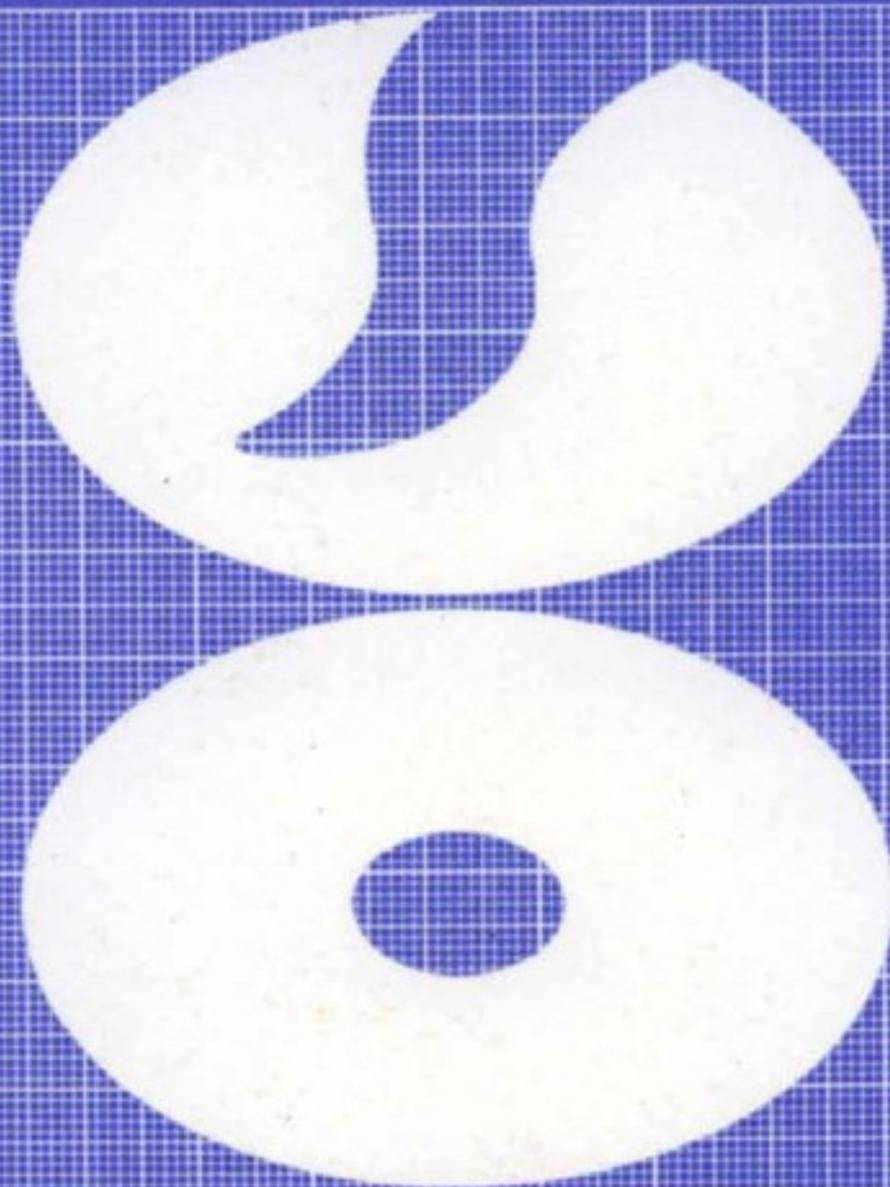


The **Air
Guns**
from Trigger



to Muzzle

by G.V. Cardew, G.M. Cardew, and E.R. Elsom

I Cardew, Britannici, padre e figlio, sono considerati a tutt'oggi come i Guru dell'aria compressa. Nel 1976 pubblicarono autonomamente il loro primo libro "The air gun from trigger to muzzle", in collaborazione con E.R. Elsom. Negli anni novanta ripresero e ampliarono il loro lavoro pubblicando il ben più; corposo "The air gun from trigger to target". Il loro studio sulla carabina ad aria compressa a molla, la cosiddetta "springer" è ritenuto a tutt'oggi molto valido. Tutto il primo libro verte sullo studio delle energie e dei fenomeni che si sviluppano all'interno di una carabina break barrel in calibro .22 (5,5 mm) durante in ciclo di sparo. Nell'introduzione gli autori, oltre ad illustrare a grandi linee il loro lavoro, e le problematiche che hanno dovuto affrontare, spiegano essenzialmente che il loro libro è rivolto a sfatare alcuni miti e leggende che aleggiavano nel campo delle carabine ad aria e compressa. Miti, leggende e pregiudizi che purtroppo nel nostro paese, che non ha una grande tradizione in fatto di armi ad aria compressa, sono ancora ben radicati. Per fortuna l'appassionato interessato alla tecnica delle armi ad aria compressa può rivolgersi alla rete. Siti e forum sono solitamente molto più; informati e tecnici rispetto ai vecchi armieri, che di aria compressa ne sanno ben poco, sopperendo alle lacune culturali di coloro che queste armi le vendono, e che quindi diventano la prima interfaccia di chi si avvicina per la prima volta a questo mondo. "Mi permetta di spiegarle, perché; sa, io faccio questo mestiere da trent'anni: la vede questa carabina, ha la canna bella lunga, e quindi è più potente e precisa di quest'altra che piace a lei. Dia retta a me, prenda questa". Chissà quante volte lo abbiamo sentito dire entrando in una armeria. Beh, non è affatto vero, e già negli anni settanta i Cardew lo avevano dimostrato. Tempo fa mi è capitato tra le mani questo libro, e gli ho dato una letta veloce. Il libro, non è molto corposo, ma è comunque in inglese, ed è un po' difficile da leggere e capire. Ed è per questo che molti lo hanno a disposizione ma e gli hanno dato un'occhiata un po' superficiale. Certo, formule e grafici sono un linguaggio universale, ma per il resto, capire a palmi le parti più discorsive non è proprio il massimo. Siccome in questo periodo mi è capitato di riprenderlo in mano, vorrei fare lo sforzo di una lettura più approfondita, assieme a voi. Tenendo conto che il libro ormai non è più pubblicato, sostituito dal secondo, che è una versione più approfondita, e che non è mai stato tradotto in italiano, spero che gli autori possano giudicare questa mia iniziativa con magnanimità. In ogni caso ho deciso di non pubblicare foto e grafici ricavati direttamente dal libro. Prima di iniziare sento l'obbligo di spiegare che il libro verte sullo studio di una tipica carabina springer degli anni '70, poco potente e dotata di guarnizioni in cuoio. Tutti gli sforzi dei produttori erano rivolti a sfruttare al massimo o quasi l'energia che poteva dare la molla. Oggi mediante l'utilizzo dei nuovi materiali, soprattutto per le guarnizioni, si possono produrre carabine springer veramente molto potenti, per cui, spesso, i produttori preferiscono prendere la via di un'energia più bassa, ma reazioni minori e più gestibili da parte del tiratore.

Prima di iniziare tengo a precisare che ho riprodotto solamente grafici e formule, che sono funzionali alla spiegazione, ma ho ommesso fotografie o disegni non necessari, per la visione dei quali rimando alla lettura del libro. Il testo che leggerete non è una traduzione letterale del testo del libro, ma piuttosto un adattamento. Le parti evidenziate con un diverso colore sono aggiunte scritte di di mio pugno e non sono presenti nel libro.

Introduzione

Questo libro è il risultato di 5 anni di lavoro da parte di tre persone; si concentra esclusivamente sullo studio della balistica interna delle armi ad aria compressa funzionanti a molla. Vale a dire, di quello che succede all'interno dell'arma durante l'intervallo di tempo che va dal momento in cui si preme il grilletto al momento in cui il proiettile si stacca dalla bocca della canna. E infatti tutto ruota attorno ad un periodo di tempo che ammonta a circa cinquanta millesimi di secondo. Una volta fuori dalla canna, il pallino inizia ad essere soggetto alle leggi della balistica esterna, le quali vanno oltre gli scopi rappresentati da questo lavoro.

In passato ci sono stati molti tentativi di spiegare come e perché un'arma ad aria compressa lavora, ma essenzialmente questi erano basati su “miti e leggende” senza molta ricerca scientifica ad appoggiarli; per esempio, per lungo periodo si è creduto che più lunga fosse la canna di un arma ad aria compressa, maggiore sarebbe stata la velocità alla bocca capace di sviluppare. Noi abbiamo provato che questa affermazione è inesatta.

I nostri esperimenti sono basati principalmente su un'arma montata su un tavolo di supporto . Questa è un'arma a normale caricamento a canna basculante e rappresenta una costruzione molto comune. Abbiamo provato ad investigare su ogni componente e ogni meccanismo separatamente ed accuratamente, in modo da poter giungere ad una ragionevole giustificazione di tutta l'energia immagazzinata nella molla. Allo stesso tempo, comunque, tutto questo è stato realizzato con un budget limitato, da tre persone appassionate che hanno lavorato solo nel loro tempo libero. Abbiamo spesso contato su altre persone per il prestito di sofisticate attrezzature, o anche in molti casi, su attrezzature prodotte autonomamente.



fig. 0.1 Il tavolo di supporto per le prove

Non vi offriamo la strada per ottenere alcun fortissimo miglioramento nella potenza della vostra carabina, ma abbiamo operato allo scopo di farvi migliorare la vostra comprensione dei processi

che si verificano all'interno vostro fucile ad aria compressa quando tirate il grilletto.

Vorremmo puntualizzare in questa fase che nessuno degli autori ha alcun collegamento con un qualunque produttore di armi ad aria compressa, e che al momento della stesura non siamo stati all'interno di una fabbrica di carabine ad aria compressa. E' un comportamento facente parte della nostra etica, in modo che potessimo mantenere la completa indipendenza di pensiero sul tema e che non potesse sorgere alcun conflitto di interessi.

