

Edoardo Mori

con la partecipazione straordinaria di
Carlo Palazzini



CUI PRODEST?

A nessuno in particolare, anche se qualche giornalista d'assalto ne potrebbe trovare giovamento, viste le stupidaggini che vengono menate. Ci siamo solo divertiti a raccogliere queste quattro righe che non hanno nessuna velleità se non quella di costituire una interessante e gratuita lettura per chiunque ne sia interessato. Ogni altra strumentale o idiota insinuazione non sarà neanche presa in considerazione.

DISTRIBUZIONE E CONDIZIONI

La distribuzione di questo booklet, che avviene solo in forma elettronica, è libera ed a titolo gratuito per l'uso personale. Nessuno dovrà trarre profitto materiale da tutto o parte di quanto qui contenuto, che rimane comunque sotto tutela dei diritti d'autore. L'unico **dovere morale** dei lettori a scopo di diletto sarà una **e-mail** agli autori (prodotto **mailware**), sia essa di saluto, sostegno, elogio o critica, purché tecnicamente costruttiva. Probabilmente, visto un impegno di carattere hobbistico, ci saranno molte imprecisioni e vi saremmo grati delle relative puntualizzazioni, tenendo comunque conto della natura e degli scopi: passatempo, diletto, stimolazione di ulteriori curiosità ed approfondimenti **e non** un rigoroso trattato accademico.

Gli indirizzi e-mail:

e.mori@giustizia.it

carlo.palazzini@fsmrt.nettuno.it

Per chi lo sta leggendo solo in copia, il booklet è scaricabile in formato Acrobat dal sito:

www.studionet.it/mori

GLI AUTORI

Edoardo Mori magistrato, classe (ahimè, dice lui) 1940, pretore, giudice istruttore e GIP da trent'anni. Sua è la parte principale del testo, quella "professionale" sulla balistica teorica, in origine scritta con il gen. L. Golino e pubblicata da Editoriale Olimpia (qui riveduta e resa ancora più accessibile). Ha inoltre scritto alcuni libri (Dizionario delle armi in cinque lingue, Raccolta di proverbi giuridici latini), altri ne ha tradotti da greco e latino (Le XII Tavole, I caratteri di Teofrasto) e da una vita scrive articoli su riviste di settore. È pure poliglotta webmaster del bel sito tecnico-legale-informativo "Armi - Oplologia - Balistica - Diritto" (www.studionet.it/mori/), da dove è possibile scaricare questo booklet, nonché di un sito dedicato alla Letteratura umoristica classica (www.geocities.com/Athens/Olympus/3656).

Carlo Palazzini ingegnere, classe 1959, nel suo lavoro non ha nulla da spartire con armi e affini, benché sia un ufficiale CC in congedo e abbia una naturale passione per le armi come contesto tecnico e di divertimento (ma, figuriamoci, è pure contrario alla caccia!). Suoi sono i box demenziali (fatti per confondere anziché chiarire le idee), le elaborazioni grafiche, DTP e "acrobaticizzazione" del booklet. Quando avrà tempo, cercherà di vettorializzare le restanti grafiche.

I nostri due vivono e lavorano a diverse centinaia di chilometri l'uno dall'altro, ma si sono conosciuti via Internet e sempre con lo stesso mezzo hanno realizzato, revisionato e "pubblicato" questo booklet. Faccesse sempre così anche la PA ...

CONTENUTI ED IMPOSTAZIONE

Questo libricolo nasce sostanzialmente dagli appunti di balistica (il testo principale) che il dr. Mori ha generosamente posto a disposizione nel Web (cosa peraltro assai rara in Italia, dove di Internet viene fatto più un uso commercialmente interessato che un *free access knowledge*). A tale testo principale, peraltro assai approfondito in rapporto alla sua compattezza, sono stati aggiunti qua e là dei riquadri (box) di Palazzini. Questi box cercano di "colorare" un po' la questione, anche con alcune provocatorie estensioni, tentando di vivacizzare anche concetti che potrebbero risultare "barbosi" al neofita. Su tali box si è anche cercato di portare le correnti traduzioni anglosassoni (un comune dizionario aiuta poco in questi casi) soprattutto per chi, via Internet, desidera poi gratuitamente accedere a ulteriori informazioni (tipicamente *made in USA*).

Ne dovrebbe essere uscito un prodotto che, anche dal punto di vista di presentazione (nei limiti di MS Word, che non è certo Pagemaker in questo tipo di documenti!) dovrebbe evitare di essere posto sullo scaffale (o peggio) senza almeno una lettura completa. Se così non è, fatecelo sapere.

Ricordiamo comunque che, in funzione degli obiettivi previsti, molti concetti (sviluppo, precisione e completezza) sono stati volutamente approssimati. La filosofia perseguita è: se si vuole introdurre qualcuno alle nozioni fondamentali della fisica, non si inizia con la trattazione completa e rigorosa delle equazioni di Maxwell.

SOMMARIO

I Fondamenti della Balistica 1

- La gittata massima 4
- Il tiro verticale 4
- L'influenza del vento 5
- Densità dell'aria 5
- La derivazione del proiettile 5
- Raccolta di formule approssimate 6

Balistica del pallino da caccia e delle palle sferiche 7

- Formula approssimativa 7
- Calcolo preciso 7
- Tempi di volo 8
- Gittata massima dei pallini 8
- Dispersione dei pallini 8
- Tavola di Journée 8

Balistica Interna 10

- Calcoli di balistica interna 13
- Velocità dei gas alla bocca 14
- La velocità del proiettile a seconda della lunghezza della canna 14

Balistica Terminale 17

- Penetrazione nel ferro 17
- Penetrazione nel legno 17
- Penetrazione nell'osso 18
- Penetrazione nella cute 18
- Penetrazione nei tessuti molli del corpo umano 19

La Traiettoria Utile 20

- Calcolo dei tempi di volo intermedi 21
- Calcolo delle velocità noti i tempi di volo 22
- Calcolo di velocità intermedie 22
- Tracciamento di una traiettoria venatoria qualsiasi 22
- Angolo di proiezione 24
- Caduta del proiettile rispetto alla linea di proiezione 24

Il Coefficiente Balistico 26

Esplosivi 32

- Cariche esplosive speciali 33
- L'esplosione 33
- Esplosione "per simpatia" 34
- Gli accessori 35
- Esplosivistica giudiziaria 35

Il Pendolo Balistico 39

- Realizzazione pratica 40
- Uso del pendolo balistico 40

La Probabilità di Colpire 42

INNANZI TUTTO, SICUREZZA!



Le armi sono dei gioielli di meccanica e anche divertenti giocattoli, ma è anche purtroppo vero che una delle loro principali destinazioni è ledere la salute altrui, uomo o animale che sia. Ciononostante (e per fortuna) sono anche un innocente passatempo e disciplina sportiva. Come per le automobili, non esistono armi cattive, ma solo cattive persone. Benché vi siano più di 8000 decessi l'anno sulle strade italiane, pochi potrebbero considerare l'auto un'arma di per sé. E come l'auto ha (dovrebbe avere!) il codice della strada, anche l'uso di un'arma ha le sue **inderogabili** regole di sicurezza:

- 1. Tutte le armi sono cariche! Sempre!**
- 2. Non puntare mai un'arma verso qualcosa in cui non si abbia la precisa volontà di vederci comparire un buco.**
- 3. Tenere il dito fuori dal grilletto fino a quando l'arma non è allineata al bersaglio voluto.**
- 4. Accertarsi che il bersaglio sia quello giusto e anche di quello che vi sta dietro.**
- 5. Mai fidarsi di niente e nessuno: assicurarsi sempre di persona!**

Non ci sono dispositivi di sicura a prova di idiota: la sicurezza è un atteggiamento mentale, non un gadget dell'arma. Pensate a quale catena di imbecillità (e mezze verità) che si cela dietro una cronaca del tipo "...partito un colpo mentre puliva l'arma ..."!

punto di arrivo B; non confonderlo con l'angolo di impatto che è l'angolo formato dalla tangente alla traiettoria con il terreno nel punto B e dipende perciò dall'andamento del terreno.

La balistica è quel ramo della fisica che studia il moto dei proiettili che avviene all'interno della canna dell'arma (balistica interna), nello spazio esterno (balistica esterna) e, infine, entro il bersaglio colpito (balistica terminale).

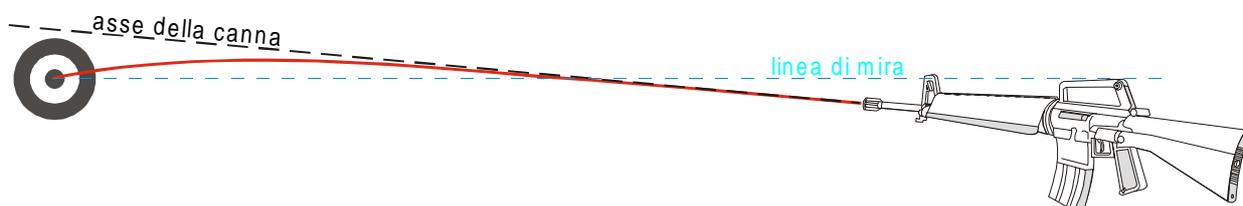
differenza rispetto alla traiettoria nel vuoto era soltanto del 10%.

Il calcolo del moto di un proiettile nel vuoto è alquanto semplice.

Immaginiamo inizialmente che la forza di gravità non agisca e che il proiettile venga sparato con l'angolo e con la velocità V . Dopo 1, 2, 3,... secondi esso si troverà nei punti 1, 2, 3,... sulla linea di proiezione e,

CURVA E PURE SBILENCA

Il proiettile lanciato da un'arma da fuoco non sfugge alle normali leggi fisiche (e ci mancherebbe!), per cui dato che questo ha massa non nulla, velocità finita ed è immerso in un campo gravitazionale, il suo moto su questa terra sarà più curvo che rettilineo uniforme. A peggiorare la situazione ci penseranno gli effetti aerodinamici, il vento, le forze di Coriolis e le frenesie giroscopiche. Rimaniamo comunque sulle nozioni di base (ai provetti di calcolo tensoriale e teorie del caos ricordo peraltro che la balistica applicata è una scienza ancora assai empirica).



In figura sono schematizzati quindi i fondamenti della questione. Anche trascurando gli effetti di resistenza aerodinamica (come dire: nel vuoto), cosa tra l'altro lecita solo in prima approssimazione per brevi distanze, avremo che il proiettile tenderà a seguire una curva parabolica. Anche fermandosi a questo stadio di modellazione, si può già capire come diventi non proprio semplicissimo il colpire esattamente nel punto mirato. Considerando che la linea ottica di mira (*line of sight*) si trova a qualche centimetro sopra l'asse della canna (*line of bore*), per tiri d'arma lunga avremo che la traiettoria intersecherà la linea di mira in due punti: il più vicino alla volata, generalmente tra i 10 e i 30 m, viene chiamato *near zero* (NZ), mentre il più lontano *far zero* (FZ). Se l'arma è azzerata, il FZ coincide con il punto mirato. Stante la semplificazione contingente, il problema è pura cinematica del punto e la traiettoria, fissato un angolo di canna, dipende solo dalla velocità iniziale (MZ, *muzzle velocity*).

Già le cose si complicano assai appena si tiene conto degli effetti aerodinamici. Anche considerando costante la densità dell'aria, la resistenza aerodinamica (*drag*) è funzione polinomiale della velocità, per cui è necessario ricorrere alla matematica differenziale (anche il non provetto in matematica superiore può capire il travaglio di avere resistenza dipendente dalla velocità e pure, ovviamente, velocità dipendente dalla resistenza). Il colpo di grazia viene dato dalla ulteriore dipendenza del *drag* da forma, dimensioni e massa del proiettile. Ecco perché esiste tutto un fiorire di formule che cercano, all'interno di una certa approssimazione, di ricondurre il problema in termini di matematica masticabile.

Ora, dato che la palla sferica balisticamente fa schifo, al giorno d'oggi si usano palle allungate ogivali appuntite (*spitzer*). Ma queste funzionano benino solo se mantengono la punta verso il bersaglio (i puristi direbbero: orientata nel verso del vettore velocità), cosa che non avviene per natura ma grazie alla rotazione giroscopica del proiettile (*spin*) impartita dalla rigatura (*rifling*). Un ordine di grandezza, per un fucile, è di 3000 giri al secondo. Tralasciando per ora ulteriori approfondimenti in merito, diciamo solo che anche qui c'è una contropartita: il proiettile tende a derivare lateralmente la traiettoria per effetto del circostante trascinarsi di aria (tanto per capirci, avete presente un tiro ad effetto di un pallone?). Come risultato, la nostra traiettoria non è neanche più piana, ma sghemba ed il punto di impatto spostato un po' lateralmente rispetto al punto mirato.

Nelle armi corte, visto il tipico utilizzo entro brevi distanze, si potrebbe anche avere un azzeramento sul NZ (vedi anche il box relativo al *point blank*).

Nello spazio esterno il proiettile percorre una traiettoria che è il risultato di tre distinte forze (qui trascurando dati che interessano solo per missili o proiettili a lunghissima gittata): l'impulso iniziale che gli imprime un moto uniforme e rettilineo, la resistenza dell'aria che si oppone ad esso in senso contrario, la forza di gravità che tende a far cadere il proiettile verso il suolo con moto uniformemente accelerato.

La resistenza dell'aria assume un ruolo rilevante per proiettili veloci e quindi, per proiettili molto lenti (artiglierie antiche, frecce, sassi) può essere pressoché trascurata (per un mortaio ottocentesco la

per inerzia, proseguirebbe all'infinito nella stessa direzione. Se però facciamo agire anche la forza di gravità, dalla formula

$$S = gt^2/2$$

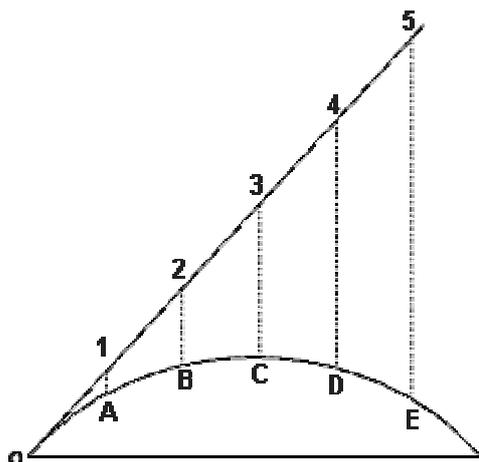


Figura 2

Ricaviamo che dopo un secondo (t) il proiettile sarà caduto dello spazio s fino al punto A, dopo due secondi fino al punto B, dopo tre secondi fino al punto C, e così via. Collegando tutti i punti A, B, C, ... (Figura 2) si ottiene la traiettoria percorsa dal proiettile. Essa è rappresentata da una parabola simmetrica in cui l'angolo di partenza è eguale all'angolo di caduta, la velocità iniziale è eguale alla velocità finale e il vertice la divide in due rami simmetrici. Essa può essere calcolata conoscendo solo i parametri V (velocità iniziale) e φ (angolo di partenza).

La gittata X si ottiene dalla formula

$$X = \frac{V^2 \sin 2\varphi}{g}$$

da cui si deduce che la gittata massima si ottiene con un angolo di partenza di 45° quando il valore del seno dell'angolo è eguale ad uno; il che significa, ad esempio, che, trascurando la resistenza dell'aria, una freccia lanciata alla velocità di 100 m/s arriva al massimo alla distanza di 1019 metri.

Il tempo di volo del proiettile fino ad una data distanza è dato da

$$T = \frac{X}{V_0 \cos \varphi}$$

Quando il moto del proiettile invece che nel vuoto avviene nell'aria, assume importanza fondamentale la forza ritardatrice dovuta alla resistenza del mezzo. Un proiettile cal. 9 Para con $V_0=330$ m/s, che nel vuoto avrebbe una gittata massima di 11100 metri, nell'aria ha una gittata massima di circa 1500 metri; un proiettile di moschetto è assoggettato ad una forza ritardatrice che riduce la sua velocità finale ad $1/6$ di quella iniziale. La traiettoria percorsa non è quindi simmetrica, ma ad un ramo ascendente più lungo, segue un ramo discendente più curvo e corto

così che l'angolo di caduta è maggiore dell'angolo di partenza.

In linea generale la traiettoria è tanto più curva quanto più lento è il proiettile per il fatto che la forza di gravità agisce più a lungo. Il peso del proiettile, a parità di velocità, non incide sulla maggiore o minore curvatura della traiettoria ed in teoria, a parità di forma e di velocità iniziale, il maggior peso rende più tesa la traiettoria, sia pure in misura trascurabile alle distanze venatorie (infatti se il proiettile pesa di più, a parità di calibro aumenta la sua lunghezza e la densità sezionale e migliora quindi il suo comportamento balistico). In pratica però, specie nelle armi leggere, il proiettile più pesante viene sparato a velocità inferiori rispetto ad un proiettile leggero, con la conseguenza che la sua traiettoria sarà meno tesa.

Il calcolo della resistenza dell'aria e della relativa ritardazione, è semplice per velocità inferiori ai 200 m/s per cui si può assumere che la resistenza vari con tasso inferiore al quadrato della velocità, ma diventa difficile a velocità superiori in cui essa varia con un tasso assai maggiore, con un'impennata per velocità prossime al muro del suono, ed è influenzata da numerosi fattori, quali la densità dell'aria alle diverse altezze raggiunte (e con il variare della densità varia la velocità del suono e quindi la ritardazione), i moti di oscillazione e di precessione del proiettile durante il volo, ecc. Ovviamente poi la resistenza varia a seconda della forma più o meno aerodinamica del proiettile e risultati precisi si possono ottenere solo su basi sperimentali, redigendo per ogni proiettile apposite tavole di tiro, cosa che fa ogni esercito per le sue artiglierie.

Per calcoli di una certa approssimazione, si sono però studiate delle leggi generali di resistenza dell'aria, più che sufficienti per scopi pratici: dopo aver tracciato sperimentalmente le curve della resistenza dell'aria riferite a diversi tipi di proiettile, si è ricavata una curva intermedia teorica o riferita ad un proiettile tipo; da questa, introducendo un coefficiente (coefficiente balistico, ricavato dal suo calibro e dal suo peso, integrato dal coefficiente di forma " i ", ricavato dalla forma del proiettile), che indicano il rapporto tra proiettile tipo e proiettile in esame, si risale ai valori reali.

La formula per il coeff. balistico è data da

$$C_b = \frac{\pi C^2 i}{40000}$$

in cui il calibro C è espresso in millimetri. Il valore di i è il dato più difficile da calcolare anche perché varia in relazione alla velocità; in via di prima approssimazione si può ritenere che esso vari da 0.44 per proiettili appuntiti, tipo quelli per moschetto

militare, a 1 - 1.2 per proiettili da pistola o rivoltella, fino a 3 - 4 per proiettili cilindrici (wad cutter).

In tempi più recenti in luogo del concetto di coefficiente balistico si è introdotto quello di coefficiente aerodinamico C_x che per i proiettili varia da 0.1 a 0.5. Anch'esso non è costante, ma varia in relazione alla velocità espressa in Mach.

Il calcolo di una traiettoria di un proiettile moderno è comunque estremamente complicato e richiede l'impiego di matematiche superiori. Si può ovviare con l'impiego di metodi grafici o di tavole di ritardazione già compilate, ma si tratta comunque di attività laboriose. Attualmente sono in commercio numerosi programmi di balistica per computer, limitati però a traiettorie di pratico impiego, di poche centinaia di metri e tese, in cui l'angolo di proiezione non supera i 5°.

La gittata massima

Non è possibile indicare una semplice formula matematica che consenta di calcolare con buona approssimazione la gittata massima di un proiettile, cioè la massima distanza a cui il proiettile può arrivare nella migliore delle ipotesi.

In via molto approssimata può usarsi la mia formula

$$G = 0.8 + \frac{PV^2}{140000C^2}$$

in cui P è il peso in grammi, V la velocità in m/s, C il calibro in millimetri ed i il fattore di forma (dà valori eccessivi per proiettili di carabina molto aereodinamici).

Nel vuoto, come detto, la gittata massima si ha con un angolo di proiezione di 45°. Nell'aria l'angolo è inferiore (salvo il caso di proiettili di grosso calibro con velocità iniziale superiore a 1400 m/s che viaggiano per un tratto negli strati alti dell'atmosfera) e, per proiettili di armi portatili l'angolo ottimale è compreso tra i 30° ed i 35°, tenendo però presente che la gittata non cresce di molto oltre un certo angolo; così, ad es., un proiettile militare cal. 7.62x54 che con un angolo di 35° raggiunge la gittata massima di 3650 m., con un angolo di 19° raggiunge una gittata di circa 3500 m, inferiore di soli 150 m.

Per un orientamento generale si riportano le gittate massime dei più comuni proiettili per armi leggere.

Calibro	Velocità m/s	Gittata m
4.5 mm aria compressa	120/165	100/150
4.5 mm aria compressa	200/250	200/300

Calibro	Velocità m/s	Gittata m
6/9 mm Flobert	225	700
.22 corto	260	1000
.22 Long Rifle	350	1370
.22 Long Rifle HS	370	1500
.22 Winch. Magnum	610	1800
243 Winch.	1070	3200
6.35 mm	220	800
7.65 mm	285	1300
9 mm corto	285	1300
9 mm Para	350	1700
.45 ACP	300	1620
30 M1Carb.	600	2000
7x70 mm	830	3500
8x57 mm JS	830	3500
6.5x57 mm	1020	4000
7x57 mm	850	4500
6.5x68 mm	1150	5000

Il tiro verticale

Un proiettile sparato verticalmente verso l'alto raggiunge un'altezza pari a circa il 70% della gittata massima. Nel ricadere verso il basso il proiettile aumenta progressivamente la sua velocità, come qualsiasi corpo in caduta libera, finché la ritardazione dovuta alla resistenza dell'aria non eguaglia la forza di gravità; da quel momento la velocità del proiettile rimane costante (velocità limite). Se il proiettile è stato sparato proprio verticalmente, e quindi non compie alcuna traiettoria, ricadrà con il fondo piatto verso il suolo e offrirà una grande resistenza all'aria così che la sua velocità finale sarà di circa 30-50 m/s, non idonea a provocare lesioni ad una persona. Se è stato sparato con un piccolo angolo rispetto alla verticale, si capovolge e ricade con la punta in avanti; un proiettile di pistola può raggiungere i 100 m/s e uno di moschetto i 180 m/s, del tutto idonei a provocare gravi lesioni (si consideri che quest'ultimo può ancora penetrare per 30-40 cm nel corpo umano).

Il proiettile ricade in genere nel raggio di una decina di metri dal tiratore, ma può essere spostato dal

vento anche di 200 metri. Il tempo che un proiettile di moschetto impiega a ricadere è di circa 30 secondi se con la punta in avanti e di oltre il doppio se è capovolto, il che può dar luogo a ferite apparentemente inspiegabili.

L'influenza del vento

L'influenza del vento che spira a favore o contro il proiettile può essere trascurato per le normali distanze d'impiego delle armi leggere. Ha invece un'influenza significativa quando soffia trasversalmente alla traiettoria. Il calcolo può essere solo molto approssimativo poiché il vento non è costante, ma soffia a raffiche e non ha velocità costante poiché essa varia in relazione ad ostacoli ed alla distanza dal suolo. Supposto comunque che si possa ipotizzare una certa velocità e che il vento soffi perpendicolarmente alla traiettoria, trova applicazione la formula di Didion la quale ci dice che lo spostamento D , in metri, del proiettile dal punto mirato, ad una data distanza X , è dato dalla velocità del vento W moltiplicata per la differenza tra tempo di volo nell'aria T e tempo di volo nel vuoto per il valore di X considerato, e cioè

$$D_{(m/s)} = W_{(m/s)} \left(T - \frac{X}{V_0 \cos \varphi} \right)$$

A titolo di esempio si consideri che un vento di 10 m/s (vento sensibile che alza polvere e piega alberelli), sposta un proiettile di fucile militare, su di un bersaglio posto a 300 metri, di circa 50 cm.

Se il vento non è perpendicolare ma forma un certo angolo α con la traiettoria, il risultato D dovrà essere moltiplicato per il valore di $\cos 2\alpha$.

Densità dell'aria

La densità dell'aria determina la resistenza al moto del proiettile e, come si è visto, entra in tutte le formule concernenti la resistenza dell'aria. Essa varia in relazione alla temperatura ed alla pressione atmosferica e, in misura minore in relazione all'umidità.

Con formula molto approssimata, la densità dell'aria, che viene essere assunta pari a 1.225 kg/m^3 nell'atmosfera standard al livello del mare ed alla temperatura di 15°C , può essere calcolata con la seguente formula, nota la temperatura e la pressione atmosferica in millimetri di mercurio,

$$\delta = \frac{0.465 \cdot Pa_{(\text{mmHg})}}{273 + T}$$

Ricordo che la pressione in mm di mercurio si ottiene

moltiplicando la pressione in millibar per 0.75 e che la temperatura, in linea di massima, diminuisce di 0.65 gradi quando si sale di 100 metri.

Quando non si conosce la pressione atmosferica ma solo l'altitudine H del luogo ove si sviluppa la traiettoria del proiettile, la formula di cui sopra diventa

$$\delta = \frac{347 - 0.033H_{(m)}}{273 + T}$$

Per gli usi normali di un'arma nelle nostre regioni, la densità dell'aria può però essere trascurata dallo sparatore; in genere la diminuzione di densità dovuta al crescere dell'altitudine, viene compensata dalla diminuzione di temperatura e, comunque, il fatto di sparare in un'atmosfera meno densa, come avviene in alta montagna, comporta un miglioramento della traiettoria che sarà più tesa.

La derivazione del proiettile

Una canna rigata ha al suo interno le cosiddette righe che, come la filettatura di una vite, si sviluppano con un certo passo (tratto di canna in cui il proiettile compie una intera rotazione su se stesso) e con un certo angolo di rigatura (inclinazione della rigatura rispetto all'asse longitudinale della canna); il rapporto che lega l'angolo di rigatura con il passo è dato dalla formula

$$\tan \alpha = \frac{\pi}{P}$$

in cui P indica il passo espresso in calibri.

La velocità di rotazione del proiettile è data dalla formula

$$n = \frac{V_0}{P}$$

in cui v è la velocità alla bocca.

La rotazione del proiettile nell'aria provoca l'insorgere di forze, dovute all'effetto Magnus e all'effetto giroscopico, che spostano il proiettile lateralmente. Fino ad angoli di elevazione non superiori a 60-70 gradi lo spostamento è verso destra se la rigatura è destrorsa, verso sinistra se la rigatura è sinistrorsa. Al di sopra dei 70 gradi la direzione dello spostamento diviene oscillante e dopo gli 80 gradi si inverte (a sinistra per rigatura destrorsa.)

