. *Tecnica autoptica e diagnostica cadaverica*. Poletto, 2006.
- Thomas, V.G., Guitart, R. «Lead pollution from shooting and angling, and a common regulative approach.» *Environmental Policy and Law*, 2003: 33/3-4.
- Thomas, V.G., Pain, D.J., Kanstrup, N., Green, R.E. «Setting maximum levels for lead in game meat in EC regulations: an adjunct to replacement of lead ammunitions.» *Ambio - The Royal Swedish Academy of Sciences*, 2020: 1-12.
- Ugolini, A. *L'esperto balistico. Volume primo: la teoria*. Milano: Editoriale Olimpia, 1978.
- Vinci, F., Rosa, F. *Balistica forense - Per il management medico-legale delle lesioni da arma da fuoco*. Dario Morano Editore, 2007.
- Wills, C. *The Illustrated History of Guns - From first firearms to semiautomatic weapons*. New York: Skyhorse Publishing, 2014.
- Yue, Y.C., Li, M.H., Zhang, B.L., He, W. «The toxicological mechanisms and detoxification of depleted uranium exposure.» *Environmental Health and Preventive Medicine*, 2018: 23:18.
- Zagra M., Argo A., Madea B., Procaccianti P. *Medicina Legale Orientata per Problemi*. Vaprio d'Adda (MI), Italia: Elsevier, 2011.

SITOGRAFIA

<https://afte.org/> (*Association of Firearm and Tool Mark Examiners*)

<https://www.balisticaforense.it/>

<https://www.cdc.gov/> (*Centers for Disease Control and Prevention*)

<https://www.earmi.it/> (*Enciclopedia delle Armi, a cura di Edoardo Mori*)

<https://www.efsa.europa.eu/it> (*European Food Safety Authority*)

<https://enfsi.eu/> (*European Network of Forensic Science Institutes*)

<https://www.gipf.it/> (*Gruppo Italiano di Patologia Forense*)

RINGRAZIAMENTI

Desidero dedicare questo lavoro alla mia famiglia e ad Alberto, che è diventato parte di essa, per il loro indispensabile sostegno e per la fiducia che hanno riposto nei miei confronti.

Desidero ringraziare il Chiar.mo Professor Attilio Corradi, per l'attenta e precisa opera di revisione, e la Dott.ssa Cristina Marchetti, per tutto il supporto, il tempo e la generosità che mi ha riservato.

Desidero inoltre ringraziare Jacopo Pellini e tutte le figure professionali che mi hanno fornito le conoscenze necessarie alla stesura di questo elaborato.

Infine, vorrei porgere un ringraziamento speciale a Beatrice, senza la quale questo lavoro non esisterebbe, a Paola, per l'immane supporto nonostante la distanza, e a tutti gli amici che mi hanno fatta sentire fortunata ogni giorno.

Lucia Scuri