Anche se questo lavoro tratta esclusivamente sul funzionamento della armi ad aria compressa a molla, molti dei fenomeni menzionati si applicano ugualmente bene alle armi pneumatiche e a gas.

Capitolo 1 - Introduzione e sequenzialità

"It is a surprising thing that very often a subject that appears on first sight to be so simple, often, on further study, turns out to be very complicated. This statement is exceptionally true when applied to the spring air weapon, as we found out when we first began to investigate the subject some five years ago."

È sorprendente come molto spesso un argomento che a prima vista appare così semplice, spesso, ad un ulteriore studio, risulta essere molto complicato. Questa dichiarazione è particolarmente vera quando è applicata all'arma ad aria compressa a molla, come abbiamo scoperto quando abbiamo iniziato a studiare l'argomento circa cinque anni fa.

NOTE: Praticamente è questa prima frase del libro che racchiude in se tutta l'essenza del lavoro svolto dai Cardew.

In particolare ci si riferisce alle armi funzionanti tramite molla e pistone, ma in realtà questo concetto è adatto anche a tutti i tipi di arma ad aria compressa.

Tutta la questione è iniziata con una piccola carabina a caricamento tramite canna basculante che abbiamo comprato di seconda mano. Sebbene in generale funzionasse molto bene producendo sequenze di colpi precisi, a volte per nessun apparente motivo, il pallino poteva impattare in alto o in basso causando molta frustrazione (**NOTA: in pratica la carabina dava luogo ai cosiddetti "flyer", colpi vaganti**). Essendo dotati di mentalità scientifica e curiosità, abbiamo deciso di tentare di migliorare la costruzione originale, adattando meglio la guarnizione di culatta. Poi è stato lucidato il cilindro e le leve dello scatto sono state (sear) revisionate. Ogni modifica e regolazione è stata di aiuto, ma i veri motivi che erano alla base dei problemi iniziali rimasero oscuri.

NOTA: Sear = leva dello scatto di un'arma che mantiene il cane, o il percussore lanciato, parzialmente o completamente armato.

Abbiamo esaminato molte carabine e alcune le abbiamo acquistate in modo che potessimo esaminarle e controllare le loro prestazioni. In ogni caso quello che abbiamo misurato, ciò che abbiamo considerato, sul momento, sono state le "dimensioni vitali". Operando in questa maniera abbiamo sperato di riuscire ad individuare il motivo per cui un certo tipo di fucile fosse migliore di un altro. Ma presto divenne chiaro che le dimensioni fisiche da sole non ci avrebbero fornito la risposta, e che dovevano esserci altre aree da esaminare.

Non eravamo in grado di confrontare con precisione un'arma con un'altra dal momento che non avevamo alcun sistema di misurarne la velocità. Questo è stato un grosso problema che ha impedito il prosieguo delle nostre ricerche al di là delle fasi elementari. Abbiamo pensato quindi ad un antico strumento chiamato un pendolo balistico che era in uso anni fa per lo studio della balistica dei proiettili di moschetto. Questo dispositivo ha offerto una risposta così semplice ed economica per i nostri problemi che ci siamo immediatamente rivolti allo sviluppo di una variante dello strumento che si sarebbe adattato per l'uso con la carabina ad aria compressa. Tuttavia, abbiamo presto compreso che sebbene potessimo misurare la velocità in maniera accurata con il pendolo, nel momento in cui avessimo avuto la necessità di prendere numerose letture in rapida successione, sarebbe stato indispensabile avere a disposizione un vero cronografo. Abbiamo avuto una battuta d'arresto nello studio dell'arma in attesa di costruire un nostro cronografo elettronico. Questo si è rivelato essere piuttosto capriccioso, in molte

occasioni pareva ragionare con mente propria, ma l'esperienza è comunque stata utile per rendersi conto che era possibile costruire un cronografo con uno standard elevato di precisione, senza spendere una fortuna. Poi siamo stati abbastanza fortunati da trovare uno specialista elettronico che ci ha costruito su misura uno strumento per soddisfare le nostre esigenze particolari, ma parleremo in maniera più accurata di questo e di altri cronografi, in un altro capitolo.

Da questo momento ci siamo potuti impegnare completamente nella soluzione dei problemi dell'aria compressa, per scoprire perché così poco dell'energia immagazzinata nella molla viene utilizzata dal pallino nel momento in cui lascia il vivo di volata. Speriamo che nei capitoli seguenti, che il lettore trovi la risposta alle proprie domande particolari e meglio che sia in grado di capire i concetti di fisica che sono coinvolti nel funzionamento della sua arma.

Forse la domanda fondamentale che bisogna porsi è, perché usare l'aria a tutti i costi? Dopo tutto un arco lancia una freccia senza utilizzare l'aria e anche una catapulta è in grado di sparare una pietra.

Forse l'aria permette di lavorare meglio e in modo più efficiente, o dà più energia? Bene, la risposta è no. L'aria è soltanto un mezzo utilizzato per trasformare il relativamente lento movimento di un pesante pistone nel movimento veloce di un leggero pallino. È questa grande differenza tra il peso della forza motrice e il peso del proiettile che necessita di un adeguato mezzo per essere accoppiata. Questo si discuterà in modo più ampio in un capitolo successivo, sull'aria e su cosa succede quando si impiegano gas diversi dall'aria.

La fisica è una scienza piena di grafici, così il lettore deve necessariamente accettarli in un libro di questa natura. Il primo che useremo (fig. 1.1) riguarda tre fattori, peso del pallino, velocità del pallino e energia del pallino. Uno degli usi principali di questo diagramma è di confrontare due fucili di diverso calibro, ma può anche essere utilizzato per confrontare pallini di pesi diversi sparati dalla stessa carabina. Rende questi confronti possibili, fornendo i mezzi della conversione di peso e velocità alla bocca nel valore più importante di tutti, l'energia.

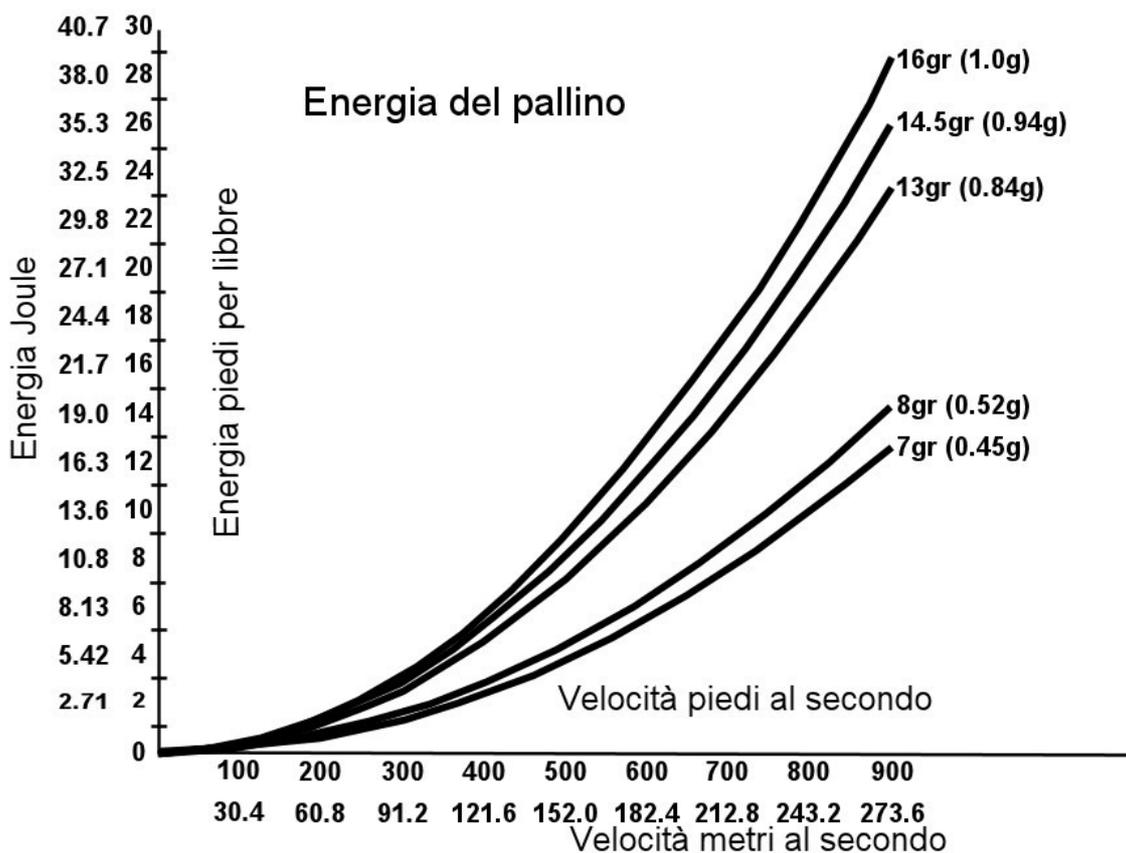


Fig. 1.1 grafico dell'energia del pallino

Nel corso degli anni, i fabbricanti e gli sportivi hanno sempre discusso, e hanno sempre vantato, la velocità della loro carabina preferita. Mentre questo può essere abbastanza ragionevole nella pubblicità o nelle chiacchiere da bar, ha ben poco valore in fisica, fino a quando non si menziona il peso del proiettile. È un po' come raccontare i tuoi amici che hai viaggiato a 50 miglia all'ora. Questo non ha molto significato, fino a che non si specifica se tale velocità è stata raggiunta in bicicletta o sopra un razzo. Il peso del pallino è importante quanto la velocità, cosa che è generalmente trascurata.