Per gittate brevi questa derivazione del proiettile viene corretta mediante la taratura dei congegni di mira. In armi in cui non vi sono congegni di mira, oppure per distanze che superano quella per cui i

congegni sono tarati, occorre tener conto della derivazione, per nulla trascurabile e che, con buona approssimazione è data dalla formula

$$D = X \cdot 0.035 \cdot \tan \varphi$$

in cui X è la gittata in metri e l'angolo è quello di proiezione. Il risultato D è espresso in metri.

Un'altra formula, ancora più approssimata ci dice che la derivazione, in metri, è pari a 0.11 moltiplicato per il tempo di volo al quadrato (il valore 0.11 è un valore medio che andrebbe calcolato per ogni proiettile).

Raccolta di formule approssimate

Qui di seguito riporto alcune formule molto approssimative che consentono di ottenere valori orientativi partendo da altri valori noti.

1	Ordinata per una distanza x non troppo grande	$y = x \tan \varphi - gt^2$
2	Angolo di proiezione nota la gittata massima	$\text{sen } 2\varphi = \frac{x}{x_{\text{MAX}}}$
3	Angolo di proiezione noto il tempo totale di volo	$\text{sen } \varphi = \frac{gt}{3} \left(\frac{t}{2x} + \frac{1}{v_0} \right)$
4	Ordinata massima	$y_{\text{MAX}} = \frac{x}{8} (\tan \varphi + \tan \omega)$
5	Ordinata massima noto il tempo di volo (formula di Haupt)	$y_{\text{MAX}} = 1.25t^2$
6	Ordinata massima noti gittata e angoli di partenza e caduta	$y_{\text{MAX}} = \frac{x}{2 \left(\frac{1}{\tan \varphi} + \frac{1}{\tan \omega} \right)}$
7	Ascissa del vertice nota la gittata	$x_v = 0.55x$
8	Ascissa del vertice nota la gittata e la velocità iniziale	$x_v = X \left(0.5 \frac{V_0}{10000} \right)$
9	Ascissa del vertice noti la gittata, l'ordinata e l'angolo di partenza	$x_v = \frac{X}{4} + y_v \cot \varphi$
10	Velocità del proiettile al vertice	$v_v = \frac{X}{T}$

11	Angolo di caduta noti tempo di volo, gittata e velocità di caduta	$\text{sen } \omega = \frac{gT^2}{6X} + \frac{1}{v_c}$
12	Angolo di caduta noti gittata, ordinata e angolo di partenza	$\cot \omega = \frac{X}{2y_v} - \cot \varphi$
13	Velocità di caduta	$v_c = \frac{gT}{2 \text{sen } \omega} - 5\%$

BALISTICA DEL PALLINO DA CACCIA E DELLE PALLE SFERICHE

Il comportamento della rosata è stata oggetto di ampi studi, anche da parte di Autori italiani; qui ci limiteremo all'esame della possibilità di calcolo numerico delle traiettoria di singoli pallini componenti la rosata.

I pallini, quando escono dalla bocca dell'arma, formano un blocco ancora alquanto compatto, salvo pochi pallini deviati in modo anomalo per urti contro il vivo di volata. Già a pochi metri dall'arma però, l'aria si fa strada fra i singoli pallini i quali iniziano a risentire l'influsso della sua resistenza in modo diverso, a seconda del peso e delle deformazioni subite per il contatto con l'anima della canna, o per compressioni nella cartuccia o per urti reciproci, ecc. I pallini vengono così a formare uno sciame allungato con la maggior concentrazione verso la sua parte anteriore (il centro di gravità della rosata si colloca a circa 2/3 della sua lunghezza).

Per calcoli di estrema precisione, quali non si richiedono nella pratica venatoria, deve tenersi presente il fatto che la resistenza dell'aria sui singoli pallini che si trovano ancora molto ravvicinati l'uno all'altro, è minore di quella che il pallino subirebbe se fosse isolato. Di conseguenza i pallini sparati da una canna strozzata presentano una diminuzione di velocità minore rispetto ai pallini sparati da una canna cilindrica, ed ancora minore rispetto ad un pallino sparato singolarmente.

Per il calcolo della ritardazione subita dai pallini si può far ricorso alle tavole dello Ingalls o del Lovry (ed ovviamente al software basato su di esse), ma non è facile impostare il giusto coefficiente balistico che esse calcolano per proiettili non sferici. Ad esempio, impiegando le tavole del Lovry, si ottengono risultati esatti se, per una velocità iniziale di 360 ms, si adotta il coefficiente $i=2.2$ per pallini di 3-4 mm di diametro, mentre per pallini di 2 mm. il coeff. è pari a 2.4. Per la palla sferica di 18.5 mm. il coeff. diventa pari a 1.65.

Formula approssimativa

Per un calcolo approssimativo della perdita di velocità di un proiettile su di una determinata tratta si può ricorrere alla seguente formula, precisa per pallini di 4 mm, ma accettabile per pallini da 2 a 6 millimetri di diametro nell'ambito delle distanze venatorie (25-60 metri).

La formula è

$$V = V_0 \cdot 0.9557^{\frac{D}{d}}$$

in cui V è la velocità finale, D la tratta in metri e d il diametro del pallino in mm.

Calcolo preciso

Per una maggior precisione si può far ricorso alle tavole di ritardazione compilate dal Journée proprio per palle sferiche e di cui riportiamo più sotto un estratto.

L'uso delle tavole è il seguente.

Prima di tutto occorre calcolare il coefficiente balistico della palla

$$Cb = \frac{\rho d^2}{1000P}$$

in cui d è il diametro in mm e P il peso in grammi e ρ indica la densità dell'aria (standard = 1.22).

Ricordo che il peso di una palla, per una densità standard del piombo di 11.1 g/cm^3 , è data da

$$P_{P(g)} = 0.0465 \cdot r_{(mm)}^3$$

A titolo di esempio si veda come il Cb di un pallino di 3 mm sarà pari a 0.07 e quello di una palla sferica cal. 12 (18.5 mm) di 0.0115.

Sia ora da calcolare la velocità residua a 100 metri della palla sferica cal.12 sparata con la velocità iniziale di 360 m/s.

Dalla tavola si legge che il valore R relativo a $V=360$ è 1.6208; a questo valore si aggiunge ora il valore del coefficiente balistico moltiplicato per la distanza considerata e quindi

$$Cb \cdot 100 = 0.01128 \cdot 100 = 1.128;$$

$$R = 1.128 + 1.6208 = 2.7488$$

in corrispondenza del quale leggiamo la velocità ricercata, pari a poco meno di 260 ms. (il valore esatto può ricavarsi per interpolazione).

Tempi di volo

La seconda colonna della tavola (i cui valori vanno divisi per 100) consente di calcolare il tempo di volo. Proseguendo nell'esempio appena fatto, in corrispondenza di $V=260$, si legge il valore $T=0.007010$ e in corrispondenza di $V=360$, $T=0.003290$

Il tempo di volo sarà dato dalla differenza di questi due valori divisa per il coefficiente balistico e quindi $0.00372 : 0.01128=0.329$ secondi.

Una volta calcolati i tempi di volo e le velocità residue alle varie distanze, gli altri elementi della traiettoria possono essere calcolati con i sistemi noti per proiettili di armi a canna rigata.

Gittata massima dei pallini

La gittata massima dei pallini si ottiene con angoli di proiezione che vanno dai 14° per i pallini da 1 mm a 25° per la palla cal. 12. In modo molto empirico, la gittata può assumersi essere pari a tanti metri quanti dà il prodotto di 80 per il diametro del pallino (quindi il pallino di 3 mm arriverà a 240 metri).

Un risultato più soddisfacente (valido dal pallino da 1 mm. fino alla palla cal. 12) è fornito dalla formula

$$x_{MAX} = 102.7d^{0.8}$$

Dispersione dei pallini

Il diametro della rosata non aumenta in modo lineare con l'aumentare della distanza; vale a dire che se a 10 metri la rosata ha un diametro di 15 cm, alla distanza di 20 metri essa non sarà di 30 cm, ma un poco più ampia.

È impossibile fornire una regola matematica che consenta di calcolare con precisione la dispersione dei pallini, anche perché ogni strozzatura ha, in definitiva, un suo particolare comportamento.

A titolo puramente orientativo si può utilizzare la formula

$$Y = 0.025 \cdot X^{1.648}$$

la quale ci dice che si assume eguale ad 1 il raggio del circolo che a 5 metri dall'arma contiene il 50% dei pallini, il raggio alla distanza x sarà pari a y volte; in altre parole se a 5 metri il raggio del circolo contenente il 50% dei pallini è di 3.5 cm, a 60 metri il raggio di tale circolo sarà di 22 volte più grande e quindi di $22 \cdot 3.5 = 77$ cm.

Si tenga presente che questo è un valore intermedio per pallini di circa 2.5 mm. e che la rosata per pallini di minor diametro è un po' più ampia e quella per pallini più grossi, un poco più ristretta.

Tavola di Journée

Velocità	R	T·100	Velocità	R	T·100	Velocità	R	T·100
30	16.612	19.94	150	5.9746	2.283	265	2.6522	0.6696
35	15.654	17.23	155	5.7651	2.253	270	2.5707	0.6389
40	14.696	14.50	160	5.5556	2.124	275	2.4970	0.6113
45	13.952	12.86	165	5.3601	2.006	280	2.4233	0.5845
50	13.208	11.21	170	5.1646	1.887	285	2.3566	0.5611
55	12.600	10.11	175	4.9913	1.783	290	2.2899	0.5377
60	11.993	9.007	180	4.8179	1.679	295	2.2290	0.5170
65	11.479	8.217	185	4.6479	1.587	300	2.1682	0.4964
70	10.965	7.429	190	4.4779	1.495	305	2.1127	0.4782
75	10.553	6.836	195	4.3192	1.414	310	2.0571	0.4600
80	10.142	6.244	200	4.1604	1.332	315	2.0064	0.4439
85	9.7486	5.782	205	4.0122	1.260	320	1.9556	0.4278
90	9.3556	5.321	210	3.8639	1.118	325	1.9091	0.4135
100	8.6541	4.583	215	3.7272	1.124	330	1.8626	0.3992
105	8.3376	4.382	220	3.5904	1.060	335	1.6197	0.3864
110	8.0211	3.980	225	3.4667	1.006	340	1.7767	0.3735
115	7.7326	3.730	230	3.3429	0.9507	345	1.7365	0.3619
120	7.4441	3.479	235	3.2294	0.9025	350	1.6963	0.3502
125	1.1794	3.267	240	3.1159	0.8542	355	1.6585	0.3396
130	6.9146	3.056	245	3.0152	0.8130	360	1.6208	0.3290
135	6.6706	2.875	250	2.9144	0.7719	365	1.5851	0.3197
140	6.4266	2.694	255	3.8241	0.7365	370	1.5594	0.3094
145	6.2006	2.538	260	2.7337	0.7010	375	1.5154	0.3004

Velocità	R	T·100	Velocità	R	T·100	Velocità	R	T·100
380	1.4814	0.2913	490	0.87130	0.1494	600	0.39074	0.06032
365	1.4489	0.2829	495	0.84765	0.1446	605	0.37048	0.05697
390	1.4164	0.2744	500	0.82400	0.1399	610	0.35022	0.05362
395	1.3851	0.2665	505	0.80079	0.1353	615	0.33015	0.05036
400	1.3538	0.2586	510	0.77758	0.1307	620	0.31007	0.04709
405	1.3237	0.2512	515	0.75478	0.1262	625	0.29022	0.04391
410	1.2936	0.2437	520	0.73196	0.1218	630	0.27037	0.04072
415	1.2645	0.2367	525	0.70958	0.1177	635	0.25036	0.03762
420	1.2354	0.2297	530	0.68718	0.1133	640	0.23089	0.03451
425	1.2073	0.2231	535	0.66513	0.1092	645	0.21131	0.03147
430	1.1791	0.2165	540	0.64308	0.1050	650	0.19173	0.02844
435	1.1518	0.2102	545	0.62147	0.1011	655	0.17228	0.02547
440	1.1244	0.2039	550	0.59986	0.09707	660	0.15283	0.02250
445	1.0979	0.1980	555	0.57844	0.09321	665	0.13353	0.01960
450	1.0713	0.1920	560	0.55701	0.08935	670	0.11422	0.01669
455	1.0454	0.1863	565	0.53586	0.08561	675	0.09506	0.01385
460	1.0195	0.1806	570	0.51470	0.08187	680	0.07589	0.01101
465	0.99422	0.1752	575	0.49381	0.07805	685	0.05683	0.00823
470	0.96897	0.1698	580	0.47292	0.07424	690	0.03777	0.00545
475	0.94429	0.1646	585	0.45228	0.07071	700	0.00000	0.00000
480	0.91960	0.1594	590	0.43164	0.06718			
485	0.89545	0.1544	595	0.41119	0.06375			

BALISTICA INTERNA

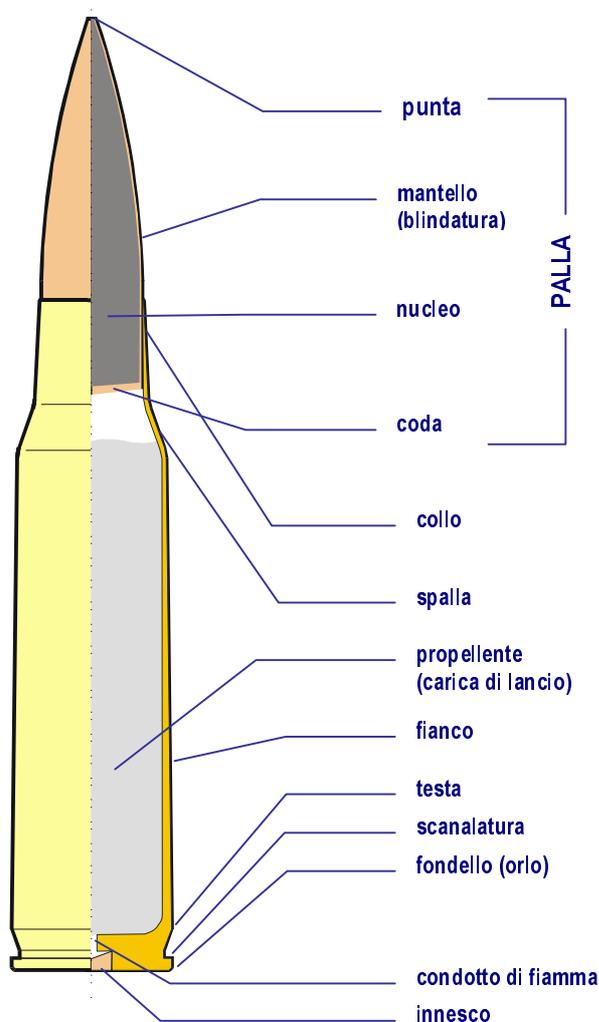
La balistica interna studia i fenomeni che accadono dal momento della percussione dell'innesco della cartuccia fino al momento in cui il proiettile esce dalla bocca dell'arma, divenendo oggetto di studio della balistica esterna.

A seguito della violenta percussione del percussore sulla capsula dell'innesco, la composizione innescante viene schiacciata contro l'incudinetta della capsula (nel caso della percussione anulare l'innesco viene schiacciato contro il metallo dell'orlo

del fondello); la composizione detona producendo un intenso dardo di fiamma che, attraverso i fori dell'innesco, raggiunge la carica di polvere, dando inizio alla sua deflagrazione.

Questa sarà più o meno veloce in relazione alla forza dell'innesco, al tipo, conformazione e quantità della polvere, alla densità di caricamento (rapporto tra volume della polvere e spazio nella cartuccia), alla compressione esercitata sulla polvere, alla forza con cui il proiettile è trattenuto dal bossolo, ecc.. La polvere deve poter bruciare completamente prima

DENTRO LA CARTUCCIA



Un colpo d'arma da fuoco (*round*) usa, al giorno d'oggi, una cartuccia (*cartridge*) costituita essenzialmente da: palla (*bullet, ball*; a rigore, si dice proiettile, *projectile*, la palla in volo balistico), bossolo (*case, brass*), propellente (*propeller*) ed innesco (*primer*). La palla è realizzata in piombo (densità ed economicità) ma per cartucce ad alta velocità il nucleo (*core*) è rivestito da un mantello (*jacket*) di un metallo più duro (camicatura), dato che il semplice piombo non reggerebbe le energie in gioco. Le palle di arma corta hanno forme adatte per una efficacia a breve distanza mentre per fucili c'è una ricerca aerodinamica per il mantenimento di stabilità ed energie anche a lunga distanza. Si hanno così forme allungate, affusolate (*spitzer, pointed*) e spesso rastremature in coda (*boat tail*). La palla è forzosamente annegata nel collo (*neck*) del bossolo, che contiene la polvere della carica di lancio (*gunpowder*), la cui pressione di combustione spingerà la palla lungo la canna in modo da farle acquistare l'energia cinetica voluta. Il bossolo, generalmente costituito da una lega elastica come l'ottone per poter realizzare la chiusura di culatta, può avere una forma cilindrica (*straightwalled*) o "a bottiglia" (*bottlenecked*, come in figura), per poter contenere più polvere a parità di calibro di palla. In questo caso, il bossolo è formato anche da una spalla di raccordo (*shoulder*).

Alla base del bossolo, chiamata testa (*head*; notare come questa sia dalla parte opposta del collo!) e rinforzata in spessore, si trova la scanalatura per l'estrattore (*extractor groove*) ed il fondello con l'oratura (*rim*). Le cartucce per armi a ripetizione hanno (quasi) sempre la scanalatura e fondello non sporge rispetto al diametro di testa (*rimless*, come in figura), mentre quelle per revolver o altre armi storiche non hanno la scanalatura bensì il fondello sporgente (*rimmed*), che viene utilizzato per arresto in camera ed estrazione.

Nel fondello, infine, è inserito l'innesco costituito da una capsula contenente un esplosivo sensibile agli urti. La sua accensione, via percussore, fa transitare un fronte di fiamma fino alla carica di lancio attraverso un condotto (*flash hole*). La conseguente progressiva combustione della carica creerà l'ambiente pressorio per la spinta sulla coda della palla.

Da notare che l'innesco centrale (*centerfire*), come appena considerato, rappresenta la quasi totalità delle moderne cartucce. Per unor di cronaca, esiste anche la percussione anulare (*rimfire*), dove la miscela d'innesco è contenuta lungo l'oratura del fondello. Di fatto, tale sistema sopravvive solo sulle 22LR (ricordate il mostro di Firenze? hai voglia trovare una Winchester 22LR senza la "H" sul fondello!) e su poche altre cartucce usate dagli amatori dell'epopea *far west*. Una cartuccia *rimfire* non può essere ricaricata.

che il proiettile esca dalla canna, sia perché così tutta l'energia viene sfruttata, sia per evitare che i residui si infiammino fuori della bocca dell'arma (vampa di bocca).

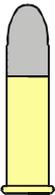
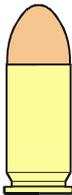
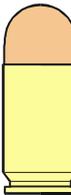
La polvere brucia sempre perpendicolarmente alla sua attuale superficie e la quantità di gas prodotti dipende in ogni istante dalla pressione sviluppatasi e dalla forma geometrica dei granelli di polvere. Se la superficie del granello diminuisce durante la combustione (granelli tondi o a lamelle), si ha una polvere degressiva (offensiva), se aumenta (grani o tubetti con più fori) si ha una polvere progressiva; se

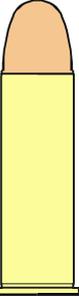
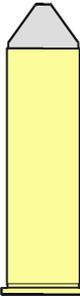
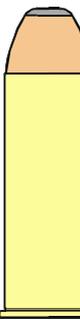
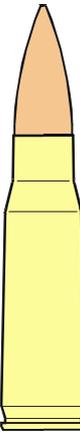
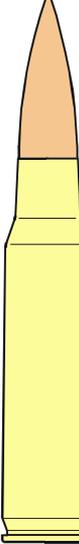
rimane costante (tubetto con un foro) si ha una polvere neutrale. La velocità di deflagrazione può venire influenzata da trattamenti della superficie del grano.

Le polveri offensive sono più indicate per armi a canna corta in cui non ha senso una pressione che si esplica dopo che il proiettile ha abbandonato l'arma; le polveri progressive sono preferite nelle armi a canna lunga e in tutti quei casi in cui si preferisce non sottoporre ad eccessive sollecitazioni le pareti dell'arma.?

LE CARTUCCE PIÙ COMUNI

Per rendere un'idea visiva delle reali proporzioni di cartucce per armi rigate, vengono qui riportate alcuni dei tipi più comuni. Molte sono di derivazione militare benché attualmente, sotto certi vincoli, sono diffuse anche per usi civili. I tipi di palle mostrati sono quelli più tipici del calibro ma in commercio ne esiste una estesa varietà di forma e costituzione. Di ogni cartuccia, viene riportato il nome principale ed altri con i quali è conosciuta. Nelle misure metriche si è ommesso per brevità l'unità di misura (mm) mentre per i nomi anglosassoni si è ommesso (come dicono di fare i puristi) il punto decimale. Da notare che la 22LR, diffusa soprattutto in pistole automatiche, è usata anche in carabine e perfino in rivoltelle. Le figure sono in scala reale.

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

La deflagrazione della polvere sviluppa una grande quantità di gas (circa un litro per ogni grammo di polvere) che si dilatano per effetto del calore (oltre 2000 gradi); un litro di gas, racchiuso in uno spazio minimo e sottoposto a tale temperatura produce un aumento di pressione che in un fucile a palla giunge a superare i 3000 kg/cm² (circa 500 atmosfere in un fucile a canna liscia). La pressione così sviluppatasi si esercita in tutte le direzioni: contro le pareti del bossolo che viene pressato contro la parete della camera di scoppio (così assicurando che non sfuggano gas all'indietro), contro il fondello che viene premuto contro l'otturatore, contro il fondo del proiettile che viene spinto in avanti; essa continua a crescere fino al momento in cui il proiettile si svincola dal bossolo e inizia il suo percorso. aumenta quindi lo spazio a disposizione per i gas, ma fino a che la produzione di gas è maggiore dello spazio a disposizione, continua ad aumentare la pressione, il che aumenta la produzione di gas. Raggiunto l'equilibrio tra i due valori, la pressione inizia a calare. La combustione deve essere regolata in modo da non superare certi valori di pressione massima e di pressione alla bocca ed in modo che la combustione si concluda all'interno della canna. Il picco di pressione massima si verifica molto presto, in genere da alcuni millimetri a pochi centimetri di percorso del proiettile e la pressione alla bocca deve essere cinque o sei volte minore.

Durante il percorso nella canna il proiettile viene costantemente accelerato nel suo moto così che esce dalla bocca con il massimo della velocità. La pressione invece si riduce a poche centinaia di atmosfere. In genere in un'arma leggera l'aumento della lunghezza della canna non comporta alcun aumento della velocità del proiettile oltre i 60-70 cm. di lunghezza. Nelle armi a canna liscia a pallini, accurati esperimenti hanno dimostrato che, a parità di strozzatura, oltre i 60 cm di lunghezza si ha un aumento di velocità pari a circa 1 m/s per ogni centimetro in più e quindi, nella pratica, un aumento trascurabile.

Un parametro importante nei calcoli di balistica interna è data dal "rapporto di espansione" (inglese: expansion rate) che dà il rapporto tra pressione massima, pressione alla bocca, volume interno della canna e volume interno del bossolo:

$$\frac{p_{MAX}}{p_0} = 1 + \frac{V_C}{V_b}$$

Altro importante parametro è dato dal rapporto tra pressione media e pressione massima.

Il valore della pressione media è dato dalla formula

$$\bar{p} = \frac{10 \left(m + \frac{m_c}{2} \right) v_0^2}{2SL}$$

in cui

m = peso del proiettile in g (dovrei dire massa, ma peso è più chiaro!)

mc = peso della polvere in g

Vo = velocità alla bocca in m/s

S = sezione della canna in mm quadrati

L = spazio libero percorso dal proiettile

Il valore della pressione massima deve essere misurato sperimentalmente oppure ricavato dalle tabelle delle munizioni o di ricarica delle varie polveri.

CALIBRI, MISURE E CARTUCCE

La definizione tecnica di "calibro" dovrebbe, a rigore, applicarsi ad una misura del diametro interno (l'anima) di una canna di arma da fuoco. Oltretutto, è bene ricordarlo, per canne rigate (*rifled bore*) la misura è riferita alla circonferenza virtuale definita dalle creste (i cosiddetti "pieni", *lands*) della rigatura (*rifling*).

Va da sé che la palla, per poter essere "intagliata" dalla rigatura e per impedire sopravanzamenti di gas propellenti, dovrà avere un diametro maggiore, in modo da chiudere anche le gole di rigatura (*grooves*).

È però invalso l'uso del termine anche nell'identificazione della cartuccia che deve (o può) essere utilizzata nell'arma, che però, a volte, gode di un nome commerciale che poco ha a che vedere con le reali misure in gioco. Tipico il caso della 38Spl, che ha una misura effettiva di 0.357".

Quanto appena sopra introduce un nuovo argomento: qual è l'unità di misura? Nella parte del mondo "metrico decimale", il calibre si misura in millimetri: si hanno così i vari 6.35mm, 7.65mm, 9mm e così via. Nel mondo anglosassone si usano storicamente i centesimi (due cifre) o i millesimi di pollice (tre cifre), preceduti o meno (tanto ci si capisce) dal punto decimale. In entrambi i casi, di nuovo, la denominazione commerciale della cartuccia interessata potrebbe essere scelta più per avere un suono "tondo" che per la precisa misura effettiva.

Il semplice diametro più o meno edulcorato, poi, non è normalmente sufficiente ad identificare completamente cartuccia o arma, per cui si aggiungono ulteriori informazioni. Si avranno così cartucce (e armi) 7.65 Browning, che con le 7.65 Parabellum avranno in comune solo un diametro nominale di palla/anima e niente sarà intercambiabile. Allo stesso modo, avremo 38 S&W e 38 Special senza niente in comune (ad onor del vero, a volte esiste un certo grado di compatibilità, ma lasciamo qui stare le sottigliezze).

Per le armi ad anima liscia (*smooth bore*), come i fucili da volatili, si usa storicamente un altro criterio: la dimensione (*gauge*) della canna è data dal numero di palle sferiche di piombo, di quel diametro, che stanno in una libbra. Quindi, un fucile cal. 12 (o meglio, 12 *gauge*, come dicono gli anglosassoni, per sottolineare il criterio), ha un diametro risultante di anima pari a 18.4 mm. A proposito: in inglese, i fucili ad anima liscia sono denominati *shotgun* e le relative cartucce, sia a pallini (*pellets*) o pallettoni (*bucks*) o palla asciutta (*slug*), si chiamano *shotshell* (o semplicemente *shell*).