Al fine di determinare l'energia di un proiettile, esso deve prima essere pesato e quindi misurata la velocità con cui transita dalla bocca dell'arma. Questi due fattori forniscono tutte le informazioni che sono necessarie. Normalmente la lettura della velocità è rilevata entro sei piedi circa dalla bocca; a questa distanza il proiettile è ancora alla sua velocità massima e la vampa dello sparo ha effetto minimo sugli strumenti di misurazione.

Questi due fattori, il peso e la velocità, quindi possono essere sostituiti nella ben nota equazione di Newton per l'energia cinetica.

$$E = \frac{1}{2} M V^2$$

Dove M è la massa del pallino, V è la velocità misurata alla bocca e E è l'energia.

Siccome a noi è noto il peso del pallino la formula diventa:

$$E = \frac{1}{2} \frac{W V^2}{g}$$

Dove W è in peso del pallino e g è l'accelerazione di gravità nel libro vale 32.16 ft/s².

NOTA: Nel sistema di unità internazionale, g vale 9,81 m/s².

Questa ci darà l'energia cinetica che quel proiettile contiene quando viaggia a velocità V.

Supponiamo che vogliamo determinare l'energia di un pallino di peso di 14.5 grani che viaggia ad una velocità di 500 FPS.

In primo luogo dobbiamo applicare la formula precedente dove: W = 14,5 grani, V = FPS 500, g = 32.16 FPS². Per convertire i grani in libbre dobbiamo dividere per 7000.

Così:

$$E = \frac{14.5 \times (500)^2}{2 \times 32.16 \times 7000}$$
$$E = 3625000 / 450240$$
$$E = 8.05 \text{ piedi per libbra}$$

(Un piede per libbra è la quantità di energia necessaria per sollevare il peso di una libbra per un piede).

NOTA: Libbra si può indifferentemente indicare con Pound o Lbs.

Traducendo il risultato in unità del sistema internazionale:

$$14.5 \text{ grani} = 0.94 \text{ grammi}$$
$$500 \text{ FPS} = 152 \text{ m/s}$$
$$E = m V^2 / 2000 = 0.94 \times 152^2 / 2000 = 10.9 \text{ J}$$

Mentre dal calcolo in unità imperiali avevamo:

$$8.05 \text{ Ft.Lb} \times 1.3558 = 10.9 \text{ J}$$

Abbiamo verificato, in tutto il nostro lavoro con le armi ad aria compressa, che in generale il loro rendimento meccanico medio è di circa il 30%, il che significa che per ogni piede per libbra di energia immagazzinata nella molla compressa, solo 1/3 di questo viene trasferito al pallino in volo. I motivi di questa inefficienza sono stati esaminati e ognuno di essi appare nei capitoli seguenti del libro. Tuttavia, al fine di iniziare a comprendere il funzionamento di un'arma ad aria compressa, è bene conoscere la sequenza degli eventi all'interno dell'arma. Ad esempio, il pallino parte al momento di picco della pressione dell'aria? Il pistone si ferma prima che il pallino lasci la canna? etc.

La sequenza di tempo dei vari componenti mobili come il pistone e il pallino è stata verificata facendo interrompere un raggio luminoso a sua volta prodotto da impulsi elettrici che sono stati visualizzati dalla traccia di un oscilloscopio. (fig. 1.2) Il pistone parte, il pistone si ferma, il pallino parte e il pallino si stacca dalla bocca di una canna di diciotto pollici (46 cm) ognuno di questi

fenomeni ha prodotto un impulso sulla traccia superiore dell'oscillogramma. L'unico impulso negativo (*andamento verso il basso*) della traccia è dovuto all'arresto del pistone. La traccia inferiore mostra l'aumento di pressione all'interno del cilindro, misurata in questa occasione mediante un trasduttore non calibrato.

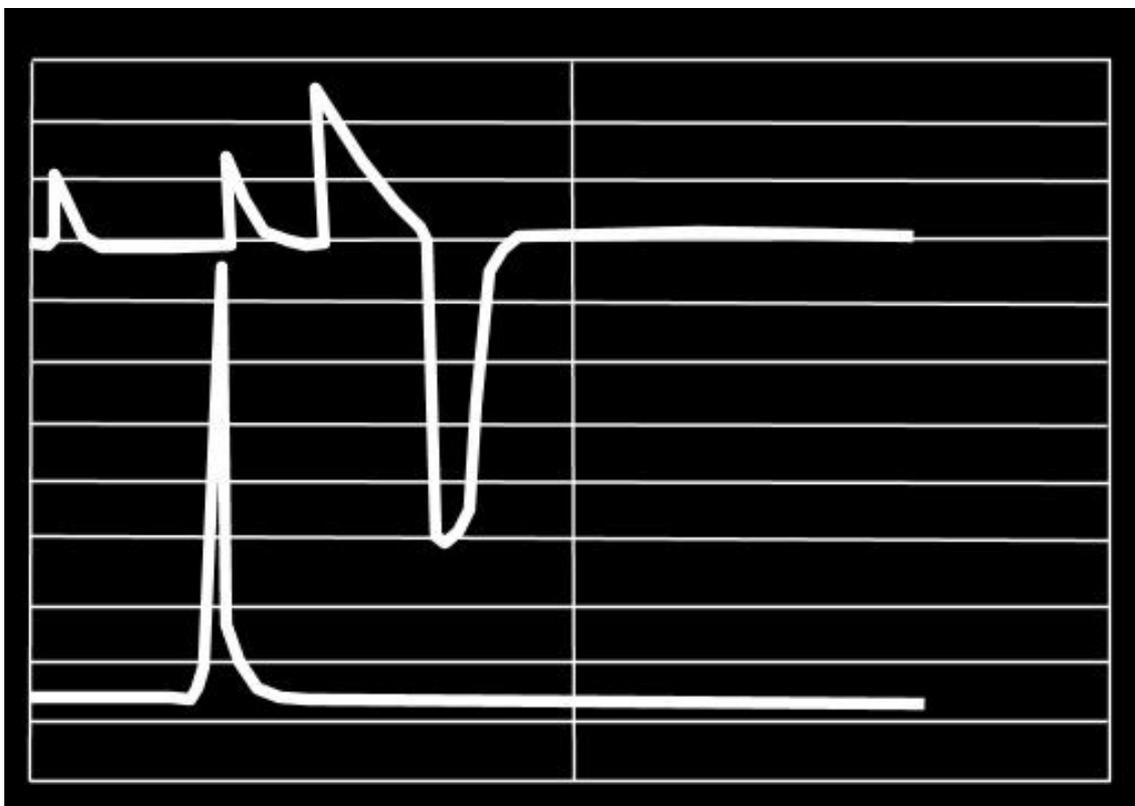


Fig. 1.2 La sequenza degli eventi

Il primo impulso positivo è dato dalla partenza del pistone immediatamente dopo aver premuto il grilletto, il secondo rappresenta il pallino che inizia a muoversi nella canna, il terzo impulso positivo pertanto deve essere del pallino che lascia la volata dell'arma e il quarto (l'unico negativo) impulso è quello del pistone che si ferma sulla parete del cilindro.

Così si sintetizza la sequenza descritta sopra; il pistone si sgancia, quindi il pallino parte, (si noti che questo accade al punto di picco di pressione) poi il pallino lascia la canna e il pistone si appoggia alla fine del cilindro subito dopo. Vedremo in un capitolo successivo che in realtà il pistone arriva molto vicino alla fine del cilindro nel momento di picco di pressione, ma poi viene fatto rimbalzare indietro dalla stessa pressione che gli si para davanti.

Si deve tenere a mente che tutto quello che viene descritto in questo libro accade a velocità molto elevata. Per esempio, l'unità di tempo dell'oscillogramma, ossia la lunghezza della sua linea orizzontale, è equivalente a 50 millisecondi, vale a dire 50 millesimi di secondo !! Così il tempo totale che va dalla partenza alla fermata del pistone è circa 1/3 di 50 ms. Ciò è dimostrato dal fatto che il ciclo di eventi si è tutto completato nel primo terzo della lunghezza della traccia nella figura 1.2. In questo lasso di tempo, un proiettile che viaggia a 500 piedi al secondo (152 m/s) copre una distanza di 8 piedi (2,43 metri).

Capitolo 2 - la molla

La molla di una carabina ad aria compressa fondamentale è solo un serbatoio impiegato per immagazzinare l'energia di propulsione che verrà rilasciata durante il breve periodo tra lo scatto e lo sparo dell'arma. Al fine di ottenere l'indicazione dell'efficienza di una carabina ad aria compressa, è necessario determinare la quantità di energia effettivamente immagazzinata dalla molla quando è compressa, l'energia viene misurata in piedi per libbra (**Nota: Joule, ovvero Newton per metro, nel sistema internazionale**).

Purtroppo, è un'impresa piuttosto noiosa stabilire la quantità di energia in modo accurato, tuttavia esiste un rudimentale, ma efficace metodo di determinazione che vale la pena di descrivere. L'energia è la capacità di un corpo di eseguire un lavoro. Quindi, se possiamo determinare la quantità di lavoro svolto per comprimere la molla, quando l'arma è carica, e supponendo che la molla immagazzini tutta questa energia, anche se in realtà non è così, il lavoro svolto sulla molla è uguale all'energia immagazzinata da essa. Ora il lavoro svolto è il prodotto della forza media applicata quando carichiamo per la distanza attraverso la quale viene applicata questa forza. In questo caso la forza media può essere presa come la forza applicata alla leva di caricamento quando è a metà strada della sua corsa. Questa può essere misurata con un dinamometro.

Il metodo descritto sopra è piuttosto grezzo, in quanto non tiene conto delle perdite d'attrito su perni e pistone durante il tratto di armamento. Sull'arma di prova, il cui caricamento avviene per mezzo della canna, la volata alla fine della corsa ha percorso una distanza di 22 pollici (55.9 cm) durante il caricamento (compreso il movimento iniziale a vuoto del sistema leva).

Si deve constatare che questo percorso non è una linea retta, ma un arco. La forza applicata alla volata (**Nota: l'estremo della leva d'armamento che in questo caso è la stessa canna**) al punto a metà strada dell'arco era di dieci libbre (4,54 Kg o 44.5 N), da cui il lavoro svolto sulla molla, e quindi l'energia contenuta in essa era di 22×10 pollici per libbra o (dividendo per 12), 18 piedi per libbra (18.3 ft.lb = 24.9 J). Questa cifra è in realtà solo di 2,4 piedi per libbre diversa dal valore effettivo che è di 20.4 piedi per libbra (27.7 J), ma è perfettamente accettabile, considerando il metodo utilizzato per ottenerla.

Un metodo più accurato rispetto a quello proposto in precedenza consiste nel rimuovere la molla dall'arma e disegnare la sua curva di carico. Questa linea (riprodotta per la nostra arma di prova in figura 2.1) rappresenta l'importo della deformazione della molla per ogni determinato carico, se il carico è in libbre e la deformazione in pollici, l'area sotto la curva rappresenta il numero di pollici per libbra immagazzinate all'interno della molla. Questa unità di energia può essere convertita nel più consueto piedi per libbra dividendo semplicemente per 12. L'area totale sotto la curva è pertanto una rappresentazione dell'importo massimo di energia che può essere accumulato da quella particolare molla. Questa quantità di energia è limitata dal fatto che continuando ad aumentare il carico, prima o poi le spire attigue si toccheranno, impedendo un'ulteriore accorciamento della molla.

NOTA: in italiano si dice che le spire vanno “a pacco”, mentre in inglese il termine usato è “coilbound” ovvero “rimbalzo delle spire”.

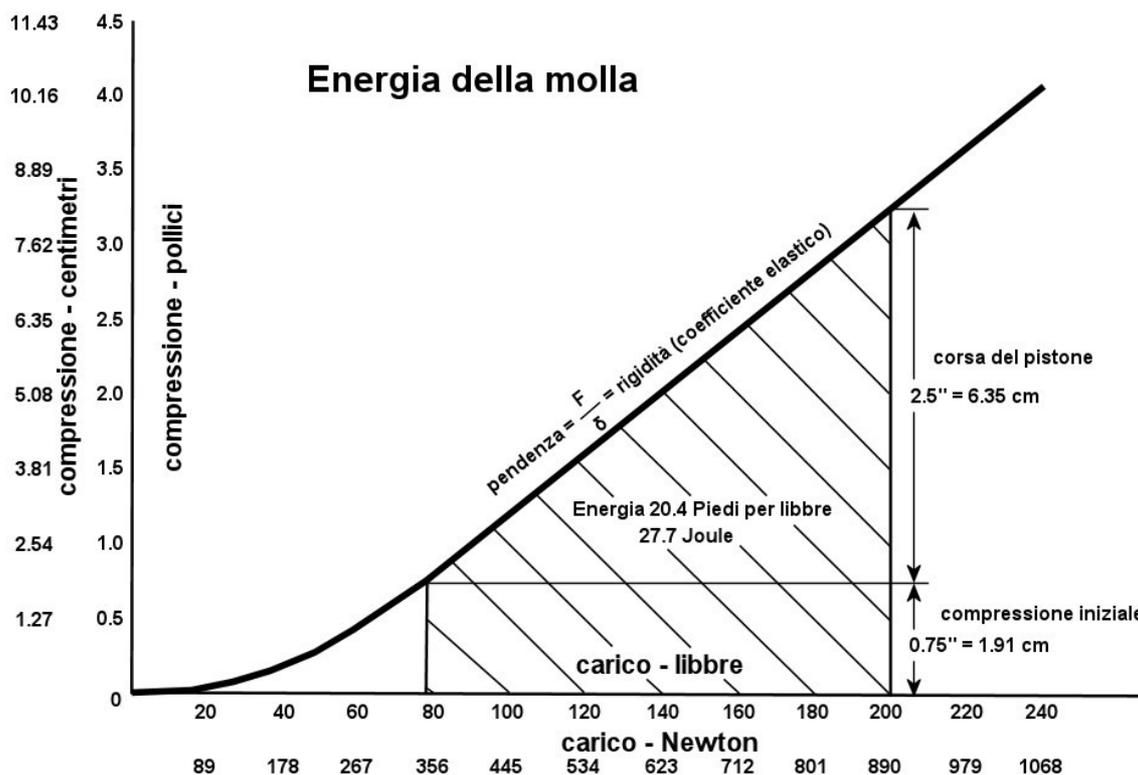


Fig. 2.1. Grafico dell'energia della molla.

La quantità di energia utilizzabile immagazzinata da una molla quando l'arma è caricata può essere determinata prendendo l'area sotto la curva solo tra i limiti di compressione iniziale e di compressione a carabina armata, cioè per l'intero viaggio del pistone. La compressione iniziale è l'importo di compressione della molla quando è a riposo nella carabina. La corsa del pistone è, naturalmente, la distanza coperta dal pistone dal momento del rilascio all'arrivo in fondo del cilindro.

Al fine di tracciare con precisione questa linea, deve essere determinata la deformazione per ogni determinato carico. A questo scopo, si potrebbe mettere la molla in posizione verticale su un banco rigido. Fare passare una barra attraverso il centro della molla e attraverso un apposito foro praticato sul banco. La barra è fermamente bloccata dalla parte superiore della molla da un dado avvitato all'estremità dell'asta. Dalla parte inferiore della barra viene fissato un vassoio, più leggero possibile, che serve per raccogliere i pesi aggiuntivi, con incrementi di circa dieci libbre. La lunghezza iniziale della molla può essere misurata con un regolo e quindi si possono fare successive misure dopo aver applicato i pesi, e poi ancora quando vengono rimossi.

Questa procedura deve essere ripetuta per ottenere due set di risultati, la media dei quali viene utilizzata per tracciare un grafico (come quello in figura 2.1). Si sarà notato che questa linea non è retta, ma è leggermente curva per le prime 70 o 80 libbre. Se fosse stata retta, si sarebbe potuto individuare un solo punto, e attraverso questo punto e l'origine tracciare una retta per ottenere il grafico.

La compressione iniziale viene determinata al momento di sostituire la molla. Questa, e la corsa del pistone vengono riportate sul grafico per trovare l'area tra questi due limiti. Per semplicità, l'area può essere considerata come quella di un trapezio, la quale può essere calcolata moltiplicando la metà della somma dei lati paralleli per la distanza tra di loro. Il risultato è pari all'energia totale, espressa in pollici per libbra.

È stato tuttavia necessario determinare la capacità di immagazzinamento dell'energia di un certo numero di molle. Pertanto, abbiamo costruito un un apparecchio (fig. 2.2.), che ci ha consentito di testare comodamente qualsiasi molla di arma ad aria compressa rapidamente e con precisione. Invece di utilizzare i pesi, come nel metodo precedente, la molla è stata compressa contro una molla molto più rigida la cui curva di carico/deformazione era precedentemente stata determinata con precisione. Quando si ruotava la manovella la molla da testare si comprimeva contro la molla di riferimento più dura, le piccole deviazioni di questa molla erano misurate da un indice (lancetta) di orologio tarato in millesimi di pollice. Sapevamo che per ogni dieci libbre applicate alla molla di riferimento l'indice veniva deviato di 8.5 millesimi di pollice. Così la maniglia è stata ruotata fino ad ottenere letture successive di 8,5 millesimi di pollice. In ciascuno di questi punti è stata misurata la lunghezza della molla sotto test con un regolo. La curva di deformazione del carico per la molla in prova è stata quindi disegnata, con con riportati intervalli di dieci libbre sull'asse di carico.

La compressione iniziale della molla e la sua corsa sono stati stabiliti rimontando l'arma e questi due punti sono stati contrassegnati sul grafico per dare i limiti tra i quali l'area deve essere determinata.

Nella nostra arma di prova, la compressione iniziale era di 0.75 pollici (1.91 cm vedere fig. 2.1), da cui si evince che la molla ha un carico iniziale di 78 libbre (347 N). La corsa del pistone era di 2.5 pollici (6.35 cm) a cui deve essere aggiunto il valore della compressione iniziale, il che da una somma totale di 3.25 pollici (8.51 cm). Dal punto in cui la curva del grafico interseca la scala verticale (flessione) a 3.25 pollici può essere tracciata una linea per la scala orizzontale (carico), che interseca la nostra curva presso il punto delle 200 libbre (890 N). L'area ombreggiata tra queste linee e la curva del grafico rappresenta la quantità di energia utilizzabile dalla molla. È interessante notare che in questo caso l'arma non ha fatto il miglior uso della molla, se la compressione iniziale fosse stata aumentata di altri 0,8 pollici (2 cm), la molla sarebbe stata completamente compressa, tanto da raggiungere il contatto delle spire adiacenti, l'area sotto la curva sarebbe stata maggiore poiché la parte ombreggiata del grafico sarebbe risultata tutta spostata a destra, anche se, naturalmente, l'arma sarebbe stata un po' più difficile da caricare. Al contrario, se la molla fosse stata vecchia tanto da aver perso parte della sua originale lunghezza, abbastanza da aver perduto del tutto la sua compressione iniziale, allora l'area ombreggiata si sarebbe tutta spostata a sinistra, a significare che si era verificata una riduzione della capacità di immagazzinamento della molla.