Calcoli di balistica interna

Il balistico tedesco Heydenreich, sulla base di esperimenti compiuti all'inizio del secolo, ha elaborato una serie di formule empiriche che consentono di eseguire i principali calcoli di balistica interna con accettabile approssimazione.

UNITÀ DI MISURA UN PO' RETRO

Uno dei primi impatti che il principiante olofilo subisce è quello delle unità di misura utilizzate nella disciplina. Una forte tradizione (come nell'idraulica, ad esempio) e gli USA come centro di riferimento fanno sì che ancora sopravvivano largamente misure avoirdupois anziché metriche decimali. La cosa è poi anche enfatizzata da quello sfoggio di lingua di casta al punto che anche pubblicazioni nostrane arrivano a parlare solo di fps anziché m/s.

Poco male, comunque. Basta munirsi di tabelline di conversione ed il gioco è fatto e, per i più bravi, non sarà difficile trovare i coefficienti da introdurre nelle formule per ragionare direttamente in variabili ed incognite metriche decimali.

Tanto per fare una panoramica:

calibri: dovrebbe essere a questo punto chiaro (vedi box relativo ai calibri) come possa essere espresso in millimetri o decimali di pollice, tenendo però conto che in genere, per l'identificazione della cartuccia, non si passa dall'uno all'altro troppo allegramente (direste forse "Una 11.17 mm Magnum per l'ispettore ..."?). Un pollice equivale a 25.4 mm.

pesi (o masse, e lasciamo qui stare disquisizioni sulla differenza): diffusissimo il grano (*grain*), equivalente a un settemillesimo di libbra (*pound*), e utilizzato per la misura di palle e cariche di lancio. Un grano equivale a circa 0.065 g, per cui ci vogliono circa 15.4 grani (grs) per fare un grammo. Ad esempio, una tipica palla da 9Para è di 125 grs, mentre il famoso 44-40 della frontiera significa 0.44" di calibro con 40 grs di carica di lancio (polvere nera!).

Specialmente per armi storiche (e ricordarsi le anime lisce), ancora citate le libbre (*pound*, lb), equivalenti a circa 450 g e le once (oz): 1 oz equivale a 28.3 g e 16 oz fanno una libbra. La palla usata dalla famosa Colt 45 Single Action del far west era 240 grs, più o meno mezza oncia.

energie: fortunatamente, l'energia espressa in footpound è ormai quasi decadente anche in USA, a favore delle unità internazionali. Di solito, quindi, si trova espressa in chilogrammetri (kgm) o joule (J). A rigore, dopo la definitiva determinazione che le forze (indi anche il peso) si misurano in newton e la massa invece in chilogrammi (e da qui il grande dilemma di molti), l'unica unità legale sarebbe il joule. Comunque le due unità differiscono per la gravità "g", per cui 1 kgm equivale a 9.81 J (più o meno). L'optologia è una disciplina molto tradizionalista ...

distanze: qui il metro ormai spadroneggia, ma alcune nicchie resistono tenacemente. Si hanno quindi, per le gittate, anche le yard (yd; 1 miglio=1760 yd), ciascuna equivalente a 0.91 m. Per la valutazione dei punti d'impatto si usano anche i pollici (in. oppure "), equivalenti a 25.4 mm, e specialmente perché, come ben sa chi deve azzerare delle mire, le deviazioni tra punto mirato e punto colpito si misurano anche in MOA (minutes of angle) ed 1 MOA equivale circa a 1" alla distanza di 100 yd. Spesso in questo modo funzionano gli azzeramenti di mire e cannocchiali.

velocità: standardizzato il metro al secondo (m/s), ancora qualcuno si ostina ad esprimerla in piedi al secondo (ft/s), e pure scorrettamente fps; 3 ft/s sono di fatto 1 yd/s ma qualcuno decise che le yard non si usano per le velocità). 1 m/s equivale a 3.28 ft/s.

Sia

P_m = pressione media

P_{max} = Pressione massima

X_{pmax} = Spazio percorso dal proiettile fino al raggiungimento della pressione massima

V_{pmax} = Velocità del proiettile al raggiungimento della pressione massima

T_{pmax} = Tempo impiegato a raggiungere la pressione massima

P_o = Pressione alla bocca

X_o = Percorso del proiettile fino alla bocca

V_o = Velocità del proiettile alla bocca

T_o = Tempo impiegato dal proiettile per raggiungere la bocca

P_x = Pressione dopo che il proiettile ha percorso lo spazio x

V_x = Velocità dopo che il proiettile ha percorso lo spazio x

T_x = Tempo impiegato a percorrere lo spazio x

I valori ricercati potranno essere calcolati agevolmente mediante l'uso della prima tabella di valori, sulla base della conoscenza di ϵ , con le seguenti formule:

$$x_{pMAX} = x_o A \quad (\text{mm})$$

$$t_{pMAX} = \frac{2x_o}{v_o} B \quad (\text{ms})$$

$$v_{pMAX} = v_o C \quad (\text{m/s})$$

$$P_o = P_m D \quad (\text{bar})$$

$$t_o = \frac{2x_o}{v_o} F \quad (\text{ms})$$

Una seconda tabella consente invece di calcolare pressione, velocità e tempi in relazione allo spazio percorso, conoscendo il valore λ del rapporto tra spazio percorso e X_{pmax} .

Le formule da applicare sono:

$$P_x = P_{max} \cdot G$$

$$V_x = V_{pmax} \cdot H$$

$$T_x = T_p \cdot J$$

Quindi, se sono noti la pressione massima e la velocità alla bocca di una cartuccia, è possibile calcolare i valori lungo tutto il percorso del proiettile entro la canna.

Vediamo un esempio pratico di calcolo (da Beat P. Kneubuehl, *Geschosse*, 1994)

Sia un proiettile cal. 38 del peso di 10.2 g. Il peso della polvere sia 0.26 g, lo spazio libero percorso dal

proiettile 123 mm, (alla lunghezza della canna va aggiunta la lunghezza del proiettile) la velocità alla bocca 265 m/s, la pressione massima 1600 bar, la sezione della canna 62.77 mm quadrati.

Si avrà

$$P_m = \frac{10 \cdot \left(10.2 + \frac{1}{2} \cdot 0.26\right) \cdot 265^2}{2 \cdot 62.77 \cdot 123} = 470 \text{ bar}$$

$$\varepsilon = \frac{470}{1600} = 0.29$$

E quindi:

$$X_{pmax} = 123 \cdot 0.0383 = 4.7 \text{ mm}$$

$$T_{pmax} = [(2 \cdot) / 265] \cdot 0.165 = 0.15 \text{ ms}$$

$$V_{pmax} = 265 \cdot 0.331 = 87.7 \text{ m/s}$$

$$P_o = 470 \cdot 0.237 = 111 \text{ bar}$$

$$T_o = [(2 \cdot 123) / 265] \cdot 0.754 = 70 \text{ ms}$$

Il valore di λ sarà dato da $123 / 4.7 = 26.17$

Le formule non tengono conto della perdita di pressione tra tamburo e canna nei revolver.

Velocità dei gas alla bocca

I gas di sparo escono dalla bocca con grande velocità che, per le pistole, supera quella del proiettile; essi quindi, per un breve tratto, oltrepassano il proiettile.

La velocità dei gas può essere calcolata con la formula di Laval

$$v_{gas} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{p_o V_c}{m_c}} \text{ (m/s)}$$

in cui V_c ed m_c sono i valori già visti sopra.

La velocità del proiettile a seconda della lunghezza della canna

- Calcolo semplificato.

La velocità del proiettile, oltre che dal tipo di cartuccia, dipende da vari fattori quali la maggiore o minore marcata forzatura fra le righe della canna, la perdita di energia meccanica conseguente all'attrito all'interno dell'anima, dalle condizioni atmosferiche che influenzano la combustione della carica di lancio, per tacere poi dello stato di conservazione della cartuccia.

In genere i fabbricanti indicano la velocità del proiettile delle loro cartucce; i dati sono in genere riferiti a canne di prova di 60 cm di lunghezza, con caratteristiche ottimali, e sono valori medi che possono divergere anche del 5% rispetto alla velocità effettiva. Quando non sia possibile misurare direttamente la velocità del proiettile, ci si dovrà affidare a calcoli teorici.

Il fattore principale di cui occorre tener conto è quello della lunghezza della canna in quanto, specie nelle armi corte, la velocità reale del proiettile può essere di gran lunga inferiore a quella che ci si potrebbe attendere leggendo i dati delle case produttrici. Nei revolver inoltre è necessario tener conto della perdita di pressione dovuta alla maggior o minor fuga di gas fra tamburo e canna (in termini di energia, la perdita può variare dal 10 al 20%).

La variazione di velocità dipendente dal variare della lunghezza della canna, naturalmente entro limiti ragionevoli (per una pistola non avrebbe senso una canna lunga meno di 4 cm o più di 40 cm), può essere calcolata in modo alquanto approssimativo assumendo che la variazione di velocità sia proporzionale alla radice quarta degli spazi percorsi dai proiettili nelle rispettive canne. Lo spazio percorso si calcola misurando la lunghezza che intercorre tra la punta del proiettile e la bocca della canna, aggiungendo poi ad essa la lunghezza del proiettile. Si avrà quindi

$$\frac{V_1}{V_2} = \sqrt[4]{\frac{s_1}{s_2}}$$

Se, ad esempio un proiettile di pistola sviluppa 320 m/s in una canna di 15 cm., in una canna di 5 cm la velocità sarà di

$$V_2 = V_1 \sqrt[4]{\frac{4.8}{15}} = 240 \text{ m/s}$$

Risultati molto più precisi possono ottenersi se si tiene conto anche della progressività della polvere individuata in base ad una costante. Questa può essere ricavata dalla velocità iniziale del proiettile se si conosce il peso della polvere e la lunghezza della canna.

Sia:

- S = percorso del proiettile in mm nella canna, misurato dalla base del proiettile nella cartuccia alla bocca dell'arma.
- C = calibro in mm
- P = peso del proiettile in g
- M = peso della polvere in g
- R = costante di progressività della polvere

La balistica interna ci insegna che la velocità del proiettile sarà data dalla formula (Weigel)

$$V_0 = \sqrt[4]{\frac{S}{10C}} \cdot R \cdot \sqrt{\frac{M}{P}}$$

da cui si ricava che

$$R = \frac{V}{\sqrt[4]{\frac{S}{10C}} \cdot \sqrt{\frac{M}{P}}}$$

Stabilita per una determinata cartuccia e una certa lunghezza di canna, la velocità iniziale del proiettile e quindi il valore di R, sarà facile calcolare la velocità per una diversa lunghezza di canna o per una diversa carica, introducendo il valore di R nella penultima formula.

Si prenda ad esempio un proiettile cal 9 Para con palla di 7.5 g e carica di polvere di 0.26 g, che sviluppa una velocità iniziale di 332 m/s e supponiamo che sia stato sparato in una canna di 120 mm con un percorso del proiettile pari a 105 mm e senza perdite di gas. La costante R sarà pari a 1716. Se ora assumiamo di impiegare una canna di 80 mm, con un percorso libero del proiettile pari a 65 mm, ed inseriamo questi due valori nella formula di Weigel, otterremo che la velocità iniziale si sarà ridotta a 294 m/s.

DEMENZA A MANO ARMATA

Sarà capitato a molti di voi, durante la solita scampagnata, di notare dei segnali stradali trafitti da proiettili d'arma da fuoco. Un bel divertimento, non c'è che dire. Una specie di plinking all'italiana.

Ora, a parte la dimostrazione di estrema inciviltà, a parte la molteplicità di reati penali configurabili nell'occasione, a chi ha un minimo di cognizione in causa quello che colpisce è l'analisi del luogo, delle cartucce utilizzate e delle probabili traiettorie dei proiettili, dopo che questi hanno attraversato la debole lamiera del cartello e magari deviati dal più robusto palo che lo sostiene. Scoprendo quante zone, nelle immediate vicinanze a tergo, potrebbero essere interessate da persone ignare e considerando le potenze di certe magnum, c'è da rabbrivire. Alla faccia dei requisiti psicofisici richiesti per avere il porto d'armi (ma sappiamo tutti che è più una formalità dall'ufficiale sanitario che una reale sostanza di garanzia).

E la cosa più avvilente è quando si trovano per terra, e sicuramente correlati al povero cartello sforacchiato, bossoli 9Para con il cerchio crociato ...

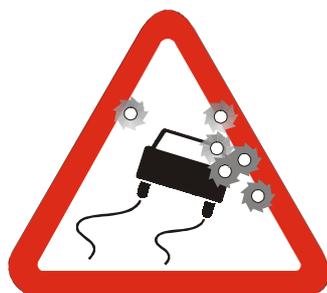


Tabella 1 (dei fattori di Heydenreich)

ε	A	B	C	D	F
0.25	0.0313	0.139	0.324	0.216	0.725
0.26	0.0330	0.146	0.326	0.220	0.732
0.27	0.0347	0.152	0.327	0.226	0.740
0.28	0.0365	0.159	0.329	0.231	0.747
0.29	0.0383	0.165	0.331	0.237	0.755
0.30	0.0402	0.172	0.333	0.242	0.762
0.31	0.0421	0.178	0.335	0.250	0.770
0.32	0.0440	0.186	0.337	0.256	0.777
0.33	0.0460	0.193	0.339	0.263	0.785
0.34	0.0480	0.200	0.341	0.269	0.792
0.35	0.0500	0.207	0.343	0.278	0.800
0.36	0.0521	0.214	0.345	0.282	0.807
0.37	0.0542	0.222	0.347	0.288	0.814
0.38	0.0563	0.229	0.350	0.294	0.822
0.39	0.0585	0.237	0.351	0.300	0.829
0.40	0.0608	0.244	0.354	0.304	0.836
0.41	0.0631	0.252	0.356	0.313	0.844
0.42	0.0654	0.260	0.359	0.319	0.851
0.43	0.0678	0.268	0.361	0.325	0.858
0.44	0.0703	0.276	0.364	0.332	0.866
0.45	0.0729	0.284	0.366	0.340	0.873
0.46	0.0756	0.292	0.369	0.346	0.880
0.47	0.0784	0.301	0.371	0.354	0.888
0.48	0.0813	0.309	0.374	0.363	0.895
0.49	0.0843	0.318	0.377	0.372	0.902
0.50	0.0875	0.326	0.380	0.382	0.910
0.51	0.0908	0.335	0.383	0.394	0.918
0.52	0.0944	0.343	0.386	0.407	0.926
0.53	0.0981	0.352	0.390	0.421	0.934
0.54	0.1020	0.361	0.393	0.437	0.942
0.55	0.1061	0.370	0.396	0.454	0.950
0.56	0.1099	0.379	0.399	0.470	0.958
0.57	0.1141	0.388	0.403	0.487	0.966
0.58	0.1185	0.397	0.406	0.505	0.974
0.59	0.1230	0.406	0.409	0.524	0.983

Tabella 2 (dei fattori di Heidenreich)

λ	G	H	J
0.25	0.741	0.392	0.610
0.50	0.912	0.635	0.780
0.75	0.980	0.834	0.903
1.00	1.000	1.000	1.000
1.25	0.989	1.130	1.081
1.50	0.965	1.262	1.154
1.75	0.932	1.366	1.219
2.00	0.898	1.468	1.282
2.50	0.823	1.632	1.394
3.00	0.747	1.763	1.495
3.50	0.675	1.875	1.589
4.00	0.604	1.983	1.682
4.50	0.546	2.068	1.769
5.00	0.495	2.140	1.851
6.00	0.403	2.269	2.012
7.00	0.338	2.363	2.163
8.00	0.284	2.445	2.309
9.00	0.248	2.509	2.451
10.00	0.220	2.566	2.589
11.00	0.199	2.615	2.725
12.00	0.181	2.659	2.858
13.00	0.164	2.702	2.988
14.00	0.150	2.740	3.116
15.00	0.137	2.777	3.253
16.00	0.125	2.811	3.390
17.00	0.117	2.837	3.502
18.00	0.109	2.862	3.618
19.00	0.102	2.887	3.740
20.00	0.096	2.910	3.816
25.00	0.073	3	
30.00	0.058	3.075	5.031
35.00	0.048	3.162	5.657
40.00	0.041	3.223	6.261

ARMI ALLA RIBALTA

Per l'irresistibile richiamo dell'azione e dell'avventura, in molti film (e specialmente se *made in Hollywood*) si è spettatori di un uso più o meno sensato di armi da fuoco. Prescindendo da polemiche sulla opportunità di tali messaggi, limitiamoci solo ad una occhiata a scorrettezze tecniche di ricostruzione della realtà (generalmente di carattere endemico) che vi si possono trovare.

Colpi - a volte c'è da stupirsi come in normali serbatoi ci possano stare tutti quei colpi che vengono esplosi quasi da fare impallidire le illuminate notti di Baghdad durante Desert Storm (avete presente Arma Letale o Die Hard?). Roba da arricchirsi a brevettarla. Il fatto poi che dopo un centinaio di colpi a raffica continua, la "mitraglietta" non abbia ancora la canna liquefatta è un altro paio di maniche ...

Automatiche scariche - Avete mai notato come una pistola automatica scarica, con il suo bel carrello tenuto arretrato dall'*hold-open*, scatti a vuoto dietro disperati e ripetuti tentativi del personaggio di turno? Ah, già, era a doppia azione!

Indoor - Ci sono anche montagne di colpi sparati all'impazzata all'interno di abitazioni, magari con fucili d'assalto. Questo significa più o meno che (a) i personaggi hanno i timpani in titanio e che (b) si intendono utilizzate palle in polistirolo che si disintegrano al primo urto, dato che altrimenti ci sarebbero più rimbalzi e schegge che in una partita a flipper.

Silenziatori - Se veramente bastasse uno striminzito cilindretto a ridurre il rumore di uno sparo a quello di uno sputo, servizi segreti e criminalità farebbero salti di gioia. Qui sembra che le stesse leggi che magari valgono per una 22LR a ripetizione manuale appositamente costruita vadano bene anche per pistole automatiche 9Para o fucili d'assalto con cartucce ordinarie (rumore di scarrellamento? schiocco supersonico? combustione esterna?). Inoltre, su automatiche a canna mobile (ritardo di apertura), è probabile che il funzionamento vada a pallino a causa della massa del silenziatore. I silenziamenti caserecci, poi, realizzati col solito cuscino premuto in volata sono proprio da temerari che vogliono vedere fino a che pressione resiste la canna (o il bossolo).

Rinculi - Fino agli anni settanta, il rinculo dell'arma era completamente ignorato. Poi è arrivato Callahan-Eastwood con il suo cannoncino tascabile e si è riconosciuta una maggiore spettacolarità nel sottolineare gli effetti delle quantità di moto. Comunque si va sempre dall'eroina dagli esili polsi che usa una 357Mag da fare invidia a Schwarzenegger fino al cattivo che vola indietro di tre metri perché attinto da un 9Para.

Ma forse siamo troppo pignoli ...

BALISTICA TERMINALE

La balistica terminale studia il comportamento del proiettile nel bersaglio. Qui ci occuperemo solo di quei pochi problemi di balistica terminale che possono essere oggetto di una valutazione matematica, riservando ad un'altra voce la trattazione dei fenomeni attinenti piuttosto alla medicina legale.

Uno dei fenomeni che meglio si presta ad uno studio scientifico è quello della penetrazione del proiettile nei vari mezzi, pur considerando che la diversità dei materiali e la diversità di comportamento dei singoli proiettili, a seconda della loro struttura e della velocità al momento dell'impatto, non consentono il ricorso ad un modello matematico generale, ma soltanto a formule empiriche. Accade infatti, da un lato, che proiettili ad alta velocità si deformino facilmente all'impatto e, d'altro lato, che proiettili molto veloci non facciano a tempo a trasferire la loro energia al bersaglio.

Punto di partenza per calcolare la penetrazione del proiettile nella maggior parte dei materiali è la sua energia cinetica o forza viva; essa può essere calcolata con la formula

$$E_{(kgm)} = \frac{GV^2}{2000 \cdot 9.81}$$

in cui G rappresenta il peso in grammi e V la velocità in m/s. Se si elimina il valore 9.81 (accelerazione di gravità) si ottiene il risultato in Joule (1kgm = 9.81 J).

Le formule che proporremo sono state elaborate per proiettili di pistola incamiciati ed a punta tondeggianti e presuppongono un impatto sul bersaglio ad angolo retto. Se il proiettile colpisce il bersaglio con un angolo minore, il che può accadere per effetto dei movimenti di precessione, anche se il piano del bersaglio è perpendicolare alla traiettoria, la sua capacità di penetrazione sarà naturalmente minore fino a giungere, oltre un certo angolo, al rimbalzo.

Nell'attraversare materiali in più strati può anche accadere che il proiettile, che inizia a penetrare già inclinato, venga ulteriormente deviato nell'attraversamento del primo strato, così da non essere più in grado di attraversare il secondo su cui scivola semplicemente (è all'incirca il fenomeno per cui un raggio di luce viene rifratto quando dall'aria penetra nell'acqua). In linea di massima i risultati ottenibili con le formule sono utilizzabili anche per proiettili di carabina e per proiettili non incamiciati in quanto lo scarto nella penetrazione rispetto al

proiettile tipo, se non intervengono deformazioni, può assumersi come costante e lineare e quindi facilmente verificabile in via sperimentale; ad esempio si riscontra sperimentalmente che la penetrazione di proiettili di piombo nel legno o nel ferro è inferiore di circa il 20% rispetto a quella di un proiettile incamiciato di eguale calibro. Particolare cautela occorre nell'applicare le formule a proiettili semicamiciati, proprio per la grande varietà di deformazioni che possono subire.

Nelle formule che seguono i simboli sono usati, salvo diversa indicazione, con il seguente significato:

- P: penetrazione in cm riferita alla punta del proiettile
- V: velocità di impatto in m/s
- G: peso in grammi
- C: calibro in mm.
- S: sezione del proiettile in cm²

Penetrazione nel ferro

La penetrazione di proiettili nel ferro (blindature, carrozzerie, ecc.) è stata oggetto di ampi studi in campo militare e la formula più usata è quella di Krupp

$$P = 0.194 \sqrt[4]{\frac{E^3}{C^5}}$$

con cui possono risolversi problemi quali:

- un proiettile di pistola cal. 9 Para può perforare la blindatura di un'auto a 100 metri di distanza?
- quale velocità possiede il proiettile dopo aver perforato una lamiera di un millimetro?

Si badi che la formula di Krupp è valida solo per l'attraversamento di uno strato omogeneo di metallo; ad esempio un proiettile cal 9 Para perfora alla velocità di 330 m/s una piastra di circa 2.1 mm di spessore o tre piastre da 0.7 mm pressate assieme; se invece le tre piastre sono distanziate l'una dall'altra, ad es. di un centimetro si assiste al fenomeno un po' paradossale ma scientificamente spiegabile, per cui ne perfora ben 15 per un totale di 10.5 mm !

Penetrazione nel legno

La penetrazione nel legno di abete è presa comunemente come indice dell'efficacia di un

proiettile. Essa può essere calcolata con la formula di Weigel

$$P = 0.03 \frac{GV^{1.5}}{C^2}$$

oppure con quella di Hatscher che ha il vantaggio di tener conto del fattore di forma i , il che è utile specialmente per proiettili di fucile

$$P = \frac{E}{3.5 \cdot Si}$$

Penetrazione nell'osso

La formula che per proiettili di pistola incamiciati fornisce i migliori risultati è

$$P = 0.44 \frac{G}{C} \left(\frac{V - 60}{100} \right)^2$$

Per proiettili a punta arrotondata si deve sostituire la costante 0.44 con 0.30 e per proiettili wad-cutter con la costante 0.15.

Dalla velocità al momento dell'impatto vengono detratti 60 m/s che rappresentano la perdita di velocità per effetto del solo impatto; ciò significa, in altre parole, che un proiettile con velocità inferiore a 60 m/s produce sull'osso solo un effetto contusivo, ma non ne spezza il tessuto. Questa cosiddetta velocità limite di 60 m/s è riferita a proiettili per pistola a punta tondeggianti o a palle sferiche; nel caso di proiettili con elevata densità sezionale oppure molto appuntiti, è chiaro che la velocità limite sarà inferiore. Se il proiettile attraversa altri tessuti (indumenti, muscolo), bisognerà ovviamente tenerne conto.

Penetrazione nella cute

Il limite di velocità a cui un proiettile è ancora in grado di bucare la cute umana è stata studiata per proiettili di pistola o per palle sferiche e risulta valida la formula del Sellier

$$V_{\text{lim}} = 125 \frac{1}{D_s} + 22$$

in cui D_s rappresenta la densità sezionale. Questa è data dal rapporto G/S .

Dalla formula si ricava, ad esempio, che un pallino da caccia di 3 mm di diametro non riesce a perforare la pelle, ma procura solo una contusione, se non raggiunge la velocità di 78 m/s.

Nonostante ci sia ancora qualcuno che crede che gli effetti terminali risalgano alla sua temperatura ("piombo caldo"), un proiettile (purché non abbia anche una "energia interna" da liberare all'impatto, come dell'esplosivo) agisce attraverso la propria energia cinetica, notoriamente proporzionale alla propria massa e al quadrato della velocità, proprio come tutte le armi da sparo (es. aria compressa) e da lancio (fionda).

Un corpo attinto (termine tecnico, equivale a "colpito") dal proiettile subisce dei danni in virtù di una trasformazione in lavoro della propria energia cinetica. Facciamo un esempio quantitativo: una palla 7.62NATO ha, a qualche decina di metri dalla bocca, una energia di 2700 J, più o meno. Equivale teoricamente (niente aria!) a una massa di 1 kg che cade da 275m. Relativamente facile anche trovare altri esempi di fisica didattica, molto meno facile predire matematicamente i danni effettivi, in quanto entrano in ballo deformazioni plastiche, snervamenti, rotture, sfibramenti, geometrie imprevedibili, non linearità ecc. Non a caso, anche i crash test delle auto, dopo montagne di simulazioni al computer, devono essere provati empiricamente.

Altri fattori importanti in balistica terminale, data una certa energia di proiettile, sono:

- la frazione ceduta al corpo: se la palla "trapassa" dalla parte opposta (in gergo giudiziario: ferita transfossa), questa manterrà una energia residua, quindi ne avrà ceduta al corpo, trasformandola in lavoro "utile", solo una porzione di quella disponibile;
- il tempo in cui tale trasformazione si attua: a parità di energia, minore è il tempo, maggiore è la potenza in gioco; occhio quindi a usare termini come energia e potenza che sono sì legate ma profondamente differenti! Si potrebbe stare una vita sotto una lampadina da 40W ma se potessimo "sparare" l'energia consumata in un anno (350kWh) in un flash di 0.1s (1.2 MW!), altro che cremine per l'igiene della pelle!