Questo indica come sia molto importante assicurarsi che la molla di un'arma ad aria compressa rimanga a lungo come il produttore l'ha originariamente fatta.

Prima di discutere dei materiali e dei metodi impiegati per produrre le molle delle armi ad aria compressa vale la pena spendere qualche parola per considerare le caratteristiche di fabbricazione che una di queste molle dovrebbe avere. Dovrebbe avere la capacità di essere compressa fino al suo limite massimo più volte, senza perdita di lunghezza. Dovrebbe essere capace di improvvisa espansione senza fratturarsi, e dovrebbe resistere all'instabilità laterale, per quanto possibile, entro i margini del sostegno offerto dal pistone. Questi fattori richiedono un alto grado di controllo del produttore, dalla selezione del materiale, del trattamento termico finale e della fase di test.

Quando una molla elicoidale viene compressa, l'energia è in realtà immagazzinata dalla torsione del filo. Se comprimiamo una piccola e debole molla con un mano, possiamo chiaramente osservare la veridicità di questa affermazione. Come ogni spira si chiude rispetto alla sua vicina il filo si torce, ed è necessario continuare ad applicare molta forza per superare

la resistenza del filo e obbligare le spire a mantenere la loro nuova posizione. La forza necessaria a produrre una compressione unitaria (la pendenza del grafico in figura 2.1), è una misura della "rigidità" della molla. (stiffness, $K=F/\delta$, in italiano si trova anche come coefficiente elastico).



Fig 2.2 La macchina per il test delle molle

La rigidità di una molla è determinata dalle sue dimensioni fisiche secondo le leggi matematiche:

Se il diametro del filo viene raddoppiato mentre tutto il resto rimane lo stesso, allora la molla sarà sedici volte più rigida.

Se il diametro della molla stessa è raddoppiato, allora la rigidità è ridotta ad un ottavo del suo valore precedente.

Se il numero di spire attive è raddoppiato in una molla di una determinata lunghezza, allora la rigidità è dimezzata.

NOTA: questa ultima affermazione, effettivamente potrebbe risultare un po' strana, di primo acchito. Per avere un'idea sulla veridicità o meno di queste tre affermazioni sulla rigidità delle molle si può utilizzare la seguente formula pratica, utile a stabilire il valore della rigidità di una molla:

$$R = \frac{\pi G d^4}{32 r^2 L}$$

R = rigidità della molla (Kg/mm)

$\pi = 3.14$

G = 8300 coefficiente fisso

d = diametro del filo

r = raggio della molla

L = lunghezza del filo della molla = $2 \pi r n$

n = numero di spire

$$R = \frac{G d^4}{64 r^3 n}$$

Utilizzando questa formula è facile verificare la veridicità di tutte e tre le affermazioni precedenti.

È evidente da quanto sopra che la progettazione di una molla è una scienza a sé. Sono stati scritti molti libri sull'argomento ed è ben fuori del campo di applicazione del presente lavoro approfondire il tema. L'appassionato di armi ad aria compressa vuole semplicemente essere in grado di valutare le proprietà di una molla mediante una semplice regola pratica (**rules of thumb = regole del pollice**), quando è possibile. Egli difficilmente potrebbe osservare quanto una molla si è indebolita durante la sua vita, ma sicuramente è in grado di valutare quanto sia diventata più corta.

Così supponendo di rimuovere la molla da un'arma la cui storia ci è sconosciuta, che cosa bisogna cercare nel momento in cui dobbiamo decidere se questa possa andare ancora bene o se debba essere sostituita? Un'ispezione visiva rivelerà presto se è parzialmente collassata, osservando la presenza o meno di alcune spire a contatto in un unico punto rispetto ad un altro. Questa criticità è di solito accompagnata da instabilità, che risulta facile da individuare, poiché la molla sarà visibilmente piegata. Ognuna di queste condizioni riduce le prestazioni della molla tanto da sottrarle parte della sua lunghezza originale che, come abbiamo già dimostrato, è il fattore più importante quando si valuta una molla. A volte è difficile determinare se la molla che è stata in servizio per qualche tempo abbia perso parte della sua lunghezza originale. Se si ha a disposizione una molla nuova per il confronto, il compito è facile, ma spesso una molla nuova

non è disponibile. Se così fosse, le seguenti indicazioni possono servire come guida approssimativa. La maggior parte delle molle che abbiamo analizzato, da nuove, hanno una distanza tra le spire di circa una volta e mezza il diametro del filo. O per dirla in un altro modo, la molla quando è completamente compressa misura circa 0,4 volte la sua lunghezza originale. Un'altra indicazione è la quantità di compressione iniziale che deve essere applicata, nella maggior parte dei casi, questa è stimata in circa due pollici. È inoltre consigliabile verificare che la molla sia quasi con le spire a contatto nella sua posizione più compressa, in modo che possa usare la sua massima capacità di immagazzinamento di energia disponibile. Molto spesso si incontrano armi che hanno una molla completamente inadeguata.

NOTA: stiamo parlando di carabine springer full degli anni '70, oggi, soprattutto per quanto riguarda le depotenziate, queste ultime due valutazioni non sono vere a priori; molto spesso le molle non sono affatto precompresse dentro la carabina, e le spire non arrivano a contatto quando la carabina è armata.

Mentre sul tema delle molle inadeguate, la domanda più ricorrente è; "è possibile montare una molla più potente?" Nella maggior parte dei casi la risposta a questa domanda è "No". Di solito una molla più potente è troppo lunga e il suo diametro è troppo grande. Se la lunghezza è sbagliata, e la nuova molla deve essere tagliata, potrebbe succedere che, al fine di riuscire a caricare l'arma, la compressione iniziale vada completamente persa. Supponendo anche di riuscire ad adattare una molla più potente senza fare troppa macelleria, esaminiamo il risultato in termini di energia alla bocca: abbiamo già affermato che l'efficienza complessiva dell'arma di questo tipo è dell'ordine del 30%, quindi per ogni piede per libra supplementare che una molla più grande può immagazzinare, solo 1/3 viene restituito come energia alla bocca. Questo piccolo vantaggio deve essere adeguatamente valutato, rispetto ai probabili svantaggi a cui si va incontro, come l' aumento dello sforzo necessario all'armamento e l'incremento del peso di scatto.

Un produttore continentale produce un'arma interessante, poiché la carabina contiene due molle l'una dentro l'altra. In teoria questa sembra essere una buona idea, ma in termini pratici i risultati sono deludenti, poiché sembra che le due molle interferiscano e non producano la potenza prevista.

È possibile confrontare le prestazioni di due molle confrontando il loro peso. Se una dovesse essere due volte pesante dell'altra, allora come regola pratica, è ragionevole aspettarsi che abbia doppio della capacità energetiche, sempre supponendo che entrambe siano sfruttate alla loro piena capacità. Ciò presuppone, ovviamente, che il materiale e la tempera di entrambe le molle siano gli stessi.

La maggior parte delle molle per armi ad aria compressa vengono realizzate utilizzando filo di acciaio armonico di alta qualità B.S. 1429 o B.S. 1408 (B.S. = British Standard). Questo è il materiale che viene utilizzato per la maggior parte delle molle di tutta l'industria. Naturalmente esistono altri materiali da cui possono essere prodotte molle: acciaio inox per applicazioni corrosive o leghe di Rame Berillio per applicazioni non magnetiche. Spesso ci si chiede se c'è un tipo di acciaio migliore, anche se più costoso, in grado di realizzare una molla più duratura e che possa immagazzinare più energia. A quanto ci risulta, non esistono tali materiali, e dato che non sono normalmente disponibili, i problemi e i costi da affrontare per il loro utilizzo, non giustificerebbero il piccolo vantaggio ottenuto dal loro impiego.

Il materiale normalmente utilizzato le molle è prodotto in forma di filo tondo indurito e temprato pronto per essere avvolto nel prodotto finito. È per questo motivo che le molle di sezione quadrata o rettangolare non sono facilmente disponibili. L'alta qualità dell'acciaio che viene

trasformato in filo tondo, abbiamo capito che non è trasformabile in sezione quadrata o rettangolare. Così, anche se uno dovesse procurarsi una molla con sezione quadrata, c'è la possibilità che i vantaggi ottenuti sfruttando una sezione più grande del filo, risultino annullati dall'uso di un materiale più povero.

Una volta che il filo è stato avvolto per formare la molla, deve essere trattato in modo da ridurre lo stress. La riduzione dello stress viene fatta a bassa temperatura nell'arco di alcune ore al fine di rimuovere le sollecitazioni locali causate dall'avvolgimento del filo. I test delle molle delle armi ad aria compressa dovrebbero consistere nel comprimerle più volte fino a quando le spire si toccano, quindi dovrebbero essere nuovamente compresse e lasciate in quello stato qualche ora. Poi dovrebbero essere liberate e la loro lunghezza controllata per assicurarsi che sia uguale alla lunghezza desiderata.

Un ultimo punto sulla molla: nel momento in cui l'arma spara, il pistone e l'intestazione frontale della molla si muovono in avanti con tale velocità che la coda della molla viene anch'essa trascinata in avanti. Ora, più avanti nel libro, verrà mostrato che il pistone rimbalza indietro sul cuscino d'aria compressa. Così il momento in cui il pistone rimbalza, la coda della molla ha anch'essa lasciato il suo piano di appoggio presso la base del cilindro.

Quindi, per un attimo infinitesimale di tempo, il pistone e la molla sono sospesi all'interno del cilindro, senza che nessuna delle due estremità sia in contatto con qualunque parte interna. Provate ad immaginarlo, la prossima volta che tirate il grilletto !!

Capitolo 3 - Il pistone

La principale funzione del pistone di un'arma ad aria compressa è quella di fornire una barriera tra la molla e l'aria contenuta nel cilindro. Deve essere in grado di fare tenuta contro le perdite di aria tra se e le pareti del cilindro quando si muove in avanti ad alta velocità, ma, allo stesso tempo, essa non deve produrre eccessivo attrito.

Ci sono solo due variabili che possono essere modificate nel pistone in caso si voglia provare ad ottenere una maggiore efficienza. La prima è il tipo di guarnizione impiegata e la seconda è il peso complessivo del pistone.

Consideriamo per prima cosa la guarnizione; il tipo più comune utilizzato in tutta la storia delle armi ad aria compressa a molla è senza dubbio la guarnizione di cuoio a forma di tazza. Occasionalmente vengono utilizzati anche altri tipi di guarnizione, generalmente si tratta di fasce elastiche di bronzo fosforoso, di ghisa o guarnizioni di plastica stampata. **(Nota: ricordo che siamo negli anni '70. Oggi si usano quasi esclusivamente guarnizioni sintetiche).**

I nostri esperimenti hanno dimostrato che le qualità ermetiche della guarnizione sono relativamente poco importanti per la qualità dell'arma. A riguardo possiamo dire che è molto più importante avere una culatta correttamente rifinita piuttosto che un pistone completamente ermetico. Ovviamente il pistone non deve lasciar passare grandi quantità d'aria, ma se la luce tra guarnizione e pareti del cilindro è minima solo una piccola quantità d'aria trafila durante il brevissimo tempo che il pistone è in movimento. D'altro canto, una guarnizione di testa troppo compressa all'interno del cilindro produrrebbe talmente tanto attrito da non riuscire a dare una sufficiente spinta al pallino.

Le guarnizioni realizzate con le moderne plastiche quali il PTFE (politetrafluoretilene, meglio conosciuto come Teflon), sono eccellenti, purché utilizzate sotto forma di fasce elastiche (piston rings). Le guarnizioni solide rischiano di creare molti problemi, dovuti alla anormale dilatazione termica a cui vanno soggette le materie plastiche. Nel caso del PTFE la normale escursione termica giornaliera è sufficiente a cambiare le caratteristiche della rondella, tanto da farla passare da una scarsa tenuta dell'aria, a fargli bloccare completamente il pistone. Il PTFE è tuttavia un materiale molto versatile e può essere miscelato con varie sostanze, tra le quali desta molto interesse il bisolfuro di molibdeno. Il risultato di questa miscela è una sostanza autolubrificante, molto scivolosa, ideale per le fasce elastiche.

La vecchia guarnizione in cuoio ha resistito alla prova del tempo e rimane la più popolare in assoluto, anche per le armi più costose (oggi non più). Ha degli indubbi vantaggi, oltre ad essere tra le più economiche da produrre, è in grado di resistere a un sacco di maltrattamenti, causati da mancanza di lubrificazione. Abbiamo visto molti fucili che non sono stati lubrificati per anni, e quando la guarnizione è stata pulita e lubrificata è tornata come nuova. Un altro punto a favore del cuoio è che trattiene il lubrificante come fosse uno stoppino, fornendo un costante approvvigionamento di olio per la superficie su cui lavora. Va detto che usando un lubrificante non idoneo, la guarnizione in cuoio provoca dielseling. Ma delle problematiche legate alla lubrificazione se ne parlerà in un capitolo a parte.

Abbiamo esaminato anche l'effetto di alterare il peso del pistone, aggiungendo dei pesi di piombo dentro il pistone, fino a raddoppiarne il peso originale.

Ma il risultato ci ha sorpreso. Poiché ci aspettavamo una grande alterazione della velocità alla volata, anche se non sapevamo se in positivo o in negativo. Invece, c'è stata solo una piccola riduzione di velocità, ma lo sparo della carabina è immediatamente diventato sgradevole, a causa di un contraccolpo molto pronunciato. Questa reazione verrà spiegata in dettaglio nel capitolo sul rinculo. Quando il pistone è pesante, l'energia della molla viene trasferita più lentamente, producendo un disagio per lo sparo dell'arma. Invece un pistone leggero può accelerare più velocemente e quindi far sentire meno lo strappo. Arrivato dall'altra estremità del cilindro, un pistone pesante è più difficile da fermare di uno leggero, e nonostante l'esistenza di un cuscino d'aria tra la base del cilindro e la guarnizione, l'effetto del peso del pistone si sente ancora molto chiaramente.

Con questi pensieri nella mente, non è difficile comprendere che, se fosse possibile eliminare del tutto il pistone, o perlomeno realizzarne uno utilizzando materiali leggeri, l'arma risultante avrebbe un'azione eccezionalmente morbida, e si potrebbero certamente realizzare armi senza rinculo destinate alle competizioni di tiro.

Il grafico della corsa del pistone rispetto al tempo è mostrato in figura 3.1, ottenuto utilizzando il pistone di peso standard. Si vede che la velocità rimane approssimativamente costante dopo l'accelerazione iniziale, fino a quando il pistone si avvicina alla fine del cilindro, rallenta bruscamente e si ferma per un istante a circa 1/10 di pollice (2.54 mm) dal fondo del cilindro. Da questa posizione "rimbalza" indietro fino a 1/2 pollice (12.7 mm) dalla base, quindi ritorna in avanti e si ferma contro la parete del cilindro.

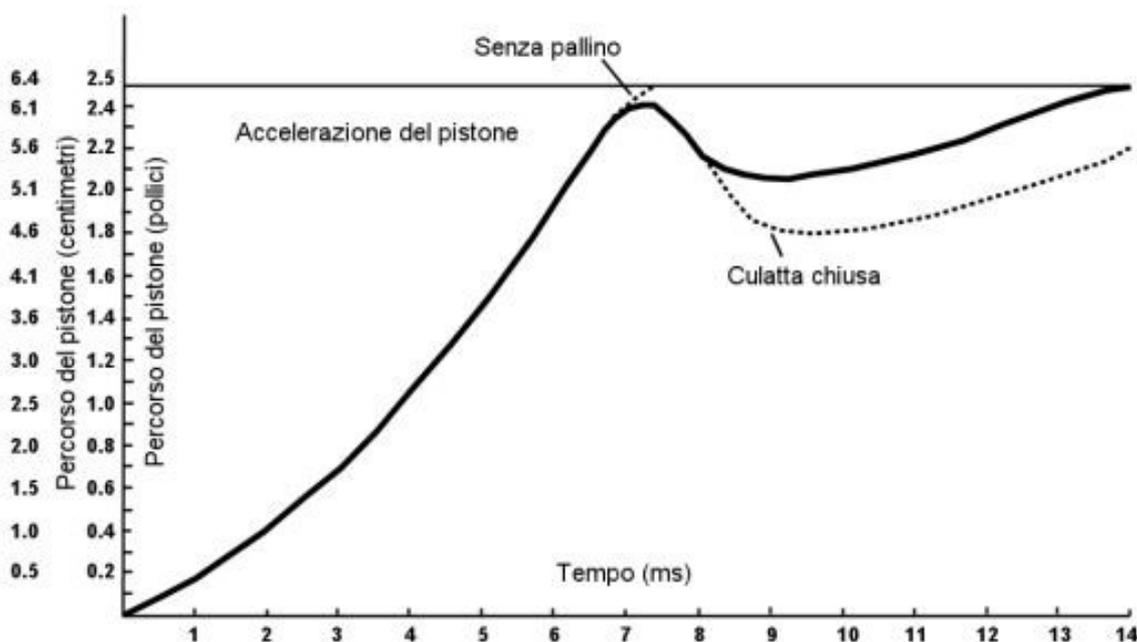


Grafico dell'accelerazione del pistone.

Se non ci fosse stato nessun pallino nella culatta il pistone avrebbe sostenuto la stessa velocità, ma si sarebbe schiantato contro il fondo del cilindro, producendo un'azione inutile. Se, d'altro canto, avessimo tappato la canna in modo che l'aria non potesse trovare alcuno sfogo, il pistone sarebbe rimbalzato indietro molto oltre il mezzo pollice misurato. A questo punto sarebbe quindi avanzato lentamente fino a tornare a riposo alla fine del cilindro.

Il motivo per cui il pistone è costretto a rimbalzare indietro, è dovuto al fatto che, appena giunge

al suo punto più avanzato, trova davanti a se una barriera di aria alla massima pressione possibile. L'aria non è in grado di trasferire immediatamente la sua energia al pallino, perché questo richiede tempo per accelerare. Quindi è la stessa aria compressa che spinge all'indietro il pistone, fino a quando la spinta causata dalla forza della pressione dell'aria non eguagli la forza della molla che spinge il pistone in avanti. Durante questo movimento all'indietro, però, il pallino ha iniziato ad avanzare all'interno della canna, quindi il pistone può nuovamente avanzare fino a completare la sua corsa.

Tuttavia se fosse possibile fermare il pistone impedendogli di tornare indietro, si potrebbe evitare lo spreco dovuto all'espansione dell'aria, e trasferire al pallino un'energia maggiore. Bisogna capire che il rimbalzo causa una grande caduta di pressione nel cilindro, e quindi ci siamo adoperati per cercare di evitarlo. Abbiamo pensato a molti sistemi fantasiosi e sprecato innumerevoli ore a fantasticare sul modo di bloccare il pistone saldamente nella sua posizione più avanzata.

E' relativamente facile eseguire questa operazione a bassa velocità, quando il pistone è mosso manualmente. Tutta un'altra cosa è cercare di fermare il rinculo all'indietro del pistone quando l'arma spara. Per prima cosa il pistone rimane nel suo punto più avanzato per un istante infinitesimale, ed è sottoposto ad una pressione enorme. Un eventuale dispositivo dovrebbe agire istantaneamente e dovrebbe essere abbastanza robusto da resistere alla spinta all'indietro a cui è sottoposto il pistone, che è pari alla pressione massima moltiplicata per la superficie frontale del pistone stesso. Nel nostro caso si tratta di una forza di oltre 1000 libbre (453 Kg, quasi mezza tonnellata!).