È a questo punto che entra in ballo anche la geometria e la costituzione della palla e il motivo di una loro disorientante varietà (vedi altro box). In generale, non è perché ci si deve divertire a disintegrare corpi animali o cose: specialmente in campo di polizia e difesa, quello che si cerca è l'immediata neutralizzazione dell'avversario (e non necessariamente il suo decesso) anche con un solo colpo, evitando che questi, pure se ripetutamente colpito e ormai più di là che di qua, possa reagire e farci la bua come regalo d'addio. Questa proprietà è nota come potere d'arresto (*stopping power*).

Un rapido cenno al fatto che storicamente si possono distinguere tre scuole di pensiero sulle caratteristiche del proiettile:

1. "lento e pesante": è la più antica e tanto amata dagli yankee; la palla è quasi sicuramente ritenuta, scaricando sul malcapitato tutta la sua energia cinetica (non molta) e la sua quantità di moto (assai);
2. "piccolo e veloce": si basa su palle di piccolo diametro ma molto allungate e affusolate, sparate con velocità elevate; si generano lunghi canali ("tramiti") e grandi cavità (a causa degli effetti idrodinamici, al ripetuto ribaltamento e frammentazione della palla) sui tessuti colpiti;
3. "di-tutto-un-po": visto che per ogni filone di pensiero ci sono pro e contro, si cerca un mix ideale tra velocità, forma, dimensioni, materiali ed effetti di espansione e frammentazione (dopo che ha colpito, ovviamente!) della palla in funzione del tipico uso che ne verrà fatto e della relativa ambientazione.

La stessa formula può essere usata anche per indumenti; sostituendo il valore +100 a +22 si ha la velocità limite per la tuta da combattimento americana a sei strati di tessuto.

Penetrazione nei tessuti molli del corpo umano

Sulla base di studi compiuti sulla gelatina balistica il Sellier è pervenuto alla formula

$$P = 2.3 \frac{G}{S} \ln \left(\frac{V - V_{lim}}{50} \right)$$

in cui dalla velocità di impatto V viene detratta la velocità limite relativa alla cute, il cui spessore viene però computato come spessore di tessuto muscolare

Le formule sopra riportate non sono solamente delle curiosità matematiche, ma possono orientare nella soluzione di problemi di balistica giudiziaria, di cui si riportano alcuni esempi.

1) Un uomo è stato colpito da un colpo di pistola da circa 100 metri di distanza che ha forato il cranio da parte a parte per complessivi cm 1 di osso; è possibile che sia stata usata una cal. 7.65 ACP?

Un tale proiettile con velocità iniziale di 285 m/s, a 100 metri ha ancora una velocità di 240 m/s. Le perdite di velocità che subisce all'impatto sono di 35 m/s per impatto con la cute e di 60 m/s per l'impatto sull'osso; 10 m/s li perde nella perforazione dei primi 5 mm. di osso ed entra quindi nel cervello alla velocità di 135 m/s; a questa velocità perfora 12 cm di tessuti molli perdendo altri 35 m/s; ulteriori 60 m/s li perde all'impatto con la parete opposta del cranio e altri 10 m/s per la sua perforazione. Residuano quindi solo 30 m/s, proprio al limite della possibilità della completa perforazione (sperimentalmente si è accertato che da distanza ravvicinata solo l'80% dei proiettili cal 7.65 perfora il cranio da parte a parte; è quindi possibile, ma improbabile che vi sia riuscito a 100 metri di distanza).

2) Una persona viene colpita da un colpo cal. 9 Para da circa 100 metri di distanza, con perforazione della colonna vertebrale e fuoriuscita dalla parte opposta. È sufficiente un colpo di pistola ($V= 280$ m/s) o deve ipotizzarsi un colpo di mitra ($V= 400$ m/s) ?

Le perdite di velocità sono di 60 m/s per impatto e attraversamento cute ed abiti, 60 m/s per impatto con l'osso spesso 2 cm, 20 m/s per la sua perforazione; rimangono solo 140 m/s insufficienti per perforare tutto il ventre e la cute e gli abiti nella parte anteriore; deve quindi ipotizzarsi che il colpo sia stato sparato con un mitra.

Penetrazione sperimentale in cm del proiettile militare 30-06 ($V_0=845$ m/s, $P= 9.7$ g) alla distanza di 180 metri

	media	massima
--	-------	---------

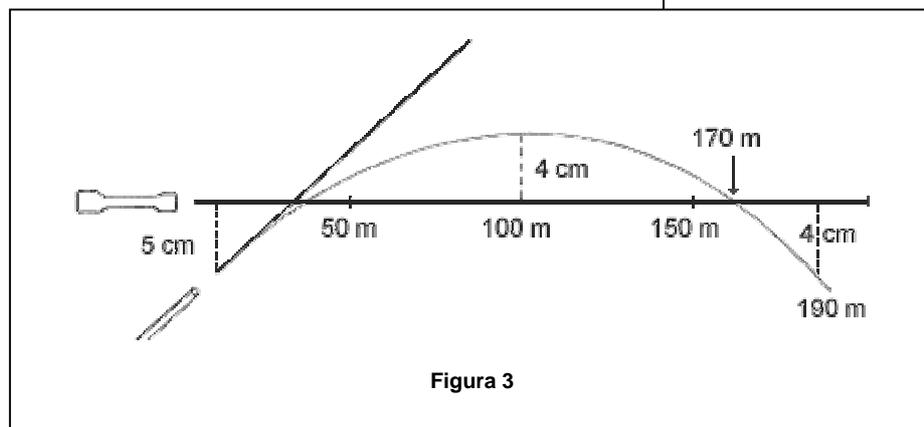
Ghiaia	17.7	20
Muro di mattoni	11	16.5
Sabbia asciutta	18.5	20.7
Sabbia bagnata	18.5	23.3
Argilla	62	73.5
Terra sciolta	50	50

LA TRAIETTORIA UTILE

La balistica esterna ha il compito di consentire il calcolo di gittate di ogni genere, sia per proiettili di piccolo calibro che di artiglierie.

Alla maggior parte delle persone accade però ben di rado di dover calcolare traiettorie di chilometri, ma hanno bisogno di conoscere i dati di tiro della propria arma nell'ambito della gittata di pratico impiego, vale a dire tre o quattrocento metri al massimo per i fucili a palla e un centinaio di metri al massimo per le armi corte.

I dati relativi a questo tipo di traiettoria possono essere calcolati con ottima precisione, partendo dai pochi dati forniti dal produttore delle munizioni o dai dati misurati con un cronografo. Il calcolo, relativo a traiettorie molto tese e con angolo di proiezione minimo, richiede una notevole precisione poiché non si può trascurare, come avviene per le lunghe gittate, la circostanza che la linea di proiezione non coincide con la linea di mira.



Come si vede dalla Figura 3, in cui la curvatura della traiettoria è stata volutamente esagerata per meglio rappresentare il fenomeno, la traiettoria interseca due volte la linea di mira; una prima volta ad una distanza di 20-40 metri dalla bocca dell'arma e una seconda volta alla distanza per la quale l'arma è stata azzerata.

Un primo punto di partenza per lo studio della traiettoria venatoria è dato dalle tabelle balistiche che le fabbriche di munizioni forniscono per le proprie cartucce e di cui quindi occorre apprendere l'uso ed il significato.

Le tavole europee hanno il contenuto di quella qui riportata per una cartuccia della RWS.

Cartuccia RWS 7x64 HMK

DATI BALISTICI

Peso del proiettile: 11.2 g
 Peso della polvere: 3.75 g
 Lunghezza del proiettile: 34 mm
 Lunghezza della canna: 650 mm
 Pressione massima: 3600 kg/cm²
 Velocità a 10 m: 840 m/s

Distanza m	Energia kgm	Velocità m/s	Tempo di volo s
0	412	850	0
50	370	805	0.060
100	334	765	0.123
150	300	725	0.190
200	272	690	0.260
300	219	620	0.411

DISTANZA DEL PUNTO DI IMPATTO DALLA LINEA DI MIRA IN CM

Dist. m	DOA a	Con cannocchiale e taratura a:				
		100m	150m	200m	300m	100m
50	+1.5	-0.5	+0.5	+2.5	+6.5	+1
100	+4	*	+2.5	+6	+14	*
150	+2	-4	*	+5	+17	-5.5
200	-4.5	-12	-7	*	+16	-15
300	-31	-42	-35	-24	*	-48

Il significato dei dati è presto detto; sono indicate le ordinate progressive di cinque traiettorie secondo cinque diverse distanze di azzeramento e con impiego di cannocchiale (convenzionalmente supposto avere l'asse ottico a 5 cm sopra l'asse della canna) e quelle di una traiettoria con impiego dei punti di mira meccanici, convenzionalmente supposti essere a due cm sopra l'asse della canna. È indicata inoltre la traiettoria per la distanza ottimale di azzeramento (DOA), con cannocchiale.

I dati ci dicono quindi che per un azzeramento ottimale a 170 metri, se il bersaglio è posto a 100 metri il proiettile colpirà 4 cm più in alto e che se il bersaglio è posto a 300 metri il proiettile colpirà 31 cm più in basso rispetto al punto mirato.

I valori delle ordinate sono riferiti, si ripete, a linee di mira convenzionali; quindi per avere dati veramente precisi, validi nel caso specifico, occorre misurare l'effettiva distanza tra asse del cannocchiale e asse della canna (ad esempio esso può essere superiore a 5 cm nei combinati); occorre poi tener conto delle variazioni di velocità del proiettile a seconda della lunghezza della canna e degli altri fattori già visti. Nella tabella è indicata molto opportunamente anche la velocità a 10 metri dalla volata perché la velocità

iniziale viene calcolata teoricamente da essa.

Le tabelle dei paesi anglosassoni sono alquanto più sintetiche ed in genere, invece di indicare le ordinate progressive, si limitano ad indicare il valore della *mid-range trajectory* e cioè il valore dell'ordinata presa a metà della gittata e misurata rispetto alla linea di sito. Talvolta esse sono compilate secondo il modello europeo ma con i dati riferiti a 100, 200, 300 yarde e secondo una linea di mira per cannocchiale pari a un pollice e mezzo (3.8 cm) sopra l'asse della canna.

FMJ? NO, SJHP

In funzione della cartuccia e del suo utilizzo, parallelamente alla relativa carica di lancio, si possono trovare una infinità di tipi di palla (forma e materiale). Abbiamo già accennato qualcosa in merito in argomento alle caratteristiche aerodinamiche, ma molto si lavora anche in funzione delle caratteristiche terminali, ovvero cosa succede quando questa "attinge" l'obiettivo verso il quale è stata lanciata. Ad esempio, nei poligono sportivi, per motivi di sicurezza e l'ovvietà dello scopo, è obbligato l'uso di palle in piombo nudo (*lead*), senza camiciatura. La 22LR è nativa in questa costituzione, con una forma ogivale arrotondata (RN, *round nose*). Si usano anche geometrie WC (*wad cutter*, cilindriche) e SWC (*semi-wad cutter*, troncoconiche), che lasciano un bel foro netto nel bersaglio. Quando invece l'obiettivo è un tessuto animale, si cerca di fare più danni possibile. Si possono così avere palle SJ (*semi-jacketed*), con mantellatura parziale e ogiva in piombo, HP (*hollow point*), con cavità in corrispondenza dell'ogiva, SP (*soft point*), con una piccola zona di piombo nudo in punta, FN (*flat nose*), tronco-ogivali a punta piatta, AP (*armor piercing*), perforanti con punta rinforzata in metallo duro, TC (*truncated cone*), troncoconiche. A queste definizioni e le loro combinazioni (es. SJHP) sono riconducibili la maggior parte delle palle in commercio (e lasciamo qui stare le particolarità), tenendo però conto che ciascun produttore tende magari a usare nomi personalizzati, roboanti e d'effetto, al punto che negli USA una certa cartuccia della Winchester viene ironizzata con EBKDDERSFSCCFRTDACHSIBSDXT MELAWKITNBT (*Evil Baby-Killing Death-Dealing Emergency-Room-Surgeon-Finger-Shredding Crime-Causing Flesh-Ripping Too-Dangerous-for-Average-Citizen Heat-Seeking Innocent-Bystander-Search-and-Destroy eXploding Tearing Maiming End-of-Life-As-We-Know-It Thermo-Nuclear Black Talon*).

Convenzioni internazionali obbligherebbero i militari ad usare sempre palle completamente camiciate (FMJ, *full metal jacket*: ricordate Kubrick?) per evitare truculenti fenomeni alla dum-dum (palle da fucile realizzate nel secolo scorso presso l'omonimo arsenale inglese in India). Per questo, le nostrane forze di polizia usano cartucce FMJ (anche se, a onor del vero, la PS potrebbe sottrarsi) nonostante le non proprio ottimali caratteristiche per tale scopo. Una 9Para NATO, infatti, è animata da discreta energia e una palla FMJ, mantenendosi sostanzialmente integra, passa agevolmente lamiera d'auto (e qui va bene) ma anche tessuti umani (e qui va male: chi o cosa c'è dietro il bersaglio?) e rimbalza che è una bellezza (peggio ancora).

Un concetto da chiarire è quello delle **distanza ottimale di azzeramento** (DOA): questa indica quella gittata alla quale la traiettoria percorsa dal proiettile non supera mai la distanza (positiva o negativa, di 4 cm dalla linea di mira; in altre parole

ciò significa che se la DOA di un proiettile è di 170 metri, qualunque bersaglio posto tra la bocca dell'arma e tale distanza (alla quale debbono aggiungersi 20-30 metri in cui il proiettile scende al di sotto della linea di mira per un valore inferiore e 4 cm, verrà colpito con uno scarto massimo di 4 cm riferito alla linea di mira. Questo ovviamente in linea teorica se non intervengono cause di dispersione del tiro. È chiaro che la DOA ha interesse solo per il cacciatore il quale non può di certo mettersi a misurare la distanza a cui si trova il capo di selvaggina e pretende solo di colpire più o meno dove ha mirato, senza preoccuparsi della curvatura della traiettoria. Se invece si spara ad un bersaglio ad una distanza ben definita, l'arma deve comunque essere azzerata per detta distanza affinché l'errore di puntamento non sia eccessivo e non si cumuli con gli altri fattori di dispersione del tiro.

In alcune tavole anglosassoni è indicata anche una distanza ottimale di azzeramento a breve distanza (10-30 metri) il cui significato sarà subito chiaro osservando la Figura 3: siccome la traiettoria incontra due volte la linea di mira, invece di azzerare l'arma rispetto al punto DOA, è possibile azzerarla al punto dove la traiettoria incontra la linea di mira per la prima volta; ciò può tornare utile quando non si disponga di una sufficiente distanza sul poligono e ci si accontenta di una prima taratura approssimativa.

Giova ricordare che i dati più attendibili forniti dalle tabelle sono quelli relativi ai tempi di volo, facilmente misurabili, ed alle velocità residue alle varie distanze; invece le ordinate progressive in genere non vengono misurate, ma sono calcolate e spesso risentono di errori derivanti dal sistema di calcolo usato.

Per eseguire calcoli relativi ad una data traiettoria utile, fino a circa 500 metri, occorre apprendere come sia possibile integrare ed estendere i valori tabellati.

Nei calcoli che seguono abbiamo sempre preso come base i dati della tabella del proiettile 7x64 HMK della RWS.

Calcolo dei tempi di volo intermedi

Il tempo di volo è dato dal rapporto tra spazio percorso e velocità

$$t = \frac{s}{v}$$

ove v sta ad indicare la velocità media del proiettile nel tratto in questione. Una sufficiente approssimazione si ottiene assumendo come

velocità media la velocità a metà percorso così che il tempo di volo a 100 metri sarà dato da 100 diviso per la velocità a 50 metri, quello a 150 dividendo 150 per la velocità a 75 metri, ecc.

Ad esempio dovendosi calcolare il tempo di volo a 200 metri, si dividerà 200 per la velocità a 100 metri di distanza, pari a 765 m/s, ottenendosi $t=0.261$ s (in tabella 0.260).

Se la velocità a metà percorso non è nota, potrà usarsi il valore ottenuto facendo la media tra valore iniziale e finale sul tratto.

Ad esempio il tempo di volo per la distanza di 75 metri si otterrà dividendo 75 per la media tra 805 e 765 (= 785 m/s), ottenendosi $t=0.095$ s.

Nota: la media può essere aritmetica (sommare i due valori e dividere il risultato per due) oppure geometrica (moltiplicare i due valori ed estrarre la radice quadrata). Un valore perfetto può ottenersi trovando le due medie, facendo la media aritmetica e la media geometrica dei due valori trovati e così via, finché i due valori coincidono.

Calcolo delle velocità noti i tempi di volo

Questo sistema è dovuto a W. Weigel e, oltre ad essere molto preciso, è veramente utile al comune sperimentatore poiché il tempo di volo alle varie distanze è il dato più facilmente misurabile con gli apparecchi elettronici in commercio. La precisione ottenibile dipende evidentemente dalla esattezza dei dati a disposizione e quindi, per quanto possibile, si deve evitare di ricorrere a dati interpolati, quali quelli ottenuti nell'esempio precedente.

Il Weigel parte dalla considerazione che la perdita di velocità in un determinato tratto della traiettoria dipende dal coefficiente balistico del proiettile e dalla velocità a metà di essa; così, ad esempio, il calo di velocità da V50 a V100 è calcolabile in funzione di V75; ogni differenza di velocità tra due punti simmetrici rispetto alla distanza di 75 m sarà esprimibile in funzione della stessa V75. Si potrà quindi scrivere, ad esempio

$$V_0 - V_{150} = 3 (V_{50} - V_{100})$$

e così via.

Se ora noi disponiamo dei tempi di volo a 100-200-300 metri, possiamo già calcolare direttamente tre velocità a 50-150-250 metri e cioè:

$$\begin{aligned} V_{50} &= 100/0.123 = 813 \text{ m/s} \\ V_{150} &= 100/ (0.260 - 0.123) = 729 \text{ m/s} \\ V_{250} &= 100/ (0.411 - 0.260) = 662 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Per il punto intermedio di 125 m. si potrà egualmente scrivere

$$V_{50} - V_{200} = 3 (V_{100} - V_{150})$$

e per il punto intermedio di 175 metri:

$$V_{100} - V_{250} = 3 (V_{150} - V_{200})$$

E da queste relazioni si ricava

$$V_{100} = (3V_{50} + 6V_{150} - V_{250}) / 8$$

Nell'esempio sarà quindi

$$\begin{aligned} V_{100} &= (3 \cdot 813 + 6 \cdot 729 - 662) / 8 = 768 \text{ m/s} \\ V_{200} &= (6V_{150} + 3V_{250} - V_{50}) / 8 \text{ e quindi} \\ V_{200} &= (6 \cdot 729 + 3 \cdot 662 - 813) / 8 = 693 \text{ m/s} \\ V_0 &= 3 (V_{50} - V_{100}) + V_{150} \\ V_0 &= 3 \cdot (813 - 768) + 729 = 864 \text{ m/s} \\ V_{25} &= (3V_0 + 6V_{50} - V_{100}) / 8 \\ V_{25} &= (3 \cdot 864 + 6 \cdot 813 - 768) / 8 = 837 \text{ m/s} \\ V_{300} &= V_{100} - 2(V_{150} - V_{250}) \\ V_{300} &= 768 - 2(729 - 662) = 634 \text{ m/s} \\ V_{400} &= V_0 - 2(V_{100} - V_{300}) \\ V_{400} &= 864 - 2 \cdot (768 - 634) = 596 \text{ m/s} \\ V_{500} &= V_0 - 5(V_{200} - V_{300}) \\ V_{500} &= 864 - 5 \cdot (693 - 634) = 569 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Sarà perciò possibile, noti solo tre tempi di volo del proiettile, risalire con una buona approssimazione alle velocità dello stesso per vari tratti dell'intera traiettoria venatoria.

Calcolo di velocità intermedie

Qualora siano noti V0, V150 e V300, si può ricorrere al metodo consigliato da W. Lampel che consente di calcolare le velocità intermedie di 50 in 50 metri con sufficiente approssimazione per i proiettili standard usati per caccia.

Siano ad es. $V_0=850$ m/se; $V_{150}=735$ m/s e $V_{300}=620$ m/s e si calcolino del differenze:

$$\begin{aligned} V_0 - V_{150} &= 125 \\ V_{150} - V_{300} &= 105 \end{aligned}$$

Si calcolino ora

$$\begin{aligned} a &= 37\% \text{ di } 125 = 46.25 \\ b &= 70\% \text{ di } 125 = 87.5 \\ c &= 36\% \text{ di } 105 = 37.8 \\ d &= 69\% \text{ di } 105 = 72.45 \end{aligned}$$

Sarà poi

$$\begin{aligned} V_0 - a &= 850 - 46 = 804 (V_{50}) \\ V_0 - b &= 850 - 87.5 = 762 (V_{100}) \\ V_{150} - c &= 725 - 37.8 = 687 (V_{200}) \\ V_{150} - d &= 725 - 72.45 = 620 (V_{300}) \end{aligned}$$

con buona corrispondenza ai valori tabulati.

Tracciamento di una traiettoria

venatoria qualsiasi

Non sempre si dispone dei dati relativi alla traiettoria di un proiettile, oppure può essere necessario calcolare una traiettoria per un punto di azzeramento ed una linea di mira diversi da quelli indicati nelle tavole commerciali.

Un sistema molto valido è quello proposto da F. Avcin il quale calcola le ordinate progressive della traiettoria in relazione ai tempi di volo secondo la formula

$$y = \frac{gT^2}{2} \left[\frac{x}{X} - \left(\frac{t}{T} \right)^2 \right]$$

in cui X è la distanza di azzeramento.

Si voglia, ad esempio tracciare la traiettoria del proiettile preso ad esempio, con arma azzerata a 300 metri.

Le ordinate progressive saranno date da

$$y_{50} = \frac{9.81 \cdot 0.411^2}{2} \left[\frac{50}{300} - \left(\frac{0.06}{0.411} \right)^2 \right] = +12 \text{ cm}$$

e così via ottenendosi

$$\begin{aligned} y_{100} &= +20 \text{ cm} \\ y_{150} &= +23.7 \text{ cm} \\ y_{200} &= +22 \text{ cm} \end{aligned}$$

Se si calcola anche il tempo di volo per 350 metri, pari a 0.503 s, si potrà calcolare anche l'ordinata la per

$y_{350} = -27.4 \text{ cm}$ (negativa in quanto al di sotto della linea di sito).

I valori così trovati e riportati in un grafico come in Figura 4, consentiranno di tracciare la traiettoria voluta. Naturalmente per le ordinate occorre scegliere una scala tre o quattro volte maggiore di quella usata per le ascisse (cioè per rappresentare le distanze).

Supponendo ora che si spari con un cannocchiale la cui linea di mira si trovi 5 cm sopra l'asse della canna, sarà sufficiente riportare la misura di 5 cm al di sopra di O nel punto A; la linea congiungente il punto A con il punto di azzeramento, rappresenta la linea di mira attraverso il cannocchiale e da essa potranno misurarsi le varie distanze dalla traiettoria e cioè le ordinate progressive rapportate alla linea di mira in considerazione.

Le ordinate progressive rispetto alla linea di mira si ottengono, matematicamente, sottraendo dal valore trovato rispetto alla linea di sito, la quantità data dalla formula

$$h \left(1 - \frac{x}{X} \right)$$

in cui h indica l'altezza dell'asse del congegno di mira sopra la linea di mira, in metri; ad esempio per $h=0.05 \text{ m}$ e $y_{100}=+0.20 \text{ m}$, si avrà

$$0.20 - 0.05 \cdot \left(1 - \frac{100}{300} \right) = 16.5 \text{ cm}$$

come si può misurare dal grafico.

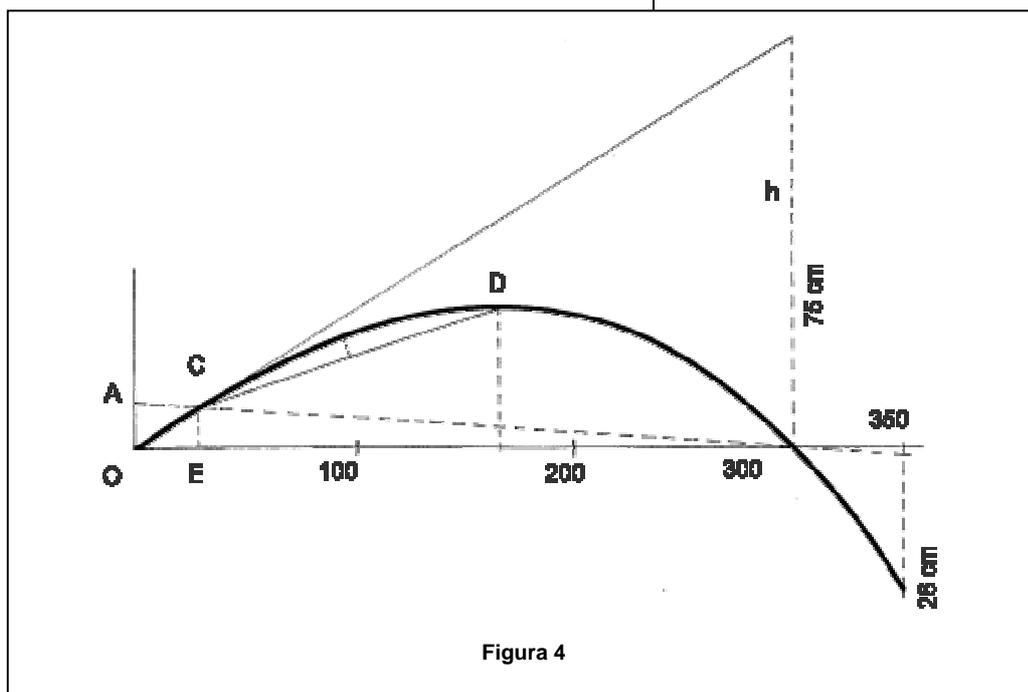


Figura 4

L'ordinata al vertice della traiettoria può essere letta dal grafico. Per cartucce da caccia aventi traiettoria tesa, si può assumere che essa sia posta poco oltre la metà della gittata e cioè

$$x_v = 1.1 \frac{X}{2}$$

e quindi, nell'esempio, $X_v = (300/2) \cdot 1.1 = 165 \text{ m}$.

Alla distanza X_v perciò, la distanza della linea di mira dalla linea di sito si

è ridotta circa alla metà e si può quindi accettare la regola empirica secondo cui l'ordinata massima della traiettoria riferita alla linea di sito è pari all'ordinata sopra la linea di mira a metà gittata, aumentata della metà dell'altezza della linea di mira. Perciò se in tabella si legge che l'ordinata a 150 m è eguale a +17 cm sopra la linea di mira con cannocchiale di 5 cm, l'ordinata massima rispetto alla linea di sito sarà pari a $17 + 5/2 = 19.5$ cm (in Figura 4 esso è pari a cm 22, valore da ritenersi più esatto rispetto a quello ottimistico della tabella).