Uno schizzo del nostro tentativo finale è illustrato in figura 3.2 (**Nota: non riportata in questa sede, dovrete andarvela a vedere sul libro**). L'idea era di realizzare un'asta solidale al pistone che gli permetta di scorrere in avanti verso il fondo del cilindro, ma che non appena questo tenta di tornare indietro, costringa due sfere di acciaio a bloccarsi dentro una struttura conica solidale alla base posteriore del cilindro, in modo da impedirgli ogni movimento all'indietro. Quando si ricarica l'arma, una vite di rilascio mantiene le sfere lontane dal telaio, sbloccando il pistone. Operazione che andrà effettuata ogni volta che si ricarica l'arma per permettere al pistone di arretrare. Tutte le parti del prototipo erano in acciaio indurito e lucidato. Eppure, nonostante tutti i nostri sforzi, al momento dello sparo tutto il dispositivo si è deformato ed è stato sparato dalla parte opposta. Alla fine abbiamo deciso che l'esperimento era impossibile da effettuare poiché era chiaro che le forze coinvolte erano maggiori di quanto poteva sopportare la meccanica di un'arma media. Ma se fosse stato attuabile, di sicuro avrebbe portato ad un aumento significativo della velocità di uscita del proiettile. E' stato un vero peccato che non sia stato possibile dimostrarlo con un esperimento pratico.



Fig. 3.2 dispositivo anti rimbalzo del pistone.

Capitolo 4 – L'aria

Il fucile ad aria compressa è stato preceduto nella storia dall'arco e freccia, ed è interessante confrontare le due armi perché sono entrambe simili, nel senso che in entrambe il proiettile è accelerato da una molla elastica. Il legno che si flette dell'arco è la controparte della molla nella carabina. Ma c'è una grande differenza tra le due armi, in quanto nel fucile, al contrario dell'arco, l'aria è interposta tra la molla e il proiettile. L'aria rende necessaria a causa della grande differenza tra la massa del piccolo proiettile rispetto a quella di molla e pistone che sono molto più pesanti; considerando che nell'arco, la massa del proiettile, la freccia, è paragonabile a quella della corda e a quella delle sezioni più leggere dell'arco che si flettono per scoccarla. L'aria può essere paragonata al cambio di un'autovettura; il cambio trasmette il movimento veloce di un motore relativamente leggero alle ruote, le quali, devono girare molto più lentamente rispetto all'albero motore per riuscire a far muovere il ben più pesante corpo della vettura.

Per comprendere a fondo la funzione che ha l'aria in una carabina, possiamo portare all'estremo il concetto, ed immaginare cosa succederebbe a farne completamente a meno. Supponiamo di tagliare via la canna del fucile e di posizionare il pallino direttamente sulla sommità del pistone. Sparando, il pallino verrebbe lanciato via con la stessa velocità finale del pistone, che è all'incirca di 50 piedi al secondo (15 m/s). Si tratta di un valore di velocità veramente molto basso, il quale produce un'energia piccolissima, in virtù dello scarso peso del pallino. Ma se lo stesso fucile senza canna venisse invece caricato con un grossa palla di piombo, che abbia all'incirca lo stesso peso del pistone, ecco che il proiettile lanciato a 50 piedi al secondo avrebbe un'energia cinetica elevata, paragonabile a quella del pistone che l'ha generata, in quanto questa si calcola moltiplicando il peso del proiettile per il quadrato della velocità e dividendo poi per 2. Questo perché quando il proiettile ha una massa simile all'agente che la proietta, non è necessario nessun mezzo di trasmissione dell'energia, come appunto l'aria.

Dopo aver stabilito la ragione per cui l'aria è rigorosamente necessaria, la successiva domanda che viene spesso posta dagli appassionati, dotati di una certa mentalità scientifica, è la seguente: "Quali sono le pressioni coinvolte all'interno del cilindro?" La pressione è probabilmente uno dei parametri più difficili da misurare senza costose attrezzature. Siamo stati abbastanza fortunati da avere avuto in prestito alcuni strumenti dai signori della Kistler Instruments Ltd. Questa azienda è specializzata nella misurazione di alte pressioni mediante l'uso di trasduttori piezoelettrici ceramici. Tali strumenti possono essere trasformati in unità molto piccole e robuste, che si prestano mirabilmente allo studio della balistica interna, poiché possono essere avvitate direttamente nelle canne o, come in questo caso, nel cilindro delle armi ad aria compressa. Il trasduttore di pressione converte la pressione in una carica elettrica proporzionale, che viene elaborata da un amplificatore di carica. Tale segnale può essere visualizzato sullo schermo di un oscilloscopio.

Nel nostro caso, la traccia dell'oscilloscopio assume la forma di una curva (fig. 4.1), nella quale l'asse verticale rappresenta la pressione e l'orizzontale rappresenta, non la corsa del pistone come si potrebbe credere, ma il tempo. Come spiegato nel capitolo precedente, la corsa del pistone può essere correlata al tempo, in questa maniera non ci dovrebbero essere grossi problemi a disegnare in seguito una curva della pressione rispetto al volume.

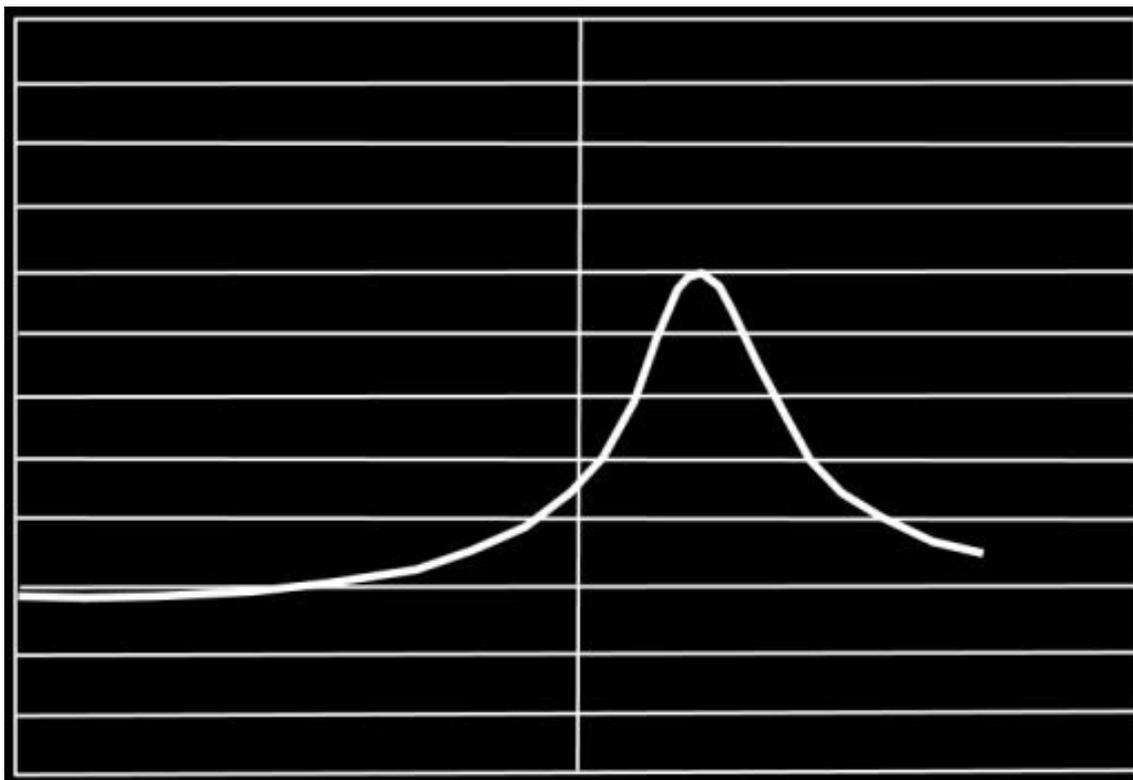


Fig. 4.1 Transitorio dell'aria

Da queste curve, siamo in grado di stabilire che dal punto di vista pratico, la compressione in oggetto risulta essere ADIABATICA, ovvero che si svolge senza qualsiasi cessione o assorbimento di calore dal o nel gas. Queste curve hanno mostrato che il picco di pressione all'interno del cilindro è dell'ordine di 1250 p.s.i. (88.25 bar)

Tutti abbiamo osservato che gonfiando un pneumatico di bicicletta, la pompa si scalda. Questo perché parte dell'energia impiegata per compressione dell'aria viene trasformata in calore. Poiché il pompaggio avviene lentamente e con molte corse avanti e indietro del pistone, il calore generato all'interno dell'aria si propaga all'ambiente esterno attraverso le pareti della pompa. Ora l'azione di un fucile ad aria compressa è leggermente diversa. Nel senso che la compressione avviene così rapidamente che il calore non ha il tempo di passare attraverso le pareti del cilindro. In questo caso, la compressione è detta adiabatica, mentre nel caso della pompa di bicicletta, la compressione è detta ISOTERMICA.

Ora che abbiamo stabilito che la compressione è adiabatica, possiamo calcolare la pressione e la temperatura dalle equazioni seguenti:

$$P_1 V_1^n = P_2 V_2^n \quad \dots\dots\dots (1)$$

Che ci dà il rapporto tra la temperatura assoluta e il volume.