Se ora dal punto C si traccia quella corda alla curva che non disti da essa più di 4 cm, si otterrà il punto D, la cui ascissa individua esattamente la distanza ottimale di azzeramento (DOA), pari, nella figura a 161 m.

Infine la distanza OE indica la distanza a cui la traiettoria taglia per la prima volta la linea di mira (distanza breve di azzeramento), pari a m. 20.

La distanza tra la linea di mira e la traiettoria a 350 metri (pari nell'esempio a 26 cm), ci dice che sparando con l'arma azzerata a 300 metri contro un bersaglio che invece si trova a 350 metri, si commette un errore di ben 26 centimetri.

Angolo di proiezione

Tracciando la tangente alla traiettoria all'origine O e abbassando da essa la perpendicolare al punto di caduta, questa perpendicolare misura lo spazio di caduta h del proiettile alle varie distanze. Da questo valore si ricava direttamente l'angolo di proiezione applicando la semplice formula trigonometrica

$$\tan \varphi = \frac{h}{X}$$

Nell'esempio sarà $\tan \varphi = 0.75/300$, da cui l'angolo sarà $0^\circ 8, 35,66''$.

Dalla figura I si rileva che l'angolo di proiezione è opposto al vertice, e quindi eguale, all'angolo formato dalla linea di proiezione con la linea di mira. Supponendo che la linea di mira sia posta a 5 cm sopra l'asse della canna, la distanza breve di azzeramento sarà data direttamente dalla formula $0.05/\tan \varphi = 20$ m, come già ricavato dal grafico.

Caduta del proiettile rispetto alla linea di proiezione

La caduta del proiettile h, sopra calcolata, tiene conto del fatto che nell'atmosfera la caduta del proiettile viene rallentata dalla resistenza dell'aria e da una certa portanza del proiettile, così che essa è

sempre inferiore a quella che si avrebbe nel vuoto. Nel vuoto infatti la caduta sarebbe stata data dalla formula $h=(g \cdot T^2)/2$ e sarebbe stata pari a 83 cm invece dei 75 reali. Da questo fenomeno deriva la difficoltà di calcolare con sistemi semplici la traiettoria di un proiettile, pur essendo nota la sua legge di resistenza, perché la diminuzione della componente rappresentante la forza di gravità, variabile in relazione a molti fattori, produce un aumento della gittata rispetto a quella che si otterrebbe supponendo che la caduta avvenisse secondo la legge valevole per il vuoto e, in misura minore, supponendo che la caduta avvenisse verticalmente nell'aria.

In via alquanto approssimativa, la caduta del proiettile nell'aria può essere calcolata adottando coefficienti di correzione della forza di gravità.

Il primo coefficiente è quello proposto dal Siacci, valido per gittate piuttosto brevi e tese, e fornito dalla formula

$$c_s = \frac{1}{3} \left(1 + \frac{2X}{V_0 T} \right)$$

Nell'esempio si avrebbe

$$c_s = \frac{1}{3} \left(1 + \frac{2 \cdot 300}{840 \cdot 0.411} \right) = 0.912$$

Se ora moltiplichiamo 83 cm per 0.912, otteniamo proprio il valore di 75.5 cm (naturalmente si poteva anche inserire il valore di $9.81 \cdot 0.912 = 8.9$ come valore di "g" nella formula della caduta nel vuoto).

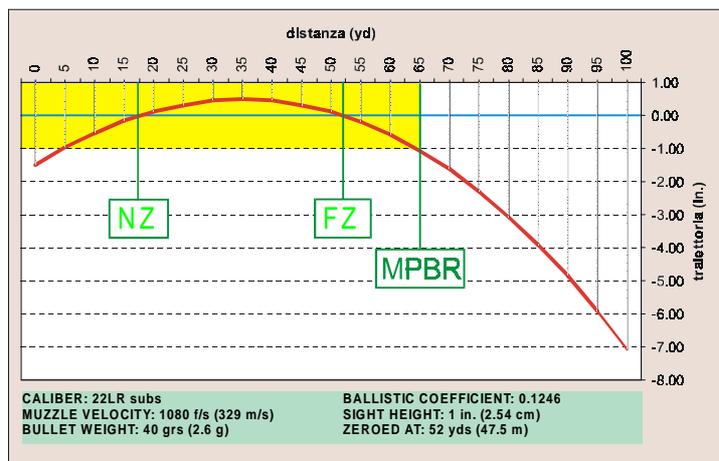
Il secondo è stato proposto da Mc Shane-Kelly-Reno ed è espresso in funzione del rapporto $R=V_c/V_0$ in cui V_c indica la velocità alla distanza considerata;

il valore della gravità sarà dato dalla formula

$$g = 5.126 + 6.337R - 1.65R^2$$

Nell'esempio si avrebbe $R = 620/840 = 0.738$ e $g=8.9$ come con la formula di Siacci.

POINT BLANK E LE STORIE TESE



Ora che ne sappiamo un po' di più sulle traiettorie arcobaleno, vediamo di introdurre (solo introdurre!) alcuni concetti che permettono di convivere.

La ricerca di una elevata velocità del proiettile (sia iniziale che come mantenimento), oltre che per meri fini di energia cinetica da scaricare sul bersaglio, è giustificata anche dalla richiesta di una traiettoria tesa, ovvero, all'interno di una ragionevole distanza, più piatta possibile.

Il perché, direi, è facilmente intuibile. Dato che non è etico (e neanche permesso) di cacciare selvaggina con mitragliatrice e palle traccianti, rimane il problema di infilare un primo ed unico colpo in una zona vitale ad una certa distanza stimata a naso. Ora, se non si ha un sistema di mira supersofisticato e tarato sulle tavole balistiche delle munizioni usate, stazione meteo portatile e telemetro laser, non è poi così semplice.

Ci si deve allora accontentare di colpire almeno un intorno del punto mirato, e tale intorno sarà stabilito in funzione del bersaglio. facciamo allora riferimento alla figura, che riporta, a titolo puramente contingente, una traiettoria di esempio. Considerata una situazione di taratura delle mire e tale che, con la linea azzurra rappresentante la linea di mira ed una canna situata 1.5" più sotto, si abbia un *far zero* (FZ) a 54 yd e stabilito un raggio di tolleranza di 1", si può notare come questo sia soddisfatto tra i 5 ed i 65 yd dall'arma (il rettangolo giallo di figura). Come dire che all'interno di tale distanza massima, si avrà la certezza (che non è di questo mondo, ma ammettiamo per ipotesi che tutte le restanti condizioni al contorno siano sotto stretto controllo) di colpire entro 1" dal punto mirato. L'ampiezza di 2" così determinata (1" sopra la linea di mira e 1" sotto) si chiama zona critica (*critical zone*), mentre la distanza massima entro la quale tale condizione viene rispettata si chiama *maximum point blank range* (MPBR). Dovrebbe essere adesso chiaro che, in una situazione *hunting*, si tenderà ad azzerare l'arma ad una distanza opportuna e più o meno fissa, preoccupandosi in seguito solo che il bersaglio sia all'interno del *point blank*. Sarà anche chiaro che tutto ciò non interessa il tiratore da poligono, che si premunirà con calma di far coincidere il FZ con il punto mirato.

La zona di 2" riportata ad esempio è invero troppo restrittiva, ma serviva solo a capire il concetto. Più realisticamente, questa può andare dai 3" su media selvaggina (tipo *homo sapiens bellicosus*) alla decina per caccia africana.

IL COEFFICIENTE BALISTICO

Nella pagina dedicata alla balistica esterna abbiamo già visto che cosa si intenda per coefficiente balistico (C_b). Il suo calcolo teorico è alquanto complicato perché non è facile descrivere matematicamente la forma di un proiettile (lunghezza e raggio di curvatura della parte ogivale, rotondità, appiattimento, incavatura della punta, rastrematura della coda) al fine di determinare quel valore essenziale che è il fattore di forma $-i-$.

Quasi tutti i programmi di balistica richiedono l'introduzione del C_b e forniscono una funzione per calcolarlo in base alla sola conoscenza della perdita di velocità che il proiettile subisce su di una certa tratta.

Il C_b usato dai programmi basati su tavole di ritardazione tipo Ingall o Lovry e che utilizzano il metodo semplificato proposto dall'italiano Siacci alla fine dell'ottocento è fornito dalla formula

$$C_B = \frac{P}{i \cdot D^2} \beta$$

in cui il peso è in grammi, il diametro in millimetri, $-i-$ è il fattore di forma e $\beta=1.422$ serve solo per adattare la formula alle misure decimali (se si usano le misure in grani e pollici, va tolto).

La formula è relativa all'atmosfera standard su cui è stata calcolata la curva di ritardazione per il proiettile tipo e che corrisponde ad una densità dell'aria che, a seconda dei casi, va da 1203 a 1225 g/m³.

Per altre condizioni atmosferiche occorre moltiplicare il valore trovato per un fattore di correzione $-d-$, dato dal rapporto tra la densità reale e quella standard.

Il valore della densità reale è data dalla formula

$$\delta = \frac{347 - 0.033H_m}{273 + \vartheta}$$

in cui H_m è l'altitudine sul l.m. in metri e ϑ è la temperatura in gradi centigradi; la temperatura avrà ovviamente valore positivo o negativo a seconda che sia sopra o sotto zero.

Il fattore di correzione $-d-$ sarà perciò dato dal valore

$$d = \frac{\delta}{1.225}$$

A questo punto perciò l'unico valore ancora ignoto è il fattore di forma che però può essere agevolmente

calcolato in base al coefficiente aerodinamico C_x del proiettile, a sua volta calcolabile dalla perdita di velocità su di una data tratta.

Il C_x è dato dalla seguente formula

$$C_x = \frac{\ln V_1 - \ln V_2}{\frac{\delta FS}{2P}}$$

in cui V_1 è la velocità iniziale in m/s, V_2 è la velocità finale, S è la lunghezza del tratto considerato in metri, F è la sezione del proiettile in metri quadrati e P è il peso in kg.

Se la formula viene moltiplicata per 1000 i valori di F e P possono essere espressi in millimetri quadrati e in grammi. Il coefficiente delta sta per la densità dell'aria effettiva; quindi 1.225 a 15°C al l.m oppure quella calcolata con la formula di cui sopra (senza ovviamente la correzione).

A questo punto si può passare direttamente al calcolo del coefficiente di forma $-i-$ che sarà dato dalla formula

$$i = \frac{C_x V^2 \delta}{2f(v)}$$

La velocità in questo caso va espressa in Mach che si ottiene dividendo la velocità iniziale in m/s per la velocità del suono nell'aria, pari a circa 340 m/s. Delta indica la densità dell'aria.

Se si vuole una maggior precisione si può calcolare la velocità del suono in relazione alla temperatura dell'atmosfera effettiva (l'umidità influisce poco) in base alla formula

$$\text{vel} = 331.6 + 0.6 \vartheta$$

in cui ϑ è la temperatura dell'atmosfera in °C.

Unico dato che rimane ancora da stabilire è il valore della funzione di resistenza del proiettile standard $f(v)$. Le funzioni più usate sono quelle dello stesso Siacci e quella tedesca Eberhard-Sängewald. Siccome però il metodo di calcolo più usato è quello del Siacci, ho riscontrato che molti programmi e molti produttori di palle usano la sua formula.

Il Siacci ha fornito la formula per la sua curva di resistenza ed è la seguente

$$f(v) = 0.2002v - 48.05 + \sqrt{(0.1648v - 47.95)^2 + 9.6 + \frac{0.0442v(v-300)}{371 + \left(\frac{v}{200}\right)^{10}}}$$

Nei calcoli balistici il risultato viene poi ulteriormente diviso per 100.

Per opportuno riscontro si tenga presente che i risultati da ottenere sono i seguenti:

V	f(v)
100	0.0120
200	0.0492
300	0.1545
400	0.5153
500	0.8708
600	1.2324
700	1.5962
800	1.9607
900	2.3255
1000	2.6904
1100	3.0554
1200	3.4203

A riprova della validità del metodo e per consentire al lettore di controllare la corretta esecuzione dei propri calcoli, facciamo un esempio con il proiettile 8x57 militare, peso 12.8 g, velocità iniziale 755 m/s, velocità a 100 m=706 m/s, diametro 8 mm.

V	f(v)
1	0.00000
2	0.00001
3	0.00001
4	0.00002
5	0.00003
6	0.00004
7	0.00006
8	0.00008
9	0.00010
10	0.00012
11	0.00014
12	0.00017
13	0.00020
14	0.00023
15	0.00027
16	0.00031
17	0.00034
18	0.00039
19	0.00043
20	0.00048
21	0.00053
22	0.00058
23	0.00063
24	0.00060
25	0.00074
26	0.00081
27	0.00087
28	0.00093

V	f(v)
29	0.00100
30	0.00107
31	0.00114
32	0.00122
33	0.00130
34	0.00138
35	0.00146
36	0.00154
37	0.00163
38	0.00172
39	0.00181
40	0.00190
41	0.00200
42	0.00210
43	0.00220
44	0.00230
45	0.00241
46	0.00252
47	0.00263
48	0.00274
49	0.00286
50	0.00298
51	0.00310
52	0.00322
53	0.00334
54	0.00347
55	0.00360
56	0.00373

V	f(v)
57	0.00387
58	0.00400
59	0.00414
60	0.00428
61	0.00443
62	0.00457
63	0.00472
64	0.00487
65	0.00503
66	0.00518
67	0.00534
68	0.00550
69	0.00567
70	0.00583
71	0.00600
72	0.00617
73	0.00634
74	0.00652
75	0.00669
76	0.00687
77	0.00706
78	0.00724
79	0.00743
80	0.00762
81	0.00781
82	0.00800
83	0.00820
84	0.00840

C_x sarà dato (con atmosfera standard) da

$$C_x = \frac{\ln 755 - \ln 706}{\frac{1.225}{2} \cdot \frac{8^2 \cdot 3.14}{4 \cdot 12.8}} \cdot 1000 = 0.28$$

mentre -i- sarà dato da 0.28 moltiplicato per il quadrato della velocità in Mach, moltiplicato per 1.225 e diviso per il doppio del valore di f(v) per 755 m/s pari a 2x1.796

Il risultato sarà i=0.47

Il C_b sarà infine dato da 12.8 diviso per 0.40 e diviso per 8 al quadrato. il tutto moltiplicato per 1.422 ed eguale perciò a 0.605.

Siacci usava una atmosfera di 1.220. ma ciò non cambia in modo significativo il risultato finale.

Chi volesse usare in un programma balistico la curva di resistenza di Eberhard, dovrebbe servirsi dei valori di f(v) calcolati da Sängewald e che sono i seguenti:

V	f(v)
85	0.00860
86	0.00880
87	0.00901
88	0.00922
89	0.00943
90	0.00964
91	0.00986
92	0.01007
93	0.01029
94	0.01051
95	0.01074
96	0.01097
97	0.01120
98	0.01143
99	0.01166
100	0.01190
101	0.01214
102	0.01238
103	0.01263
104	0.01287
105	0.01312
106	0.01337
107	0.01363
108	0.01388
109	0.01414
110	0.01440
111	0.01466
112	0.01493

V	f(v)
113	0.01520
114	0.01547
115	0.01574
116	0.01601
117	0.01629
118	0.01657
119	0.01685
120	0.01713
121	0.01742
122	0.01771
123	0.01801
124	0.01830
125	0.01859
126	0.01889
127	0.01919
128	0.01950
129	0.01980
130	0.02011
131	0.02042
132	0.02074
133	0.02105
134	0.02137
135	0.02169
136	0.02201
137	0.02233
138	0.02266
139	0.02299
140	0.02333

V	f(v)
141	0.02366
142	0.02400
143	0.02434
144	0.02468
145	0.02502
146	0.02539
147	0.02575
148	0.02611
149	0.02647
150	0.02684
151	0.02720
152	0.02755
153	0.02791
154	0.02827
155	0.02863
156	0.02900
157	0.02937
158	0.02976
159	0.03011
160	0.03049
161	0.03086
162	0.03124
163	0.03163
164	0.03201
165	0.03240
166	0.03279
167	0.03318
168	0.03358

V	f(v)										
169	0.03397	226	0.06166	283	0.11049	340	0.32781	397	0.60335	454	0.82102
170	0.03437	227	0.06224	284	0.11179	341	0.33448	398	0.60734	455	0.82488
171	0.03477	228	0.06282	285	0.11313	342	0.34105	399	0.61113	456	0.82874
172	0.03518	229	0.06340	286	0.11451	343	0.34763	400	0.61492	457	0.83259
173	0.03559	230	0.06399	287	0.11593	344	0.35399	401	0.61871	458	0.83645
174	0.03600	231	0.06459	288	0.11739	345	0.36035	402	0.62250	459	0.84031
175	0.03642	232	0.06519	289	0.11890	346	0.36663	403	0.62628	460	0.84417
176	0.03684	233	0.06580	290	0.12046	347	0.37283	404	0.63006	461	0.84804
177	0.03726	234	0.06642	291	0.12206	348	0.37895	405	0.63384	462	0.85190
178	0.03769	235	0.06705	292	0.12372	349	0.38503	406	0.63762	463	0.85576
179	0.03812	236	0.06769	293	0.12543	350	0.39097	407	0.64140	464	0.85962
180	0.03854	237	0.06833	294	0.12720	351	0.39686	408	0.64518	465	0.86348
181	0.03898	238	0.06898	295	0.12902	352	0.40268	409	0.64896	466	0.86734
182	0.03942	239	0.06965	296	0.13091	353	0.40842	410	0.65274	467	0.87121
183	0.03986	240	0.07032	297	0.13286	354	0.41409	411	0.65652	468	0.87507
184	0.04031	241	0.07100	298	0.13488	355	0.41968	412	0.66031	469	0.87893
185	0.04076	242	0.07169	299	0.13697	356	0.42519	413	0.66409	470	0.88280
186	0.04122	243	0.07240	300	0.13914	357	0.43063	414	0.66788	471	0.88666
187	0.04168	244	0.07311	301	0.14139	358	0.43601	415	0.67167	472	0.89053
188	0.04214	245	0.07383	302	0.14372	359	0.44131	416	0.67546	473	0.88439
189	0.04261	246	0.07457	303	0.14614	360	0.44653	417	0.67926	474	0.89826
190	0.04308	247	0.07531	304	0.14865	361	0.45169	418	0.68305	475	0.90212
191	0.04355	248	0.07607	305	0.15126	362	0.45678	419	0.68685	476	0.90599
192	0.04403	249	0.07684	306	0.15396	363	0.46180	420	0.69065	477	0.90986
193	0.04451	250	0.07762	307	0.15677	364	0.46674	421	0.69445	478	0.91372
194	0.04499	251	0.07841	308	0.15969	365	0.47163	422	0.69825	479	0.91759
195	0.04548	252	0.07922	309	0.16272	366	0.47644	423	0.70206	480	0.92145
196	0.04596	253	0.08003	310	0.16587	367	0.48120	424	0.70587	481	0.92532
197	0.04645	254	0.08086	311	0.16914	368	0.48588	425	0.70968	482	0.92919
198	0.04695	255	0.08170	312	0.17254	369	0.49051	426	0.71350	483	0.93305
199	0.04744	256	0.08255	313	0.17609	370	0.49507	427	0.71731	484	0.93692
200	0.04794	257	0.08342	314	0.17976	371	0.49957	428	0.72113	485	0.94079
201	0.04843	258	0.08430	315	0.18360	372	0.50402	429	0.72495	486	0.94466
202	0.04893	259	0.08519	316	0.18760	373	0.50841	430	0.72878	487	0.94852
203	0.04944	260	0.08609	317	0.19176	374	0.51274	431	0.73260	488	0.95239
204	0.04994	261	0.08700	318	0.19608	375	0.51722	432	0.73643	489	0.95626
205	0.05045	262	0.08793	319	0.20055	376	0.52124	433	0.74026	490	0.96013
206	0.05096	263	0.08887	320	0.20520	377	0.52542	434	0.74409	491	0.96400
207	0.05147	264	0.08982	321	0.21000	378	0.52955	435	0.74793	492	0.96786
208	0.05198	265	0.09078	322	0.21496	379	0.53364	436	0.75176	493	0.97173
209	0.05249	266	0.09176	323	0.22008	380	0.53769	437	0.75560	494	0.97560
210	0.05301	267	0.09275	324	0.22537	381	0.54171	438	0.75944	495	0.97947
211	0.05353	268	0.09375	325	0.23081	382	0.54569	439	0.76328	496	0.98334
212	0.05405	269	0.09476	326	0.23642	383	0.54966	440	0.76712	497	0.98720
213	0.05458	270	0.09579	327	0.24219	384	0.55358	441	0.77086	498	0.99107
214	0.05510	271	0.09683	328	0.24812	385	0.55749	442	0.77481	499	0.99494
215	0.05563	272	0.09796	329	0.25420	386	0.56141	443	0.77865	500	0.99881
216	0.05616	273	0.09895	330	0.26045	387	0.56530	444	0.78250	501	1.00268
217	0.05670	274	0.10003	331	0.26686	388	0.56917	445	0.78635	502	1.00658
218	0.05723	275	0.10112	332	0.27341	389	0.57303	446	0.79019	503	1.01043
219	0.05777	276	0.10222	333	0.28008	390	0.57690	447	0.79404	504	1.01431
220	0.05832	277	0.10334	334	0.28684	391	0.58073	448	0.79790	505	1.01812
221	0.05886	278	0.10447	335	0.29367	392	0.58445	449	0.80175	506	1.02199
222	0.05942	279	0.10562	336	0.30054	393	0.58835	450	0.80560	507	1.02585
223	0.05997	280	0.10680	337	0.30744	394	0.59215	451	0.80946	508	1.02972
224	0.06053	281	0.10799	338	0.31430	395	0.59594	452	0.81331	509	1.03359
225	0.06110	282	0.10922	339	0.32109	396	0.59975	453	0.81717	510	1.03746

V	f(v)								
511	1.04133	568	1.26181	625	1.48309	682	1.71311	739	1.95966
512	1.04520	569	1.26568	626	1.48700	683	1.71730	740	1.96412
513	1.04906	570	1.26955	627	1.49092	684	1.72150	741	1.96560
514	1.05293	571	1.27342	628	1.49484	685	1.72570	742	1.97307
515	1.05680	572	1.27729	629	1.49876	686	1.72991	743	1.97755
516	1.06067	573	1.28116	630	1.50269	687	1.73412	744	1.98204
517	1.06454	574	1.28503	631	1.50661	688	1.73834	745	1.98654
518	1.06841	575	1.28889	632	1.51054	689	1.74257	746	1.99103
519	1.07227	576	1.29276	633	1.51448	690	1.74679	747	1.99554
520	1.07614	577	1.29663	634	1.51841	691	1.75103	748	2.00005
521	1.08001	578	1.30050	635	1.52235	692	1.75527	749	2.00457
522	1.08388	579	1.30437	636	1.52630	693	1.75951	750	2.00909
523	1.08775	580	1.30824	637	1.53024	694	1.76376		
524	1.09161	581	1.31211	638	1.53419	695	1.76801		
525	1.09548	582	1.31598	639	1.53815	696	1.77227		
526	1.09935	583	1.31985	640	1.54210	697	1.77653		
527	1.10322	584	1.32372	641	1.54607	698	1.78080		
528	1.10709	585	1.32759	642	1.55003	699	1.78507		
529	1.11096	586	1.33146	643	1.55401	700	1.78935		
530	1.11482	587	1.33534	644	1.55798	701	1.79363		
531	1.11869	588	1.33921	645	1.56196	702	1.79792		
532	1.12256	589	1.34308	646	1.56595	703	1.80221		
533	1.12643	590	1.34696	647	1.56994	704	1.80650		
534	1.13030	591	1.35083	648	1.57393	705	1.81080		
535	1.13416	592	1.35471	649	1.57793	706	1.81510		
536	1.13803	593	1.35858	650	1.58194	707	1.81941		
537	1.13190	594	1.36246	651	1.58595	708	1.82373		
538	1.14577	595	1.36633	652	1.58997	709	1.82804		
539	1.14964	596	1.37021	653	1.59399	710	1.83236		
540	1.15351	597	1.37409	654	1.59801	711	1.83669		
541	1.15737	598	1.38796	655	1.60205	712	1.84102		
542	1.15124	599	1.38184	656	1.60608	713	1.84535		
543	1.16511	600	1.38572	657	1.61013	714	1.84969		
544	1.16898	601	1.38960	658	1.61418	715	1.85403		
545	1.17285	602	1.39349	659	1.61823	716	1.85838		
546	1.17671	603	1.39737	660	1.62229	717	1.86273		
547	1.18058	604	1.40125	661	1.62636	718	1.86709		
548	1.18445	605	1.40514	662	1.63043	719	1.87145		
549	1.18887	606	1.40902	663	1.63451	720	1.87582		
550	1.19219	607	1.41291	664	1.63859	721	1.88019		
551	1.19606	608	1.41679	665	1.64268	722	1.88456		
552	1.19992	609	1.42068	666	1.64678	723	1.88894		
553	1.20379	610	1.42457	667	1.65088	724	1.89332		
554	1.20766	611	1.42846	668	1.65499	725	1.89771		
555	1.21153	612	1.43236	669	1.65911	726	1.90210		
556	1.21540	613	1.43625	670	1.66323	727	1.90650		
557	1.21926	614	1.44014	671	1.66735	728	1.91090		
558	1.22313	615	1.44404	672	1.67148	729	1.91530		
559	1.22700	616	1.44794	673	1.67562	730	1.91972		
560	1.23087	617	1.45184	674	1.67976	731	1.92413		
561	1.23474	618	1.45574	675	1.68391	732	1.92856		
562	1.23861	619	1.45964	676	1.68807	733	1.93298		
563	1.24247	620	1.46354	677	1.69223	734	1.93741		
564	1.24634	621	1.46745	678	1.69639	735	1.94185		
565	1.25021	622	1.47135	679	1.70056	736	1.94630		
566	1.25408	623	1.47526	680	1.70474	737	1.95074		
567	1.25795	624	1.47917	681	1.70898	738	1.95519		

I valori superiori a 750 m/s possono essere calcolati con la formula

$$f(v) = -1.015454 + .004008577 V$$

Penso di fare cosa utile ai lettori riportando la tavola

di tiro per la cartuccia militare 8x57, calcolata con la massima esattezza e utile per controllare la bontà di un programma balistico o l'esattezza dei propri calcoli.

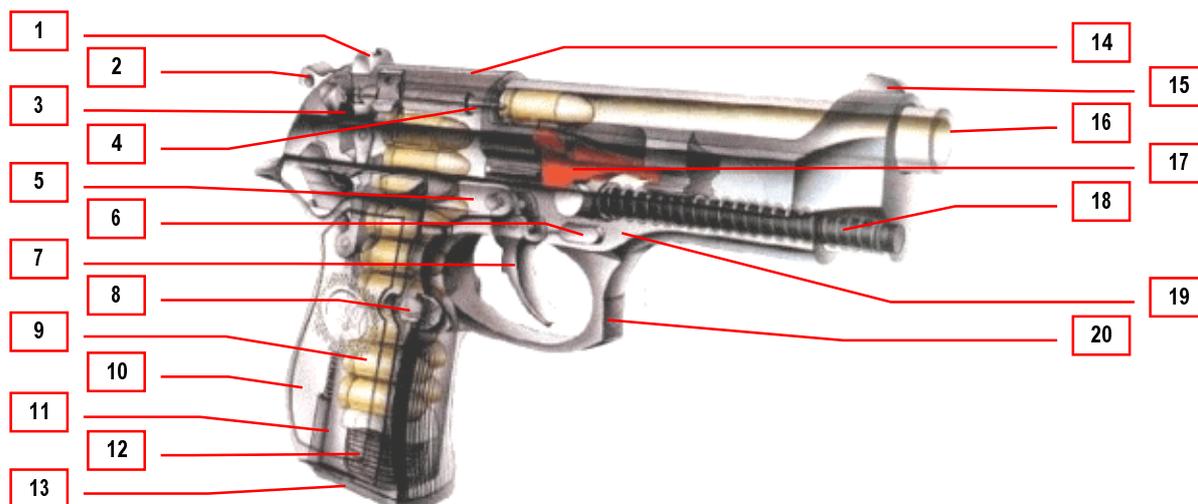
Tavola di tiro della cartuccia militare 8x54 S per Mauser 98K

Velocità iniziale 755 m/s; Peso palla 12.8g; Polvere 2.85g

Angolo di rilevamento +3'40"; Densità sezionale 26.2 g/cm³

distanza	ang. proiezione	angolo caduta	vertice (x,y)		tempo volo	velocità finale	energia kgm
100	3'10"	3'20"	50	0.02	0.14	706	325
200	6'10"	6'20"	101	0.1	0.28	660	284
300	9'30"	9'50"	152	0.2	0.44	616	247
400	13'0"	14'20"	205	0.4	0.61	574	215
500	17'10"	19'40"	259	0.7	0.79	534	186
600	21'50"	26'40"	315	1.1	0.98	495	160
700	27'20"	35'40"	373	1.6	1.20	459	137
800	33'40"	46'50"	433	2.3	1.43	426	118
900	40'50"	1°0'30"	494	3.2	1.69	395	102
1000	49'0"	1°17'10"	557	4.5	1.96	357	88
1100	58'20"	1°37'0"	621	6.0	2.26	343	77
1200	1°9'0"	1°59'50"	685	8.0	2.56	322	68
1300	1°20'40"	2°25'20"	748	10.5	2.89	306	61
1400	1°33'30"	2°52'50"	811	13.5	3.23	293	56
1500	1°47'0"	3°21'50"	873	17.0	3.58	283	52
1600	2°1'30"	3°52'0"	934	20.0	3.94	271	49
1700	2°16'50"	4°23'20"	994	25.0	4.31	266	46
1800	2°33'0"	4°56'20"	1052	29	4.70	259	44
1900	2°49'50"	5°30'30"	1110	35	5.10	252	41
2000	3°7'30"	6°6'30"	1168	41	5.51	245	39

LA PISTOLA AUTOMATICA



Giusto per i neofiti, vediamo un po' il principio di funzionamento di una pistola automatica e le sue parti principali. I pezzi maggiori, reciprocamente vincolati da opportuni accoppiamenti, sono la canna [14] (*barrel*), il fusto [19] (*frame*) ed il carrello [14] (*slide*). La canna è contraddistinta, da un lato, dalla bocca (detta volata) e dall'altro dalla culatta (*breech*). L'interno della canna (*bore*) avrà, dal lato culatta, la camera di cartuccia (*chamber*); la restante porzione porterà la rigatura (*rifling*) fino alla volata. La canna è alloggiata nel carrello, che, prima di tutto, provvede alla chiusura di culatta (primaria funzione di sicurezza in qualsiasi arma da fuoco) mediante la faccia dell'otturatore di culatta (*breech bolt*), massiccia parte dello stesso carrello che sigilla la cartuccia entro la camera. All'interno di questa è alloggiato il percussore [4] (*firing pin*) e la sua molla antagonista. Nel carrello, infine, sono generalmente alloggiati i meccanismi accessori di sicurezza contro lo sparo accidentale [3], come la classica leva di sicura (*safety lever*) ed il blocco del percussore (*firing pin catch*). Quest'ultimo dispositivo sblocca il percussore solo a grilletto premuto, prevenendo incidenti per caduta. La leva di sicura, se inserita, interrompe sia la catena cinematica di scatto che quella di percussore, permettendo tra l'altro un sicuro disarmo del cane (*decocking*).

Abbiamo infine il fusto, che realizza la parte impugnabile dell'arma e contiene la catena di scatto, il cane [2] (*hammer*) ed il serbatoio delle cartucce [11] (*magazine*); sarebbe errato chiamarlo caricatore, ma non facciamo polemiche accademiche). La catena di scatto inizia con il grilletto [7] (*trigger*) e, attraverso una serie di leveraggi [5], alla pressione di questo si ha lo sgancio del cane dalla sua posizione armata (*cocked*, posizione di monta). E chi l'aveva armato? O un precedente arretramento del carrello (manuale o per colpo sparato), o il pollicione del tiratore (mossa tanto cara agli amanti della Colt 45 M1911) o, se la pistola ha la doppia azione (*double action*), la pressione stessa sul grilletto.

Possiamo ora passare un po' più elegantemente alla descrizione del ciclo di sparo. Partiamo dalla situazione canonica di arma scarica (camera di cartuccia vuota) e serbatoio riempito ed inserito. Arretriamo manualmente il carrello e rilasciamolo (senza accompagnarlo): questo fa sì che, per contrasto di parti, venga armato il cane, venga sfilata la prima cartuccia proposta dal serbatoio, venga gentilmente posta in camera e le venga sbattuto l'otturatore a tergo casomai se ne volesse scappare via. A questo punto, l'arma è pronta allo sparo. Una pressione sul grilletto sbloccherà il percussore mentre il cane, rilasciato dalla sua innaturale posizione e spinto dalla liberata compressione di una molla, se ne andrà a sbattere sulla coda del percussore. Quest'ultimo, per ripicca (o conservazione di energia, fa lo stesso), subirà un violento moto in avanti, collidendo con l'innesco della cartuccia. Ne seguirà l'accensione della carica di lancio e il relativo movimento della palla. La pressione dei gas, oltre che sul popò della palla, agirà anche verso l'otturatore, spingendolo all'indietro attraverso il fondello del bossolo. Dato ora che il carrello si chiama così perché si muove, questo appunto si muoverà di moto retrogrado rispetto al fusto, ostacolato da una molla antagonista di recupero [18] (*recoil spring*) e da un fine corsa (per non fare arricchire i produttori di protesi). Ammettendo che in qualche modo la canna rimanga invece fissa, durante tale moto retrogrado, la faccia dell'otturatore si distaccherà dalla culatta della canna, un gancetto (estrattore, *extractor*) che aveva impegnato a suo tempo la scanalatura del bossolo estrarrà quest'ultimo dalla camera e lo farà urtare contro un perno (espulsore, *ejector*) solidale al fusto. In seguito a tali maltrattamenti, il bossolo assumerà un moto rocambolesco verso l'esterno, realizzando così una fonte di prova per gli organi inquirenti o facendo imbestialire il collega tiratore che sta sulla nostra destra. Giunto a fine corsa retrograda, il carrello ha riarmato il cane e, per merito di quella molla di recupero, viene violentemente richiamato nella sua posizione di chiusura, con l'incarico, visto che c'è, di sfilare una nuova cartuccia [9] dal serbatoio e camerarla, rendendo così di nuovo l'arma pronta a far danni.

Occorre comunque spendere qualche parola in più sull'istante immediatamente seguente l'accensione della carica di lancio. Fintanto che la palla non ha lasciato la canna, le pressioni interne sono ragguardevoli (diciamo un migliaio di bar) e non sarebbe salutare aprire l'otturatore troppo presto, prima cioè non ci sia stato un debito sfogo dalla volata. Si introduce allora un meccanismo di ritardo che, in armi di una certa potenza, viene realizzato con una chiusura geometrica, generalmente di tipo a "corto rinculo di canna". Questo vuol dire che, per un certo tratto, canna e carrello arretrano assieme, perché vincolati in modo indissolubile, che diventa dissolubile dopo un certo tratto, oltre il quale la canna si arresta e prosegue, per inerzia, il solo carrello. Questo vincolo temporaneo viene realizzato mediante opportuni chiavistelli e meccanismi di blocco/sblocco [17]. Nelle armi di bassa potenza (22LR, 7.65 Br., 9 Br.), è possibile realizzare il ritardo, in modo più economico, con una adeguata combinazione di massa del carrello e molla di recupero, facendo sì che la canna rimanga fissa rispetto al fusto e senza tanti ammennicoli in giro.

Completiamo la nostra descrizione dell'arma dicendo che sono presenti gli organi di mira come tacca [1] (*rear sight*) e mirino [15] (*fore sight*), un bottone di svincolo per lo smontaggio [6] (*disassembling latch*), una impugnatura [10] (*grip*), un ponticello a protezione del grilletto [20] (*trigger guard*) e una molla del serbatoio [12] (*magazine spring*), attraverso la quale una cartuccia del serbatoio (se c'è) viene graziosamente proposta ai servizi spettanti. Da accennare (per ultimo ma solo per caso, dato che è vitale per la sicurezza del tiratore) che esiste un meccanismo, detto sicurezza contro lo sparo prematuro, che fa sì che il percussore non possa assolutamente infastidire l'innesco finché la culatta non è perfettamente chiusa dall'otturatore.

ESPLOSIVI

L'evoluzione delle materie esplodenti dopo l'invenzione della polvere nera (circa 1250) riprende con Berthollet che nel 1788 scopre il clorato di potassio ed inizia esperimenti per sostituirlo al salnitro nella polvere nera. Poco dopo Howard scopre il fulminato di mercurio (1799) e Brugnatelli (1902) il fulminato d'argento.

Nel 1831 Bickford inventa la miccia a lenta combustione per mine, che sostituisce le cannuce di paglia riempite di polvere nera, usate fino ad allora assieme a corde imbevute di salnitro ed incatramate.

Gli esplosivi moderni derivano però dalla scoperta della nitratazione di sostanze organiche ottenendosi il nitrobenzolo (1834), la nitronaftalina (1835) e l'acido picrico (1843). Nel 1846 Sobrero scopriva la nitroglicerina e Schoenbein il cotone fulminante; dalla prima sarebbero derivate le dinamiti a seguito della scoperta di Nobel (1867) che essa poteva essere stabilizzata e resa maneggiabile con una certa sicurezza mescolandola con sostanze inerti quali la farina fossile; dal secondo le polveri senza fumo. Negli anni successive venivano scoperti il tritolo, il tetrile, il T4 e la pentrite.

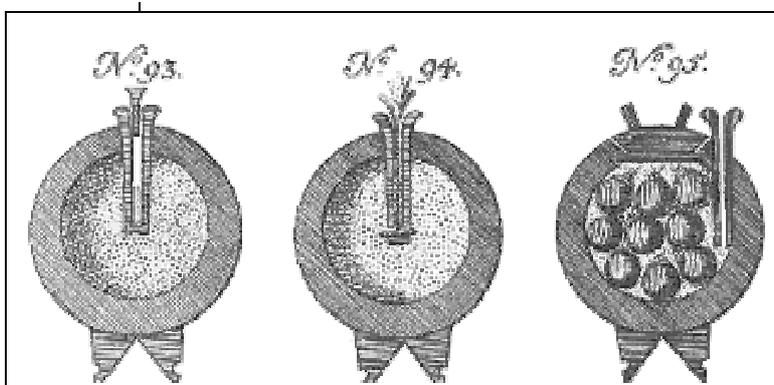
Gli esplosivi si distinguono dalle usuali sostanze combustibili per il fatto che essi contengono, legata nella loro molecola, anche la sostanza comburente (ossigeno). Di conseguenza essi bruciano con altissime velocità di combustione generando altissime pressioni pressoché istantanee.

La distinzione tra esplosivi da lancio ed esplosivi da scoppio o dirompenti veri e propri non è di sostanza ma fondata sulla diversa velocità di esplosione. Le polveri da sparo esplodono con velocità da 10 a 1000 mm/s con durata dell'ordine di decimi o centesimi di secondo (deflagrazione); gli esplosivi con velocità da 2000 a 9000 m/s e durata dell'ordine di micro o millisecondi; entro certi limiti è possibile ottenere che un esplosivo da lancio esploda e che un esplosivo dirompente bruci.

Le materie esplodenti, da un punto di vista tecnico, si distinguono quindi in:

Esplosivi primari o innescanti

I normali esplosivi non esplodono per effetto di normali sollecitazioni meccaniche o per effetto del calore, ma bruciano o, al massimo,



deflagrano. Per innescare l'esplosione debbono venir impiegati degli esplosivi estremamente sensibili alle azioni esterne e che detonano per effetto del calore o della percussione; essi sono solitamente contenuti in modesta quantità in piccoli tubetti metallici (detonatori). Tra questi esplosivi primari i più usati sono, di solito miscelati fra di loro o con altre sostanze, il fulminato di mercurio, l'azotidrato di piombo o d'argento, lo stinnato di piombo, il tetrazene, il DDNP, ecc. (si legga anche quanto scritto più avanti trattando dei detonatori).

Esplosivi secondari da scoppio o dirompenti

Questi esplosivi vengono tradizionalmente distinti in militari e civili in base a varie considerazioni (costo, maneggevolezza, possibilità di lavorarli o fonderli in forme prestabilite, conservabilità, ecc). Non si deve però dimenticare che molti esplosivi militari finiscono poi sul mercato civile come esplosivi di recupero e vengono mescolati fra di loro o con esplosivi civili.

Noti esplosivi militari sono il tritolo (o TNT) l'acido picrico (o Melinite, Ekrasite), la pentrite (PETN), il tetrile (CE, Tetralite), l'esogeno (Hexogene, T4, Ciclonite, C6); essi vengono usati da soli o mescolati tra di loro in vario modo o con altre sostanze (ad es. polvere d'alluminio) che ne migliorano ulteriormente le prestazioni.

Quando gli esplosivi vengono mescolati con sostanze plastiche quali vaselina, cere o polimeri sintetici, si ottengono gli esplosivi plastici; quando vengono gelatinizzati si ottengono le gelatine, di consistenza gommosa o pastosa. Proprio in questa categoria si riscontra uno degli esplosivi più

potenti e cioè la gelatina esplosiva formata per oltre il 90% di nitroglicerina e per il resto da cotone collodio. Negli Stati Uniti sono noti gli esplosivi plastici a base di T4 e noti con il nome di C (T4 e vaselina, olio minerale), C2 (T4 e nitrocellulosa), C3 (T4, nitrocellulosa, binitrotoluolo e tetrile), in cui la lettera C sta per "compound" o "composition".

In campo civile si impiegano esplosivi da mina a base di nitrato d'ammonio o di potassio (specie quali esplosivi di sicurezza per miniera) o gelatina gomma a base di nitroglicerina e cotone collodio, o dinamiti a base di nitroglicerina e sostanze inerti. Più raramente esplosivi a base di clorato di potassio (chedditi). Per lavori di poca importanza si usa ancora la polvere da mina formata da polvere nera in grossi grani. La polvere nera finemente granulata, viene usata ancora in armi ad avancarica e per usi pirotecnici.

Fra tutti gli esplosivi secondari, quelli che possono presentare pericoli nel maneggio e nel trasporto sono le gelatine e le dinamiti contenenti la nitroglicerina poiché questa può trasudare dal composto (specialmente per effetto del gelo) e quindi esplodere anche per urti modestissimi.

Polveri da sparo senza fumo

Esse vengono impiegate per il lancio di proiettili in armi leggere e si distinguono in polveri alla nitrocellulosa (a semplice base) ottenuta dalla nitratazione mediante acido solforico ed acido nitrico di cotone o cellulose o alla nitroglicerina (a doppia base) ottenuta gelatinizzando la nitrocellulosa con la nitroglicerina o altra sostanza. Le polveri più note di questa categoria sono la balistite (nitroglicerina + cotone collodio) e la cordite (nitroglicerina + fulmicotone). Per usi civili vengono ormai usate prevalentemente le polveri alla nitrocellulosa.

Cariche esplosive speciali

Le cariche esplosive si distinguono in *cariche cubiche o concentrate*, in cui l'esplosivo è ammassato in forma più o meno globulare, e in *cariche allungate* che è ogni carica in cui l'esplosivo è disposto in modo che la lunghezza della carica sia almeno quattro volte la sua sezione minore, come ad esempio avviene in un foro nella roccia.

Se la base di appoggio di un blocco di esplosivo viene scavata in modo da ricavare una cavità emisferica o parabolica gli effetti dell'esplosione si

concentrano, come i raggi di uno specchio parabolico, in corrispondenza della cavità, aumentandone l'effetto distruttivo. Se il blocco è circolare si parlerà di *carica cava circolare*; se il blocco è a forma di parallelepipedo (una specie di coppo), si parlerà di *carica cava allungata*.

Le cariche cave vengono utilizzate per operazioni di perforazione e taglio o per scavare buchi.

Talvolta l'esplosivo viene confezionato in tubi di acciaio di un metro o due di lunghezza, innestabili l'uno sull'altro, per aprire varchi in reticolati o campi minati o per demolizioni varie (*tubi esplosivi, bangalore torpedoes*)

Le cariche possono essere *interne*, se collocate a riempire una cavità del corpo da demolire (foro da mina e camera da mina se vuote, petardo e, rispettivamente, fornello, quando caricate), oppure *esterne* quando vengono semplicemente appoggiate al corpo da demolire.

Normalmente sia le cariche interne che quelle esterne vengono *intasate* (cioè con idonei materiali, quale sabbia, terra, coperture, ecc.) si crea una resistenza sul lato opposto a quello su cui deve svolgersi l'opera di demolizione.

L'esplosione

La potenza di un esplosivo ed i suoi effetti dipendono da vari fattori, quali la velocità ed il calore di esplosione, la quantità di gas prodotti, influenzata dalla temperatura di esplosione, e le conseguenti pressioni realizzabili. Esplosivi ad alta velocità di detonazione hanno maggiori effetti distruttivi anche per semplice contatto (effetto brisante), potendo tranciare di netto piastre e sbarre metalliche; esplosivi che producono molto gas sono più idonei in campo civile (cave, gallerie, ecc.) in cui occorre sfruttare l'effetto di distacco. In campo militare si useranno prevalentemente i primi per il caricamento di bombe o di proiettili, sfruttando sia l'effetto dell'onda di pressione iperrapida sviluppata, che gli effetti prodotti dalla scheggia, sia per opere di sabotaggio appoggiando direttamente l'esplosivo sul manufatto da distruggere; in campo civile gli esplosivi verranno impiegati con cariche intasate, vale a dire inserite in fori scavati nella roccia o nel terreno. Come si è detto però gli usi sono in larga parte scambiabili e ogni esplosivo militare potrebbe essere efficacemente usato per lavori civili e viceversa; la stessa polvere da sparo, se opportunamente intasata e compressa in recipienti, può servire per confezionare ordigni esplosivi (vedi sotto).

La prova più usata per determinare la potenza di un esplosivo consiste nel farlo esplodere entro un

grosso blocco di biombo (blocco di Trauzl) e nel misurare poi il volume della cavità creatasi. In base ad essa, se si assume che la gelatina esplosiva abbia il valore eguale a 100, si ha la seguente scala di valore per gli altri esplosivi:

Gelatina esplosiva	100
T4	90
Pentrite	80
Tritolo	50
Fulminato di mercurio	20
Polvere nera	7

Generalmente in campo militare, e per opere di demolizione, si preferisce calcolare il coefficiente di equivalenza rispetto al tritolo, posto eguale ad 1. Si avrà in questo caso:

Tritolo, acido picrico, miscele a base di dinamite, gun-cotton	1
Gelatina esplosiva	0.7
C2 e C3, T4, pentrite	0.8
Tetrytol, tritolite, pentrolite	0.9
Nitroammido, dinamite	1.2
Esplosivi al nitrato d'ammonio	1.4
Polvere nera da mina	2.3

Vale a dire che agli effetti pratici kg 2.3 di polvere da mina equivalgono a kg 1 di tritolo (varia ovviamente la velocità di esplosione e quindi l'effetto di *brisanza* dell'esplosione).

I volumi di gas prodotto possono essere pari a 10000 - 30000 volte quelli iniziali con temperature fino a 3000 gradi e le pressioni raggiungibili arrivano normalmente attorno alle 20000 atmosfere con picchi di 150000 atmosfere.

L'esplosione dà luogo ad un'onda esplosiva od onda di pressione, con effetti a breve ed a lunga distanza. A lunga distanza si crea un'onda di pressione dipendente dal mezzo circostante (nell'aria si ha lo spostamento d'aria, nell'acqua uno scoppio subacqueo) che si propaga creando una sovrappressione di parecchi bar, seguita da una fase più lunga di depressione (risucchio) che naturalmente non può essere superiore alla pressione atmosferica di un bar. L'onda di pressione che incontra un oggetto produce delle lesioni che possono poi venir aggravate dall'onda di risucchio; ad esempio un muro può essere lesionato dall'onda esplosiva e poi fatto cadere dall'onda di risucchio o retrograda. Una persona viene scaraventata a terra. E' per tale fenomeno che gli effetti di una bomba possono apparire diversi da quelli dettati dalla comune esperienza; ad esempio l'esplosione di una bomba in una strada può far ritrovare le saracinesche dei negozi e le vetrine sventrate verso l'esterno, le pareti crollate verso la strada ed il tetto scoperchiato verso l'alto. L'onda di risucchio creata dall'aria che ritorna violentemente verso il centro

dell'esplosione può dar luogo a una successiva onda rimbalzante all'indietro, ma di non rilevante potenzialità.

Quando l'esplosione avviene nel terreno, si creano in esso delle vibrazioni con onde d'urto simili a quelle di un terremoto, che possono cagionare lesioni agli edifici o che possono avere l'effetto di una mazzata su di una persona a contatto con la superficie investita (una bomba che scoppia sotto una nave può provocare lesioni a coloro che si trovano sulla sua tolda per il solo effetto dell'urto). E' per questo motivo che chi si trova a breve distanza da un'esplosione deve stendersi a terra avendo però l'avvertenza di reggersi solo sulle punte dei piedi ed i gomiti: in tal modo evita lo spostamento d'aria, l'ondata di calore e l'onda d'urto trasmessa dal terreno.

A breve distanza invece, l'esplosione agisce direttamente con onde d'urto pulsanti che attraversano l'oggetto e vengono riflesse dalle sue superfici libere così che si creano in esso sovratensioni che ne provocano la rottura. Questo effetto viene sfruttato particolarmente nelle granate anticarro in cui una carica di esplosivo viene fatta esplodere contro la blindatura; ciò provoca il distacco di porzioni del lato interno di essa con proiezione devastante di frammenti. All'esplosione segue normalmente una fiammata con possibile proiezione di corpi incandescenti che possono provocare incendi nonché una irradiazione di calore che può essere la causa di ustioni da irradiazioni (ustioni da lampo) e di possibili incendi (può infiammare gli abiti di persone presenti in un certo raggio).

Nel caso di esplosivo caricato in contenitori metallici (mine, bombe, proiettili, ordigni esplosive), o di bombe chiodate create legando grossi chiodi attorno ad un nucleo di esplosivo, vi è l'ulteriore effetto della proiezione di frammenti metallici di varie dimensioni (schegge), ad una velocità che varia dai 1000 ai 1500 m/s; la distanza di proiezione varia naturalmente a seconda delle dimensioni della scheggia, del suo peso e della sua forma. Frammenti minuti ma aventi elevata velocità possono cagionare lesioni più ampie di quelle prevedibili.

Esplosione "per simpatia"

Tra i profani è diffusa l'opinione che uno scoppio possa far esplodere spontaneamente esplosivi che si trovino nelle vicinanze. In effetti il fenomeno dell'esplosione per influenza è abbastanza limitato e condizionato dalla distanza tra le due cariche di esplosivo, dalla violenza dell'esplosione e dal mezzo in cui viaggia l'onda d'urto (aria, roccia, metallo), dalla sensibilità dell'esplosivo (ovviamente se la seconda carica è munita di detonatore, o di una spoletta sensibile alle vibrazioni, l'effetto simpatia

potrà verificarsi a maggior distanza).

Esperimenti eseguiti con cartucce di gelatina esplosiva hanno stabilito, a titolo di esempio, che per aversi effetto simpatia esse debbono essere a non più di 60 cm se appoggiate su di una lastra metallica, a non più di 30 cm se appoggiate su terreno consistente, a non più di 10 cm in acqua. In aria l'effetto simpatia non si ha oltre pochi millimetri.

In genere si assume che non vi sia esplosione per simpatia di esplosivi non innescati che si trovino ad una distanza superiore a tanti metri quanti sono i chili di esplosivo del primo scoppio.

Gli accessori

Nell'impiego pratico degli esplosivi occorre usare anche alcuni mezzi che servono per provocare l'esplosione nei modi e tempi voluti. Già abbiamo visto che solo la polvere nera può essere fatta esplodere per semplice accensione a mezzo di una miccia; per gli altri esplosivi (salvo casi particolari in cui può bastare un forte calore) occorre un mezzo d'innescio che normalmente è il detonatore; esso è costituito da un tubicino metallico chiuso da un lato e contenente una miscela di esplosivi primari. In alcuni casi, specie usando esplosivi poco sensibili, nel detonatore è contenuto, sotto a quello primario, anche uno strato di esplosivo secondario molto potente; in altri casi il detonatore viene collegato ad un separato detonatore secondario costituito da un quantitativo variabile da pochi grammi fino ad un chilo di esplosivo potente (Pentrite, T4, TNT).

I detonatori sono numerati secondo una scala che va da 1 a 10, a seconda della loro forza, calcolata come se essi fossero caricati solo con fulminato di mercurio. Di regola vengono usati detonatori del nr. 8 corrispondenti a 2 gr di fulminato. I detonatori vengono fatti esplodere mediante una miccia, che viene infilata nell'estremità libera e fissata schiacciando il tubicino attorno ad essa con una apposita pinza (qualche "eroe" usa anche i denti!). Altrettanto usati sono i detonatori elettrici in cui l'accensione è provocata da un filamento circondato da una miscela incendiaria e che viene reso incandescente al passaggio di una corrente elettrica. Talvolta il filamento è separato dal detonatore e viene inserito in esso come una miccia (accenditore elettrico). La corrente elettrica viene prodotta da un apposito apparecchio detto esploditore.

Per ordigni militari (mine, bombe, proiettili) il detonatore è sostituito dalla spoletta, che contiene, oltre alla carica primaria, meccanismi e dispositivi vari che ne provocano la detonazione al momento voluto.

I detonatori sono molto sensibili agli urti e debbono

pertanto essere maneggiati con cautela. Essi non vanno mai conservati o trasportati assieme all'esplosivo.

Le micce servono per trasmettere a distanza, ad un detonatore o all'esplosivo direttamente, la fiammata oppure l'onda d'urto di accensione. Si distinguono in miccia ordinaria a lenta combustione (miccia lenta) e in miccia detonante.

La prima è una specie di corda del diametro di 5 o 6 mm, rivestita di sostanze impermeabilizzanti e contenente un'anima di polvere nera finissima. Accesa ad un estremo essa brucia alla velocità media di 110-130 secondi per metro lineare. Essa viene usata per provocare l'esplosione dopo un certo tempo di ritardo.

La miccia detonante contiene, al posto della polvere nera, un'esplosivo secondario ad alta velocità di detonazione. Una volta erano impiegati il tritolo o l'acido picrico, ormai sostituiti dalla pentrite che assicura una velocità di detonazione di 6000-6500 m/s.

La miccia detonante non viene accesa, ma fatta esplodere con un detonatore, a sua volta acceso elettricamente o con miccia lenta. Essa serve per far esplodere contemporaneamente più cariche esplosive distanti una dall'altra. Non va confusa con la miccia istantanea o a rapida combustione, usata allo stesso scopo, che è una normale miccia a base di polvere nera che brucia però con una velocità di 50-100 m/s. e trova impiego esclusivamente in campo militare. Gli accendimiccia sono dei normali spezzoni di miccia a lentissima combustione (600 secondi per metro lineare), che emettono un forte dardo di fiamma e consentono di accendere più micce lente, una dopo l'altra e in condizioni meteoriche avverse.

Esistono infine accenditori a strappo che si infilano sulla miccia e consentono di accenderla per frizione.

Esplosivistica giudiziaria

I problemi che si presentano al perito esplosivista consistono nell'individuare:

- il tipo di esplosione (*concentrata* da esplosivo, o *diffusa* per altre cause, quali la presenza in un ambiente di miscele gassose o polverulente)
- il tipo di esplosivo impiegato
- il quantitativo di esplosivo impiegato
- il tipo di ordigno
- il sistema usato per provocare l'esplosione
- se una persona abbia maneggiato esplosivo

Nella comune opinione si tende a ritenere che per confezionare un ordigno esplosivo o per commettere

un attentato occorrono particolari conoscenze tecniche; in effetti non è particolarmente difficile procurarsi dei prodotti esplosivi e le conoscenze tecniche necessarie sono alla portata di qualunque persona che non sia analfabeta; l'unica qualità che veramente occorre è una grande prudenza, per non far la fine di Feltrinelli! Gli esplosivi civili vengono usati in ingenti quantitativi e qualsiasi fuochino, che può eseguire delle volate che impiegano ogni volta anche quintali di esplosivo, non incontra nessuna difficoltà a farne sparire qualche chilo assieme ad alcuni detonatori.

Comunque vi sono numerosi prodotti chimici in commercio per fini del tutto leciti e che, con modeste trasformazioni, possono essere usati come esplosivo. Ad esempio l'attività terroristica irlandese si è basata in larga parte su questi prodotti miscelati secondo varie "ricette": clorato di sodio e zucchero, clorato di sodio e nitrobenzene (questo usato nei lucidi da scarpe e nella concia del cuoio), nitrato d'ammonio (concime chimico) e nafta, zucchero e dicloroisocianato di sodio (usato per disinfettare piscine e locali di mungitura), zucchero e clorito di sodio (un candeggiante), zucchero e nitrato di sodio (usato in insaccati) o di potassio (fertilizzante, disinfettante), ecc.

Molti di questi prodotti sono venduti con nomi commerciali e talvolta la vera composizione non si ricava dalla confezione. Il nitrato d'ammonio è usatissimo come concime chimico e in Irlanda le Autorità sono giunte a vietare i concimi che ne contenevano più dell'80%. Il clorato di sodio viene venduto come diserbante.

Polvere nera e miscele a base di clorato di potassio possono essere recuperate da artigiani pirotecnici; una potente carica di tritolo è contenuta, assieme a polvere nera, nei razzi antigrandine.

Con modeste conoscenze di chimica e molta incoscienza, si possono produrre con tutta facilità prodotti detonanti come il fulminato di mercurio, e un tecnico di laboratorio non ha difficoltà a produrre esplosivi potenti quale l'acido picrico; è alquanto facile produrre la nitroglicerina, ma ne è estremamente pericolosa la manipolazione.

Facilmente reperibile è poi la polvere da sparo senza fumo, usata per caricare le cartucce; essa può servire per confezionare ordigni esplosivi di scarsa forza dirompente ma pur sempre pericolosi per le persone. Si calcola che la potenza di un ordigno caricato con polvere da sparo sia circa un quinto di quella di un ordigno caricato con esplosivo militare. Una granata confezionata con mezzo chilo di polvere in un recipiente di metallo o di vetro e frammista a chiodi, bulloni, frammenti metallici, può provocare ferite nel raggio di una decina di metri.

1 - Individuazione del tipo di esplosione e di bomba

L'individuazione del tipo di esplosione è abbastanza facile per un esperto in quanto in quella diffusa (miscele gassose, polveri) manca il tipico focolaio dell'esplosione; per individuare invece il tipo d'esplosivo e di ordigno occorre repertare nel modo più accurato, provvedendo a setacciare anche il terreno e le eventuali macerie, tutti i frammenti, anche nel raggio di decine di metri, e occorre eseguire prelievi di sostanza nel cratere dell'esplosione. Dai frammenti si potrà risalire alla conformazione della bomba e da essi potranno essere prelevati residui inesplosi di esplosivo, o residui della sua combustione, da sottoporre ad analisi chimiche.

L'individuazione del quantitativo di esplosivo usato può essere fatta ad occhio da persone molto esperte, purchè gli effetti di essi consentano di farsi un'idea sulla potenzialità dell'esplosivo usato.

Se si conosce approssimativamente il quantitativo di esplosivo necessario per ottenere un certo effetto, si potrà infatti dedurre dai danni cagionati il quantitativo di esplosivo impiegato.

Sulla base dei dati forniti dalla letteratura sull'argomento, si possono indicare le seguenti formule che, in relazione al materiale demolito ed alle sue dimensioni, consentono di stabilire approssimativamente il quantitativo C di esplosivo, in grammi, con coefficiente di equivalenza = 1 (vedi sopra), che è stato impiegato in forma di carica esterna. Ovviamente in quei materiali in cui è possibile applicare una carica interna, il quantitativo occorrente è decine di volte minore.

Travi e pali di legno (travi sovrapposti si considerano come un unico corpo)

Travi con sezione rettangolare e lati "a" e "b" in cm.

$$C = 1.7 ab \text{ (con intasamento)}$$

$$C = 2 ab \text{ (senza intasamento)}$$

Con sezione circolare e diametro "d" in cm

$$C = 1.7 d^2 \text{ (con intasamento)}$$

$$C = 2 d^2 \text{ (senza intasamento)}$$

Piastre metalliche ("a" indica la larghezza e "b" lo spessore)

Piastre semplici

$$C = 4.5 ab^2 \text{ (con intasamento)}$$

$$C = 6 ab^2 \text{ (senza intasamento)}$$

Piastre accoppiate con chiodatura o saldatura)

$$C = 4.5 a(b + 1)^2 \text{ (con intasamento)}$$

$$C = 6 a(b + 1)^2 \text{ (senza intasamento)}$$

Barre di ferro tonde o quadrate, posto "d" per indicare il diametro o il lato

$$C = 4.5 d^3 \text{ (con intasamento)}$$

$$C = 6 d^3 \text{ (senza intasamento)}$$

Tubi o colonne di ferro vuote, posto "d" per il diametro esterno e "s" per lo spessore del tubo

$$C = 15 ds^2 \text{ (con intasamento)}$$

$$C = 20 ds^2 \text{ (senza intasamento)}$$

Funi d'acciaio, posto "d" per indicarne il diametro

$$C = 7 (d + 1)^3 \text{ (senza intasamento)}$$

Ferri profilati

Si applicano le stesse formule viste per le piastre, come se il profilato fosse costituito dall'unione di più piastre semplici; per un ferro ad "L", ad esempio, si calcola il quantitativo di esplosivo occorrente per ogni lato e si somma il tutto.

Muri, posto "s" per indicarne lo spessore in cm, la carica per ogni metro lineare di muro (di spessore non superiore al metro) sarà

$$C = 60s \text{ (con intasamento)}$$

Cemento armato

Travi, pilastri

$$C = 3ab \text{ (per sezioni rettangolari, con intasamento)}$$

$$C = 3d^2 \text{ (per sezioni circolari, con intasamento)}$$

$$C = 4.5ab \text{ (per sezioni rettangolari, senza intasamento)}$$

$$C = 4.5^2 \text{ (per sezioni circolari, senza intasamento)}$$

Solette e muri, posto "a" quale lunghezza delle breccia e "b" lo spessore

$$C = 3ab \text{ (con intasamento)}$$

Tubi, posto "d" per il diametro esterno ed "s" per lo spessore

$$C = 10ds$$

Si tenga comunque presente che le formule indicate sono alquanto sovrabbondanti in quanto studiate per ottenere un sicuro effetto di demolizione ad opera di militari che non hanno problemi di rifornimento di esplosivi. In pratica un attentatore ridurrebbe il quantitativo anche alla metà.

Per chi volesse semplificare ulteriormente il calcolo, si può ritenere che per tranciare un trave di legno con esplosivo militare sistemato su di esso o attorno ad esso, senza intasamento, occorrono tanti grammi di esplosivo quanti sono i centimetri quadrati di sezione del tronco (cioè per un tronco di 20 cm di diametro circa 300 grammi di esplosivo); per sbarre, travi, binari in ferro occorre un quantitativo di circa 20 grammi per ogni centimetro quadrato di sezione; per il cemento armato di circa 4 grammi per ogni centimetro; per abbattere un muro si ritiene occorranza 60 grammi di esplosivo per ogni cm di spessore.

Talvolta si può risalire al quantitativo di esplosivo in base al cratere che l'esplosione ha lasciato sul terreno: la regola approssimativa è che una carica di

esplosivo militare fatta esplodere appoggiandola su terreno normale, vi provoca un cratere ad imbuto la cui profondità è pari ad un cm per ogni 10 grammi di esplosivo.

2 - Il tipo di esplosivo usato

Un esperto può individuare il tipo di esplosivo anche sulla base dell'odore che si percepisce sul luogo dell'esplosione.

Però solo l'analisi chimica può consentire di individuare gli esplosivi o la miscela di esplosivi usati. Trattasi di analisi chimiche sofisticate, che debbono essere eseguite da esperti in chimica degli esplosivi. Passerà alla storia della criminologia l'analisi effettuata dai laboratori di polizia italiani sulla nave Moby-Prinz affondata a Livorno, al fine di scoprire l'esplosivo usato per un'esplosione che non vi era mai stata: l'analisi, eseguita da incompetenti, portò ad affermare che era scoppiata una bomba composta da una miscela di una diecina (sic!) di esplosivi! Peccato però che nel luogo ove erano stati raccolti i campioni da esaminare, non vi fosse alcun focolaio di esplosione!

3 - Il sistema usato per l'accensione

Salvo che esso possa essere individuato in basi a particolari considerazioni logiche (una bomba fatta esplodere al passaggio di una determinata autovettura è probabile che sia stata radiocomandata), solo il reperimento di frammenti utili può consentire di stabilire quale congegno è stato usato: miccia combusta, pezzi di congegni ad orologeria, parti di congegni elettronici.

In questo campo non vi è praticamente limite alla fantasia degli attentatori i quali possono partire dai congegni a tempo rudimentali che usano una scatola piena di fagioli che gonfiandosi nell'acqua fanno chiudere un circuito elettrico, o un preservativo che viene perforato lentamente da una miscela corrosiva all'acido solforico, per passare poi ai congegni ad orologeria fatti con una sveglia od un orologio od un contaminuti, fino ai moderni circuiti integrati che consentono di programmare data ed ora dell'esplosione con anticipi di giorni o settimane. L'esplosione può poi essere provocata mediante altri congegni sensibili alle più diverse sollecitazioni e reperibili in ogni negozio di elettronica: sensori ad infrarossi che chiudono il circuito quando una persona si avvicina, altimetri che fanno scoppiare la bomba quando l'aereo supera una certa altitudine (naturalmente purché la bomba non si trovi in un locale pressurizzato), cellule fotoelettriche che reagiscono alla luce, bussole che reagiscono a corpi metallici od a campi magnetici, sensori a pressione od a strappo, termometri che reagiscono alla temperatura, igrometri che reagiscono all'umidità, e così via. Le esplosioni a distanza possono essere

provocate mediante cavi elettrici o mediante impulsi radio quali quelli lanciabili con i telecomandi degli aereomodellisti i quali, consentendo la trasmissione di segnali codificati, evitano anche il rischio di esplosioni premature per interferenze radio.

Di solito chi usa una bomba a tempo sofisticata, impiega anche un telecomando per attivarla a distanza senza correre il pericolo di essere coinvolto in esplosioni accidentali.

4 - Se una persona abbia maneggiato esplosivo

La chimica moderna consente delle analisi talmente sofisticate da rasentare l'inverosimile e sono sufficienti particelle infinitesimali per eseguire analisi utili: chi ha maneggiato esplosivo trattiene sicuramente sulla pelle, sugli indumenti, tra i capelli, molecole della sostanza che, con opportune tecniche possono essere prelevate ed individuate. Tracce di esplosivo penetrano anche nel corpo umano ed è possibile evidenziarle anche alcuni giorni dopo il contatto, mediante l'analisi del sangue.

IL PENDOLO BALISTICO

Per stabilire la velocità di un proiettile non vi è strumento migliore di un cronografo, il cui acquisto è però giustificato solo per chi, come perito balistico o ricaricatore di cartucce, deve ricorrervi di frequente.

Chi invece ha bisogno solo occasionalmente di calcolare la velocità di un proiettile, può ricorrere al vecchio metodo del pendolo balistico, in grado di fornire dati più che attendibili senza alcuna spesa (personalmente ho usato un pendolo fatto con una patata per controllare la velocità di pallini ad aria compressa, e funzionava benissimo).

L'idea di usare un pendolo per determinare la velocità di un proiettile risale a Cassini Junior (1707) e lo strumento derivatone, detto pendolo balistico, venne perfezionato da successivi studiosi (B. Robins, Diddion, Morin, Piobert) ed è stato l'unico ad essere impiegato fino a circa un secolo fa, contribuendo a porre le basi della balistica moderna.

Il principio teorico alla base del pendolo balistico è estremamente semplice: l'arma viene puntata contro una massa pendolare, costituita da materiale atto a trattenere il proiettile ed a realizzare un urto anelastico. Allo sparo quindi il proiettile si conficca nella massa pendolare trasmettendole un impulso; dal teorema della conservazione della quantità di moto e dalle leggi del moto pendolare si deduce la quantità di moto della massa pendolare dall'ampiezza della sua oscillazione, e quindi la velocità del proiettile.

Sia infatti P il peso della massa pendolare e p il peso del proiettile; $P+p$ sarà il peso del pendolo con il proiettile infisso; si poi V la velocità acquisita dal pendolo e v la velocità del proiettile prima dell'urto.

Sarà

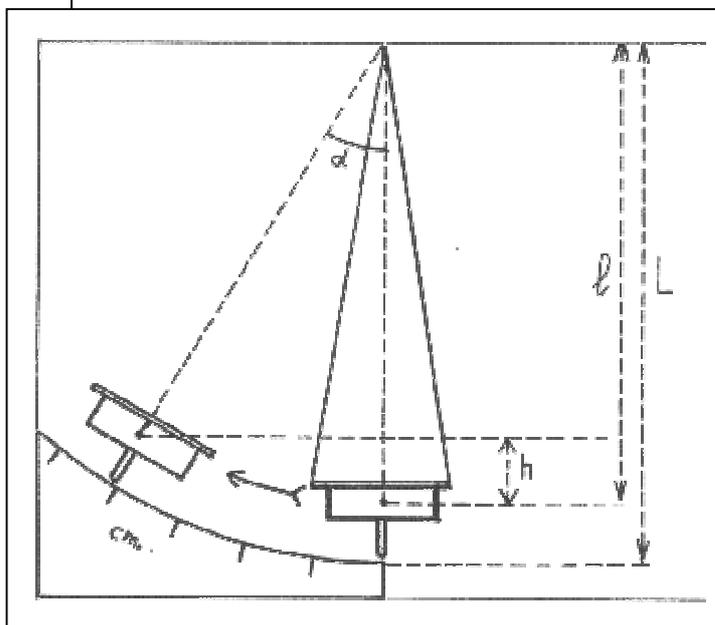
$$p \cdot v = (P+p) \cdot V$$

da cui

$$V = (p \cdot v) / (P+p)$$

Sotto l'influenza dell'urto il pendolo acquista una velocità e quindi una forza viva E , espressa dalla formula

$$E = \frac{(P+p)V^2}{2g}$$



che lo fa alzare di un certo spazio h ove si trasforma in energia potenziale E_p

$$E_p = (P+p) \cdot h$$

Siccome $E = E_p$, si possono fondere le due espressioni e ricavare che

$$V = \sqrt{2gh}$$

che è la formula relativa alla caduta dei gravi.

Questo valore dovrà corrispondere a quello derivato dall'impulso e quindi si potrà scrivere:

$$\frac{pv}{P+p} = \sqrt{2gh}$$

da cui

$$v = \frac{P+p}{p} \sqrt{2gh}$$

L'altezza h non è misurabile direttamente, ma può essere espressa trigonometricamente in funzione della lunghezza ℓ del pendolo e dell'ampiezza dell'angolo dell'oscillazione secondo la formula

$$h = \ell(1 - \cos \alpha)$$

per cui, in definitiva, la formula da applicare è la seguente

$$v = \frac{P+p}{p} \sqrt{2g\ell(1-\cos\alpha)}$$

in cui l'unica incognita è data dall'angolo α , da misurarsi di volta in volta.

A sua volta, la lunghezza ℓ del pendolo non può essere misurata direttamente poiché ciò che interessa non è la lunghezza effettiva, ma quella riferita al centro di oscillazione del pendolo composto, che si usa in pratica. Essa quindi deve essere determinata indirettamente dalle leggi fisiche del moto pendolare: si determina con un cronometro la durata D in secondi di una oscillazione, contando ad esempio il numero delle oscillazioni compiute in un minuto primo, e da esso si ricava la lunghezza in metri secondo la formula

$$\ell = 0.248 \cdot D^2$$

Invece di misurare l'ampiezza dell'angolo di oscillazione del pendolo, può essere più semplice misurare l'ampiezza s dell'arco percorso da un suo punto e da essa risalire all'angolo alfa mediante la formula

$$\alpha = \frac{360s}{2\pi l}$$

ove L in questo caso rappresenta la distanza effettiva tra il punto attorno a cui oscilla il pendolo e il punto che traccia l'arco.

Realizzazione pratica

Vediamo ora come si possa costruire praticamente il pendolo.

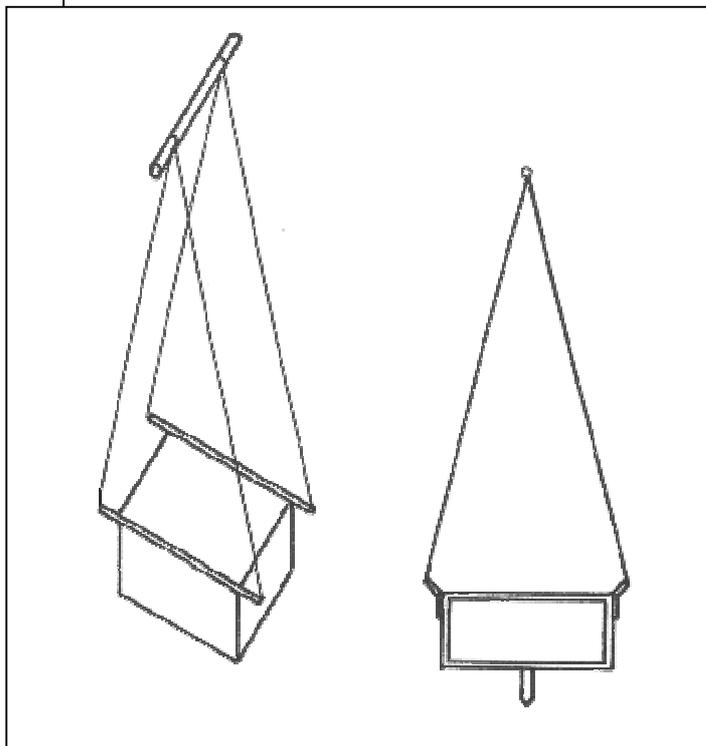
Esso deve rispondere ai seguenti requisiti:

a) deve avere una lunghezza tale da rendere sufficiente lenta l'oscillazione; la lunghezza L dovrà quindi essere di 1 - 1.5 metri.

b) la massa pendolare deve avere un peso tale non compiere, in relazione al proiettile sparato, una oscillazione superiore a 20° e deve essere sospesa in modo da poter oscillare in un solo piano senza sbandamenti, rotazioni ed oscillazioni parassite. In linea di massima dovrà avere un peso, in grammi, pari al prodotto della velocità del proiettile in m/s per il suo peso in grammi. Quindi dovrà pesare circa kg 1 per il cal. 22, kg 1.5 per il cal. 7.65 e il cal. 9, e così via.

c) Il blocco deve essere conformato in modo che il proiettile vi penetri e vi resti infisso; per alcuni proiettili sarà sufficiente un blocco di legno, per altri occorrerà provvedere, oltre al legno, degli strati di

piombo od altro metallo che impediscano la perforazione completa. In pratica andrà bene qualsiasi scatola metallica, a forma di



parallelepipedo o di cilindro, in cui sistemare strati di legno, sabbia, piombo, e sospeso mediante quattro fili sottili e non elastici, riuniti a due a due con anelli, ad un qualunque sostegno stabile.

Al di sotto della scatola, sul prolungamento dell'asse perpendicolare del pendolo, verrà fissato un indice scorrente lungo un arco munito di una scala metrica, come indicato in figura. Per misurare lo spostamento massimo dell'indice per effetto dello sparo, bisognerà studiare un sistema qualunque, dal fine pennello all'estremità dell'indice, al filo trascinato da esso, alla polvere sfiorata da un "baffo", che non offra resistenza al moto.

Uso del pendolo balistico

Per prima cosa bisogna pesare il blocco con precisione. Poi occorre sparare contro il blocco, ad una distanza che eviti l'influenza del gas di sparo (oppure attraverso un diaframma forato) e cercando di colpire il centro del blocco per evitare oscillazioni irregolari. Occorre ricordare che ad ogni sparo successivo al primo, il peso del blocco deve essere aumentato del peso dei precedenti proiettili infissi in esso e che va tenuto conto di perdite di materiale.

Dopo aver sparato si legge quale è stato lo spostamento massimo del pendolo e da esso si ricava la velocità del proiettile. La lettura deve essere fatta con una certa precisione perché, ad esempio,

con un pendolo di 130 cm di lunghezza, un errore di lettura di 4 mm (10' di grado), comporta un errore nel calcolo di 5-6 m/s.

Esempio

Sia da misurare la velocità di un proiettile cal 9 corto e si abbia

Peso del pendolo P , g 1500
 Peso del proiettile p g 6
 Lunghezza teorica del pendolo ℓ , m 1.20
 Lunghezza totale del pendolo L , cm 130
 Arco percorso, cm 40

Applicando l'ultima formula troviamo l'angolo α

$$\alpha = \frac{360 \cdot 40}{6.28 \cdot 130} = 17^{\circ}38'$$

e quindi

$$v = \frac{1500 + 6}{6} \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 1.20 \cdot (1 - \cos(17^{\circ}38'))} = 264 \text{ m/s}$$

Se si è sparato contro il pendolo da una distanza di metri 1.5, e tenendo conto delle resistenze interne del sistema, si otterrà un valore abbastanza esatto della velocità iniziale aumentando quello sopra trovato dell' 1%.

AUTOMATICA O SEMIAUTOMATICA?

Nel campo delle armi corte di uso civile (comuni, come le definisce la nostra legislazione) è invalsa la distinzione in rivoltelle e pistole automatiche. Da un punto di vista accademico, però, la definizione di "automatica" spetterebbe solo alle armi nelle quali il ciclo di caricamento e sparo perdura "automaticamente" fintanto che viene tenuto premuto il grilletto, serbatoio permettendo (in breve, a raffica), la qual cosa è abbastanza ristretta in tutto il mondo civile. Nel gergo comune, comunque, quando ci si riferisce in modo più o meno sottinteso al campo delle pistole, escludendo le pistole mitragliatrici (SMG, *sub-machine gun*) o particolarità di carattere eccezionale ad esse affini (Beretta 93R), è accettato che un'arma che in realtà dovrebbe essere definita semiautomatica (molto più brillante l'appellativo di *self-loading* usato dagli americani) venga chiamata automatica, in quanto di fatto non esistono ambiguità (ed il nome è più estetico ed accattivante, come comprese il grande J.M.Browning quando iniziò la saga delle Colt ACP). Lo stesso concetto è di fatto applicato, per motivi ancora più ovvi, anche ai fucili ad anima liscia (*shotguns*). È invece sicuramente sconveniente questa estensione a fucili e carabine, soprattutto perché esistono diversi modelli commerciali, semiautomatici, direttamente derivati e praticamente uguali a modelli militari che possono funzionare anche in completo automatismo (*full-auto*).

LA PROBABILITÀ DI COLPIRE

Il calcolo delle probabilità consente di calcolare quante probabilità vi sono che un evento possibile, ma non certo, si verifichi.

La probabilità P che un evento si verifichi è data dal rapporto tra eventi favorevoli ed eventi possibili: la probabilità che esca il sei lanciando un dado una sola volta è data da

$$P = 1/6 = 0.166$$

dal che si ricava che il valore di P non può mai essere superiore ad uno, poiché in tal caso si ha la certezza che l'evento si verifichi.

La probabilità che l'evento non si verifichi sarà evidentemente data da $1-P$

La probabilità che si verifichino contemporaneamente un certo numero di eventi indipendenti l'uno dall'altro è pari al prodotto della probabilità di ciascun evento. Se la probabilità di colpire un bersaglio è $P=0.1$ la probabilità di colpirlo due volte di seguito sarà

$$P \cdot P = 0.01$$

Viceversa la probabilità di non colpirlo due volte di seguito sarà data da

$$P = (1 - 0.1) \cdot (1 - 0.1) = 0.89$$

e così via.

Diverso è naturalmente il problema di stabilire quante probabilità si avrebbero di colpire il bersaglio almeno una volta sparando 5 colpi. Passaggi un po' complicati portano alla formula

$$P = 1 - (1 - 0.1)^5 = 0.4$$

Se la probabilità di colpire varia ad ogni colpo, ad esempio da 0.1 a 0.15 a 0.2, ecc. (si pensi ad un bersaglio che si avvicina sempre più al tiratore!), la formula diventa

$$P = 1 - (1 - 0.1) \cdot (1 - 0.15) \cdot (1 - 0.2) \dots$$

Per eseguire calcoli di questo tipo occorre perciò apprendere come calcolare il valore di P , cosa abbastanza facile.

Ogni arma a palla, anche se provata al banco, non è in grado di concentrare i proiettili in un unico punto, ma li disperde attorno al punto mirato entro un'area di dispersione che possiamo assumere come

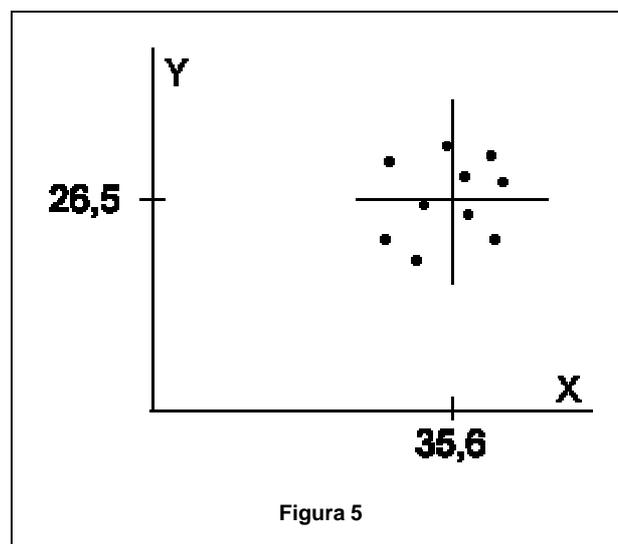
circolare. Se il centro del bersaglio e il centro del circolo di dispersione non coincidono, ciò significa che vi è un difetto da correggere nel sistema di puntamento.

La dispersione naturalmente aumenta, in modo poco più che proporzionale, con l'aumentare della distanza dell'arma dal bersaglio; aumenta inoltre quando al fattore meccanico si aggiunge quello umano: ogni tiratore, a seconda della sua abilità, del suo stato psicofisico, a seconda delle circostanze ambientali, concentrerà più o meno i colpi sul bersaglio.

Questa dispersione del tiro può essere valutata con metodi statistici.

Di norma lo studio della dispersione del tiro con artiglierie sul terreno, e quindi rispetto a bersagli orizzontali, in cui i tiri presentano una dispersione ellittica, essendo la dispersione maggiore in lunghezza che in larghezza. Noi invece ci vogliamo occupare solo del tiro contro bersagli verticali ove la dispersione, come si è detto, può ritenersi circolare e quindi sarà sufficiente, per i successivi calcoli, di individuare lo scarto quadratico medio dei singoli proiettili rispetto al centro della rosata.

Supponiamo di avere sparato dieci colpi contro un



bersaglio e di aver ottenuto la rosata di Figura 5.

Per prima cosa occorre individuare il centro medio della rosata. Ciò si può ottenere in modo empirico tracciando prima un asse orizzontale in modo che vi siano metà dei colpi sopra e metà dei colpi sotto di

esso, e poi un asse perpendicolare al primo che lasci metà dei colpi a sinistra e metà dei colpi a destra: il punto d'incontro rappresenta il centro ideale della rosata.

Per calcolare ora lo scarto quadratico medio, vale a dire la media dei quadrati delle deviazioni di ogni singolo colpo dal centro medio, occorre misurare la distanza di ogni colpo dal centro medio ed elevare il valore trovato al quadrato. La radice quadrata della media dei valori così trovati ci darà il valore M ricercato.

Invece di misurare la distanza dal centro ideale di ogni colpo, si può, più semplicemente, come nell'esempio di Figura 5, calcolare lo scarto di ogni valore di X e di Y rispetto al valore X-Y del centro medio e poi estrarre la radice quadrata della somma dei loro quadrati, con normale applicazione del teorema di Pitagora.

Nell'esempio si avrebbe che le coordinate del centro medio sono X=35.6 e Y=26.5 e che le coordinate dei singoli colpi, la differenza D dal valore medio, i loro quadrati, avrebbero i seguenti valori:

X	D	D ²	Y	D	D ²
32	3.6	12.96	19	7.5	56.25
41	5.4	29.16	21	5.5	30.25
33	2.6	6.76	26	0.5	0.25
42	6.4	40.96	28	1.5	2.25
28	7.6	57.76	31	4.5	20.25
36	0.4	0.16	33	6.5	42.25
28	7.6	57.76	22	4.5	20.25
37	1.4	1.96	24	2.5	6.25
41	5.4	29.16	32	5.5	30.25
38	2.4	5.76	29	2.5	6.25
356		242.4	265		214.5

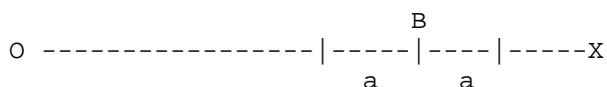
da cui si ricava direttamente lo scarto quadratico medio per X=24.24 e per Y=21.45.

Il valore di M sarà infatti dato da

$$\sqrt{24.24 + 21.45} = 6.76 \text{ cm}$$

Il valore così trovato consente di determinare il parametro più importante di tutta la teoria del tiro e cioè lo scarto probabile S.

Per comprenderne il significato si pensi ad un'arma che spara una serie di colpi dal punto O in direzione OX



Il punto medio di caduta sia B; se si prendono in esame due strisce di terreno prima e dopo il punto B e se a è piccolo, in esse si riscontrano pochi colpi e

quindi la probabilità di colpire quella striscia è piccola e la maggior parte dei colpi cadrà fuori di essa. Per un certo valore di a vi saranno tanti colpi fuori della striscia quanti entro di essa. A questo punto la probabilità che un proiettile cada entro la striscia è pari a 0.5 e cioè ad un colpo su due. Questo valore a corrisponde al parametro S e il valore 2S indica la larghezza di una striscia di terreno posta simmetricamente a lato del punto medio e che ricomprende la metà dei colpi sparati che si trovano più vicini al punto medio, la metà dei punti migliori.

Se il ragionamento, invece che alla sola dispersione longitudinale sul terreno viene riferita alla dispersione in altezza e in larghezza su di un bersaglio verticale, si otterrà che se nella larghezza 2S cade il 50% dei colpi, in un quadrato ne cadrà lo 0.5² e cioè lo 0.25%; in un cerchio infine avente il raggio S, ricadrà il 20% circa dei colpi (il cerchio iscritto in un quadrato ha una superficie inferiore di circa 1/5 a quella del quadrato stesso).

Il valore di S che, nel caso sia calcolato per una dispersione unidimensionale, è dato dalla formula S=0.6745M, nel caso di una superficie è dato dalla formula S=0.4769M.

Nel caso della Figura 5 si avrebbe perciò S=6.76 x 0.4769=3.22 cm.

Il calcolo della distribuzione dei colpi all'interno di un cerchio, stabilito il valore di S, è un po' complicato in quanto occorre far riferimento ad un valore di P dato dalla funzione

$$P = 1 - e^{-k^2 \cdot 0.4769^2}$$

in cui K = Raggio/S ed e=2.718 (base neperiana).

Più semplicemente il valore di P in funzione del valore K può essere ricavato dalla seguente tabella.

K	P	K	P	K	P
0.1	0.002	2.1	0.633	4.1	0.978
0.2	0.009	2.2	0.667	4.2	0.982
0.3	0.020	2.3	0.700	4.3	0.985
0.4	0.036	2.4	0.730	4.4	0.988
0.5	0.056	2.5	0.759	4.5	0.990
0.6	0.079	2.6	0.785	4.6	0.9919
0.7	0.106	2.7	0.810	4.7	0.9934
0.8	0.136	2.8	0.832	4.8	0.9947
0.9	0.168	2.9	0.852	4.9	0.9958
1	0.203	3	0.871	5	0.9966
1.1	0.240	3.1	0.888	5.1	0.9973
1.2	0.279	3.2	0.903	5.2	0.9979
1.3	0.319	3.3	0.916	5.3	0.9983
1.4	0.360	3.4	0.928	5.4	0.9987
1.5	0.401	3.5	0.938	5.5	0.9990
1.6	0.441	3.6	0.948	5.6	0.9992
1.7	0.482	3.7	0.956	5.7	0.9994
1.8	0.521	3.8	0.963	5.8	0.9995
1.9	0.560	3.9	0.969	5.9	0.9996
2	0.597	4	0.974	6	0.9997

Dalla tabella si vede che per R=S e quindi K=1, un

cerchio con raggio eguale ad S contiene il 20.3% dei colpi; un cerchio con raggio pari a 2S, e quindi con $K=2$, il 59.7% dei colpi, e così via.

Per contro dalla tabella si legge che il cerchio avente una probabilità del 50% di essere colpito, si ottiene moltiplicando S per un valore K di circa 1.75 (che si ottiene mediante interpolazione tra 0.482 e 0.521) e quello con probabilità del 75% moltiplicandolo per 2.47.

Si potranno quindi risolvere i seguenti problemi relativi a bersagli circolari.

1) *Quale raggio ha il cerchio che contiene il 50% e il 75% dei colpi, data la rosata di Figura 5?*

Soluzione:

$$R(50) = 1.7456 \cdot S = 1.4756 \cdot 3.22 = 5.62 \text{ cm}$$

$$R(75) = 2.4686 \cdot S = 2.4686 \cdot 3.22 = 7.95 \text{ cm}$$

2) *Con una pistola sono stati sparati numerosi colpi contro un bersaglio con 10 zone (anelli) aventi raggio 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 36, 40 cm. e si è contato che entro il cerchio di 20 cm è caduto circa il 60% dei colpi. Quale è il valore di S e quale percentuale di colpi è caduta nei singoli cerchi?*

Soluzione:

Dalla tabella si vede che per $P=60$ si ha $K=2$; il valore di S sarà dato dal rapporto R/K e quindi da $20/2=10$ cm. Si procederà poi al calcolo di K per i vari raggi e da esso a quello delle relative percentuali; le percentuali dei singoli anelli si otterranno poi per differenza.

3) *Nel problema n. 2 si voglia stabilire la percentuale di colpi in un determinato anello del bersaglio.*

Soluzione:

Sarà sufficiente determinare la percentuale relativa ai due cerchi che delimitano l'anello e fare la differenza. Se, ad esempio, il cerchio interno ha raggio $R=3S$ e quello esterno $R=4S$, si ricava che la percentuale sarà data da $97.4\% - 81.7\%=15.7\%$.

Se occorre conoscere la percentuale di colpi in un solo settore del cerchio o dell'anello, sarà sufficiente dividere i risultati trovati per il rapporto tra cerchio e settore; se, ad esempio, il settore è sotteso da un arco di 36° la percentuale dei colpi ad esso relativa sarà di $1/10$ di quella calcolata per il cerchio di 360° .

4) *Se $S=4$ cm quale percentuale di colpi contiene un cerchio con raggio 10 cm ?*

Soluzione:

K sarà eguale a $10/4$ e cioè 2.5 da cui si ricava $P=0.75\%$, vale a dire che un colpo su 4 uscirà dal cerchio.

Si osserva in proposito che conoscendo la percentuale di colpi all'interno di un determinato cerchio, si può direttamente calcolare S senza dover misurare i singoli scarti di ogni colpo; dalla percentuale infatti si risale a K e il rapporto R/K ci darà il valore di S. Ancora più semplicemente si potrà tracciare il cerchio contenente il 20% dei colpi per ottenere $R=S$.

In molti casi però il tiratore si trova di fronte non

	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5										
5					1	1	1	1	1	1										
4				1	1	1	2	3	3	3	3	2	1	1	1					
3			1	1	3	5	8	12	15	16	16	15	12	8	5	3	1	1		
2		1	1	3	6	10	15	23	29	32	32	29	23	15	10	6	3	1	1	
1	1	1	2	5	10	18	29	40	50	56	56	50	40	29	18	10	5	2	1	
0	1	1	4	8	16	29	45	63	79	89	89	79	63	45	29	16	8	4	1	1
1	1	2	5	5	23	40	63	89	111	124	124	111	89	63	40	23	5	5	2	1
1	1	3	7	15	29	50	79	111	139	156	156	139	111	79	50	29	15	7	3	1
0	1	3	5	16	32	56	89	124	156	174	174	156	124	89	56	32	16	5	3	1
0	1	3	5	16	32	56	89	124	156	174	174	156	124	89	56	32	16	5	3	1
1	1	3	7	15	29	50	79	111	139	156	156	139	111	79	50	29	15	7	3	1
1	1	2	5	5	23	40	63	89	111	124	124	111	89	63	40	23	5	5	2	1
2	1	1	4	8	16	29	45	63	79	89	89	79	63	45	29	16	8	4	1	1
2		1	2	5	10	18	29	40	50	56	56	50	40	29	18	10	5	2	1	
3			1	1	3	6	10	15	23	29	32	32	29	23	15	10	6	3	1	1
3				1	1	3	5	8	12	15	16	16	15	12	8	5	3	1	1	
4					1	1	2	4	5	7	8	8	7	5	4	2	1	1		
4						1	1	1	2	3	3	3	3	2	1	1	1			
5							1	1	1	1	1	1	1	1						

Figura 6

figure geometriche quali il bersaglio da tiro a segno, ma figure irregolari e asimmetriche, come la sagoma

di un veicolo o di un uomo, rispetto a cui non è facile eseguire il calcolo matematico sopra esposto.

In tali casi si ricorre alla cosiddetta «rete di dispersione di Gauss» illustrata in Figura 6, la quale consiste di un quadrato di lato pari a $10S$, suddiviso in quadratini aventi lato $0.5S$, per ciascuno dei quali è calcolata la percentuale di probabilità di colpirlo (i valori indicati in ogni quadratino vanno divisi per 100!). Se la probabilità di colpire una striscia orizzontale o verticale, non limitata in lunghezza e larga $0.5S$, è pari, ad esempio al 13.2% (vedi strisce centrali), la probabilità di colpire il quadrato formato dal loro incrocio sarà dato, secondo le regole del calcolo della probabilità nell'ipotesi di più eventi indipendenti, da $13.2 \cdot 13.2 = 1.74\%$, come per l'appunto sta scritto nei quadratini centrali.

Per calcolare la probabilità di colpire un determinato bersaglio, sarà quindi sufficiente disegnare la sagome del bersaglio nella stessa scala usata per la rete di Gauss (in Figura 6, usando carta millimetrata, $1 \text{ cm} = 0.5S$) e poi sovrapporre la sagoma facendo coincidere il suo centro con il centro della rete. La somma delle percentuali dei quadratini coperti darà la percentuale di probabilità di colpire quel bersaglio. Se la sagoma copre un quadratino solo in parte, il valore di esso verrà ridotto percentualmente.

Se poi la sagoma viene spostata di un lato di un certo numero di quadratini, si otterrà la percentuale di probabilità per il caso in cui il centro medio della rosata sia spostato rispetto al centro del bersaglio. Per conoscere infine verso quale punto del bersaglio irregolare occorre mirare per ottenere la massima probabilità di colpirlo, bisognerà procedere per tentativi, spostando la sagoma sulla rete fino ad ottenere il valore massimo di probabilità.

Il metodo esposto consente di risolvere eleganti problemi di un certo interesse per la balistica giudiziaria (anche se i giudici hanno bisogno di certezze e non di probabilità).

Accade abbastanza spesso che il feritore di una persona affermi di aver sparato ai piedi della stessa oppure di lato e di averla colpita in punti vitali per sbaglio; il calcolo delle probabilità consente di valutare l'attendibilità della dichiarazione, specialmente quando l'arma presenta una notevole dispersione dei colpi. In alcuni casi si potrebbe tenere conto anche della abilità nel tiro dello sparatore, ma bisognerebbe avere la certezza che egli durante le prove di tiro spari effettivamente secondo le sue possibilità.

Per risolvere il quesito si procederà quindi a determinare il valore di S dell'arma (o del tiratore) alla distanza del caso e si abbia, ad esempio, che a 50 metri $S=30 \text{ cm}$.

Allora ogni lato di un quadratino corrisponderà a 15

cm e, per una sagoma umana di normale corporatura, si potrà disegnare il contorno come in Figura 6. Se lo sparatore afferma di aver sparato ai piedi della vittima, la sagoma andrà sovrapposta sulla rete il modo che il centro della rete si trovi in corrispondenza dei piedi. La probabilità di colpire il corpo al tronco sarà data dalla somma dei valori dei quadratini coperti dal tronco e cioè $0.32 + 0.32 + 0.16 + 0.16 + 0.08 + 0.08 + 0.03 + 0.03 \dots$ ecc. con i quadratini coperti parzialmente, ottenendosi una percentuale di circa 1.4%; vale a dire che su 100 colpi sparati in quelle condizioni solo 1 o 2 potevano colpire il tronco nonostante che lo sparatore avesse mirato ai piedi. Quindi la versione dello sparatore è appena accettabile. Se invece la vittima fosse stata raggiunta al capo, la probabilità di colpirlo scenderebbe a meno dello 0.01%, decisamente inverosimile.

La validità del metodo trova conferma eseguendo il calcolo in via puramente matematica. A tal fine inseriamo la sagoma, come in Figura 7, in un settore di anello circolare, usando una scala per cui sia $S=30 \text{ cm}$. Il valore ricavato è anche in questo caso pari allo 1.4%.

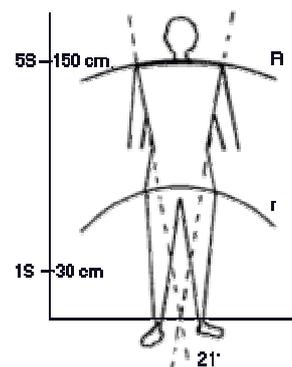


Figura 7

$$\begin{aligned} \text{Raggio } R &= 150 \text{ cm} \\ \text{Raggio } r &= 75 \text{ cm} \\ KR &= 150 : 30 = 5 \\ Kr &= 75 : 30 = 2.5 \\ P_5 &= 99.66 \\ P_{2.5} &= 75.90 \\ 99.66 - 75.90 &= 23.97\% \\ 360 : 21^\circ &= 17 \\ 23.97 : 17 &= 1.4\% \end{aligned}$$

La precisione del calcolo della probabilità dipende dalla precisione con cui è stato calcolato il valore S , precisione che più aumenta quanto più ampia la serie di colpi sparati. Affinché i risultati però non risultino falsati da tiri anormali occorre escludere dalle serie di colpi quelli cosiddetti anomali, cioè quelli che per imprevedibili fattori (errore del tiratore, difetto della carica o del proiettile, ecc.) si discostano da quelli che derivano invece dalle normali irregolarità del tiro.

In via approssimativa si considera anomalo quel colpo che in una serie di colpi non superiore a 10 ha uno scarto superiore a 5S e, in una serie superiore a 10 colpi, ha uno scarto superiore a 6S.

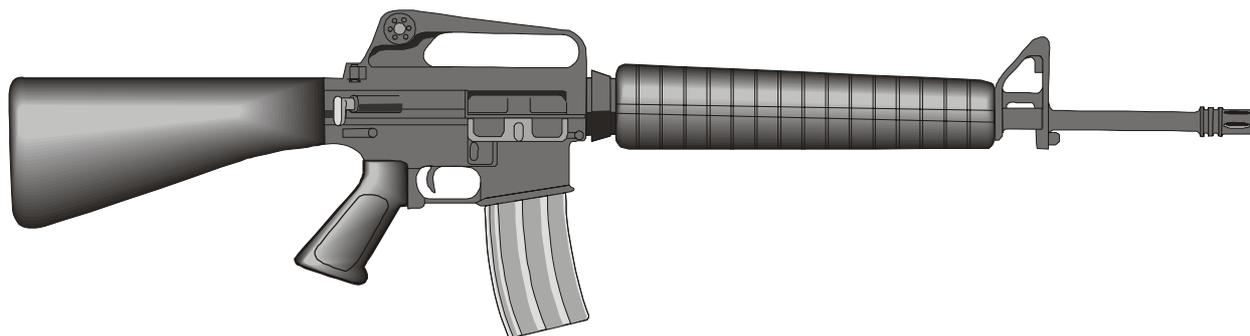
Un calcolo più preciso può farsi usando il fattore di anomalia di Chauvenet il cui uso è il seguente.

Prima di tutto si calcola il valore di S sui dati relativi ad un certo numero di colpi sparati, come spiegato all'inizio. Poi si controlla se vi sono scarti il cui valore sia superiore al prodotto di $y \cdot S$ in cui y è il fattore di anomalia di Chauvenet, correlato al numero di colpi sparati, secondo la seguente tabella:

FUCILI D'ASSALTO? MA NON BASTAVANO FUCILI, FUCILI MITRAGLIATORI, CARABINE E MOSCHETTI?

Già, non bastavano? Per cercare di comprendere il concetto, rispondiamo con un'altra domanda: se siete stati sotto naia, avete provato a portare ed usare il mitico (ormai in via di abbandono) FAL BM59? Leggerino e facilmente controllabile in raffica, vero? In effetti, il BM59, economicamente convertito dal Garand M1 del 1936, è più un fucile mitragliatore (*automatic rifle*) che un'arma standard individuale, come lo era il Browning BAR del 1918. Unite il tutto al peso del munizionamento, alle dottrine di fuoco e movimento e ad ambientazioni tipo jungla: sai che masochismo! Non a caso, il masochismo di truppa è sempre stato il credo dell'esercito italiano.

Questo tipo di problema fu affrontato verso la fine della seconda guerra mondiale dai tedeschi, che crearono l'archetipo del fucile d'assalto (*assault rifle*), lo SturmGewehr 44. Questo era un'arma compatta, da rinculo e rilevamento (impennaggio della volata) facilmente controllabile grazie, oltre che alla geometria dell'arma stessa, all'adozione di una cartuccia di potenza "intermedia" tra quella di fucile e quella di pistola mitragliatrice. Questa scelta era scaturita dal riconoscimento dell'inutilità e addirittura degli svantaggi di un munizionamento esuberante. A onor del vero, anche gli americani ci si rodevano il cervello se avevano adottato la Winchester M1 Carbine, notissima anche in Italia, ma dalle dubbie funzionalità belliche a causa della scarsità della cartuccia associata. Subito dopo la guerra, il concetto fu immediatamente recepito dall'URSS, con il famosissimo AK-47, brutto ma estremamente funzionale. In seguito, nello stesso periodo in cui la Beretta arrangiava il BM59 per un tozzo di pane (di per sé, la modifica è un capolavoro), nei laboratori Armalite nasceva l'AR-15, in seguito adottato dalle forze armate USA come M16 Assault Rifle e diventato simbolo stesso, grazie anche ai media, del GI Joe.



Dopo un travagliato inizio in sud-est asiatico, dovuto a negligenze e stupidaggini, l'M16 ha subito alcune modifiche, ma la sua linea, al pari dell'antagonista AK, è ormai nell'immaginario collettivo. Usa una cartuccia calibro 5.56 mm (223 Remington), ora adottata come standard NATO pur avendo più volte cambiato tipo di palla nella continua ricerca di stabilità ed effetti terminali. L'arma pesa poco più di tre chili e la cartuccia pesa meno della metà del 7.62 NATO (che è rimasta come munizione per armamenti di squadra), cosicché un magazzino da 30 colpi pesa meno di uno da 20 di quest'ultima: fate un po' voi i conti in termini di vantaggi logistici. Inoltre, il tiro a raffica è molto controllabile ed il rinculo quasi assente. Il proiettile 5.56 è piccolo e veloce e, entro i 300 m, notevolmente efficace in termini di potere incapacitante, grazie (!? si fa per dire) agli effetti dinamici sui tessuti (vasocompressione, cavità temporanee e permanenti, frantumazione) e ai ruzzolamenti della palla stessa una volta che ha "attinto" il malcapitato (*tumbling*).

L'M16 si riconosce a prima vista per il "maniglione", sulla cui sommità sono gli organi di mira: la linea di mira è quindi molto rialzata rispetto all'asse di canna, ma questo permette di allineare il calcio con la canna stessa senza torcicolli del tiratore, portando notevoli benefici in termini di impennamento (si riduce cioè il braccio di una coppia di forze ergo il suo momento). La sua leggerezza è dovuta ad un largo uso di lega d'alluminio e plastica. Molto particolare la maniglia di armamento, costituita da un tiretto centrale che può essere agevolmente azionato anche dalla mano debole. L'apertura di espulsione è munita di sportellino antipolvere che si apre automaticamente all'armamento. Recentemente vi sono stati apportate ulteriori modifiche (M16A2, in figura), tra cui l'introduzione della raffica controllata di tre colpi.

Una ulteriore evoluzione del fucile d'assalto in termini di compattezza è rappresentata dalla configurazione *bull-pup*, ovvero serbatoio prismatico, culatta e otturatore dietro l'impugnatura a pistola (FAMAS francese, SA-80 britannico, Steyr AUG austriaco). Questa scelta però non piace a tutti, visto che in certe posizioni di sparo la finestra di espulsione si avvicina troppo a membra (faccia, avambraccio) del tiratore.

Cogliamo l'occasione per disquisire su quell'attrezzo in volata, generalmente noto come rompifiamma (o spegnifiamma; non chiamatelo "rifornitore di rinculo" che è tutt'altra cosa). Su armi vivaci, come quelle militari, esiste effettivamente anche l'intento di spezzare la vampa di bocca (*muzzle flash breaking*) per ridurre la possibilità che il tiratore si scopra troppo. Esistono comunque due altre motivazioni più generali. La prima è la realizzazione di un freno di bocca (*muzzle brake*): se adeguatamente disegnati, gli sfiati possono ridurre notevolmente il rinculo (molto usati nei cannoni, ad esempio). L'altra, attinente, è l'utilizzo per compensare la tendenza all'impennamento e sempre con un opportuno disegno degli sfiati (compensatore di rilevamento). In base al tipo e all'uso dell'arma, il costruttore sceglie il mix di effetti desiderati. Il fatto o poi che in armi militari serva anche per il lancio di granate è un altro discorso.

nr	y
4	2.27
5	2.43
6	2.57
7	2.67
8	2.76
9	2.84
10	2.91
12	3.02
20	3.32

Se ve ne sono, questi sono considerati tiri anomali e vengono esclusi, rifacendosi poi da capo il calcolo di

M ed S. Nella rosata di Figura 5 si avrebbe, ad esempio, $2.91 \times 3.22 = 9.3$ cm; siccome nessun colpo ha una distanza maggiore dal centro della rosata, vuol dire che non vi sono tiri anomali.