Dove:

P1= pressione iniziale

V1 = volume iniziale

P2 = pressione finale

V2 = volume finale

n = rapporto delle capacità di calore specifico del gas, che per l'aria ha il valore di 1,408.

$$T_1 V_1^{n-1} = T_2 V_2^{n-1} \dots\dots\dots (2)$$

Che ci dà il rapporto tra la temperatura assoluta e il volume.

Dove:

T1 = Iniziale temperatura del gas in Kelvin. (cioè gradi centigradi + 273)

T2 = Temperatura finale del gas In Kelvin.

Anche il lavoro svolto su, o dall'aria quando il volume passa da V1 a V2 è dato dalla formula:

$$\text{Lavoro fatto} = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{n-1} \dots\dots\dots (2)$$

Prima di applicare qualsiasi di queste equazioni ai nostri problemi, dobbiamo capire come l'aria viene effettivamente compressa all'interno del cilindro dell'arma. Questo può sembrare ovvio in un primo momento, ma in realtà non è così semplice si immagina.

Non appena si preme il grilletto, il pistone viene rilasciato, ed è costretto ad avanzare dalla molla compressa. Dal momento del rilascio inizia a spingere l'aria all'interno del cilindro in uno spazio sempre più piccolo, provocando così un aumento della pressione. Ma a un certo punto, al pistone, non è più possibile comprimere ulteriormente l'aria ed è costretto a tornare indietro per un piccolo tratto, spinto dalla stessa aria che ha compresso, prima di riprendere ad avanzare. In altre parole, ad un certo punto il pistone rimbalza.

Al fine di capire più a fondo, si consideri una pompa di bicicletta alla quale sia stato ostruito il foro di uscita dell'aria, rendendola ermetica. Immaginiamo che sia una di quelle pompe che si sviluppano in verticale; fissiamo al manubrio un peso adeguato, e poi molliamolo improvvisamente. Il pistone scenderà poi rimbalzerà indietro sul cuscino d'aria che esso stesso ha compresso.

La stessa cosa avviene in un cilindro di un'arma ad aria compressa, solo in maniera molto più veloce. L'intero ciclo dura soltanto circa 15 millisecondi; è il tempo necessario ad un pallino lanciato a 500 FPS (152 m/s) per coprire una distanza di 7.5 piedi!

Abbiamo visto nel capitolo 1 che nel momento in cui il pistone inizia a rimbalzare indietro, il pallino parte ed inizia ad accelerare dentro la canna. O guardandola un altro modo, il pallino frena l'aria fino a quando non viene raggiunta una pressione massima, a questo punto l'attrito tra pallino e canna viene vinto e questo schizza via. Nello stesso momento il pistone non può più fornire nessuna spinta in più all'aria, a causa della sua lentezza, e per mancanza di energia da questo esatto momento è spinto indietro dalla stessa aria compressa che ha di fronte. Questi sono gli eventi che si verificano quando abbiamo un pallino di misura corretta dentro una culatta di forma ottimale (capitolo 6). Senza questi importanti fattori, la corsa del pistone e la partenza del pallino sono sconvolti nella loro tempistica, e l'efficienza diventa inferiore.

Il grafico della corsa del pistone rispetto al tempo (figura 3.1.) mostra l'accelerazione del pistone, dal momento in cui il grilletto viene premuto, al momento in cui il pistone colpisce il fondo del cilindro, dopo aver rimbalzato una volta sul cuscino d'aria che esso stesso ha compresso.

È evidente da questo grafico che il punto di volume minore corrisponde a una posizione del

pistone di 0.1 pollici (2.54 mm) dalla fine cilindro. Poiché questo è il punto di volume più piccolo, deve anche essere il punto di maggiore pressione. Ora possiamo procedere per calcolare il valore del picco di pressione raggiunto nel cilindro. Chiamiamo questo volume V2.

Applicando l'equazione (1):

$$P_1 V_1^n = P_2 V_2^n$$

P1 sarà uguale alla normale pressione atmosferica, poiché in questa posizione il pistone non ha ancora iniziato a comprimere l'aria.

V1 è il volume iniziale dell'aria nel cilindro, che è il volume prima che il pistone inizi a muoversi. Poiché in questo caso il diametro del cilindro è di 1 pollice (25.4 mm) e la corsa del pistone di 2.5 pollici (63.5 mm) possiamo calcolare il volume:

$$V_1 = \pi r^2 h = 3.142 \cdot 0.5^2 \cdot 2.5 = 1.964 \text{ pollici cubici}$$

NOTA: 1 pollice quadrato = 16,387 centimetri quadrati quindi $1.964 \times 16,387 = 32,18$ cc, poco meno di un ciclomotore.

$$P_1 = 14.7 \text{ lbs./sq. Ins. (libbre su pollici quadrati)}$$

NOTA: 14.7 psi, Pounds per Square Inch o libbra forza per pollice quadro equivalgono a 1 Atm o 1.013 bar

$$V_2 = \pi r^2 h = 3.142 \cdot 0.5^2 \cdot 0.1 = 0.0785 \text{ cu. ins. (pollici cubici)}$$

Da cui:

$$14.7 (1.964)^n = P_2 (0.0785)^n$$

ovvero:

$$P_2 = \frac{14.7 (1.964)^n}{(0.0785)^n} = 14.7 \left(\frac{1.964}{0.0785} \right)^n$$

visto che: $n = 1.408$

$$P_2 = 14.7 \cdot 92.961$$

Da cui:

$$P_2 = 1366 \text{ lbs./sq. Ins. (libbre su pollici quadrati)}$$

Ripetiamo il calcolo con le unità del sistema metrico decimale:

$$V_1 = \pi r^2 h = 3.142 \cdot 12.7^2 \cdot 63.5 = 32180 \text{ mm}^3 = 32.18 \text{ cm}^3$$

$$P_1 = 1.013 \text{ bar}$$

$$V_2 = \pi r^2 h = 3.142 \cdot 12.7^2 \cdot 2.54 = 1287 \text{ mm}^3 = 1.287 \text{ cm}^3$$

$$1.013 \cdot (32.18)^n = P_2 \cdot (1.287)^n$$

$$P_2 = \frac{1.013 \cdot (32.18)^n}{(1.287)^n} = 1.013 \left(\frac{32.18}{1.287} \right)^n$$

$$P_2 = 1.013 \cdot 92.981$$

$$P_2 = 94.19 \text{ bar}$$

NOTA: le piccole differenze sono dovute alle varie approssimazioni che ho compiuto nel passaggio tra un sistema di misura e l'altro, infatti:

$$P_2 = 1366 \cdot 0.069 = 94.25 \text{ bar} \cdot 0.987 = 92.95 \text{ atm}$$

Poiché i calcoli riportati sopra coprono un caso tipico, piuttosto che un caso particolare, non è stato tenuto conto del volume perso della transfer port (il foro che collega il cilindro alla culatta, da ora in avanti TP). Questo perché, durante i nostri esperimenti, sono state modificate le dimensioni e la forma della TP. Ma sarebbe una semplice calcolare il volume della TP e aggiungerlo alle V1 e V2 all'inizio del calcolo.

Questo valore di P2 è quindi la pressione massima raggiunta all'interno del cilindro. Tuttavia, deve essere sottolineato che questa pressione viene raggiunta solo per un istante e che il minimo movimento all'indietro del pistone provoca un drastico calo di pressione. Se si guarda la curva adiabatica disegnata in figura 4.2, ci si renderà conto che un movimento all'indietro di solo 0.02 pollici provoca un calo di pressione da 1350 psi a 1000!! E un ulteriore calo di pressione di circa 500 psi si verifica se il pistone si sposta indietro di solo 0.1 pollici.

Quando il pistone accelera in avanti, l'energia cinetica che esso trasmette non è utilizzata solo per la compressione dell'aria ma anche, purtroppo, per riscaldarla. Così la temperatura aumenta enormemente, con l'aumento della pressione. La nuova temperatura può essere calcolata dall'equazione (2).

$$T_1 V_1^{n-1} = T_2 V_2^{n-1}$$

$T_1 = \text{Temperatura della stanza} = 20^\circ\text{C} = 20 + 273 = 293^\circ\text{K}$

$V_1 = 1.964 \text{ cu.ins. (come prima)}$

$V_2 = 0.0785 \text{ cu.ins. (come prima)}$

$T_2 = ?$

da cui:

$$293 \cdot (1.964)^{n-1} = T_2 \cdot (0.785)^{n-1}$$

oppure:

$$T_2 = 293 \cdot (25)^{1.408-1} = 293 \cdot 3.718 = 1098^\circ\text{K} = (1089 - 273)^\circ\text{C} \\ = 816^\circ\text{C}$$

Ancora una volta ripeto il calcolo con le più comprensibili unità del sistema metrico decimale:

$$V_1 = 32.18 \text{ cm}^3$$

$$V_2 = 1.287 \text{ cm}^3$$

$$293 \cdot (32.18)^{n-1} = T_2 \cdot (1.287)^{n-1} \\ T_2 = 293 \cdot (25)^{1.408-1} = \dots = 816^\circ\text{C}$$

A questa temperatura è facile capire perché l'olio contenuto nel cilindro si infiamma. Questo fenomeno è detto "dieselling".

Ancora una volta dobbiamo sottolineare che questa temperatura, come la pressione, è stata raggiunta solo per una frazione di secondo. L'aumento della temperatura rispetto alla corsa del pistone può essere vista sul lato destro della figura (4.2).

È stato detto, nella definizione di compressione adiabatica, che nessun calore entra o esce dal gas, e che questo è il caso della compressione che avviene all'interno di un'arma ad aria compressa. Anche se la temperatura dell'aria è aumentata, l'aumento è esclusivamente dovuto all'aumento dell'energia interna e non ad un qualsiasi trasferimento di calore. Semplicemente non c'è tempo per cui si possa verificare un significativo trasferimento di calore!

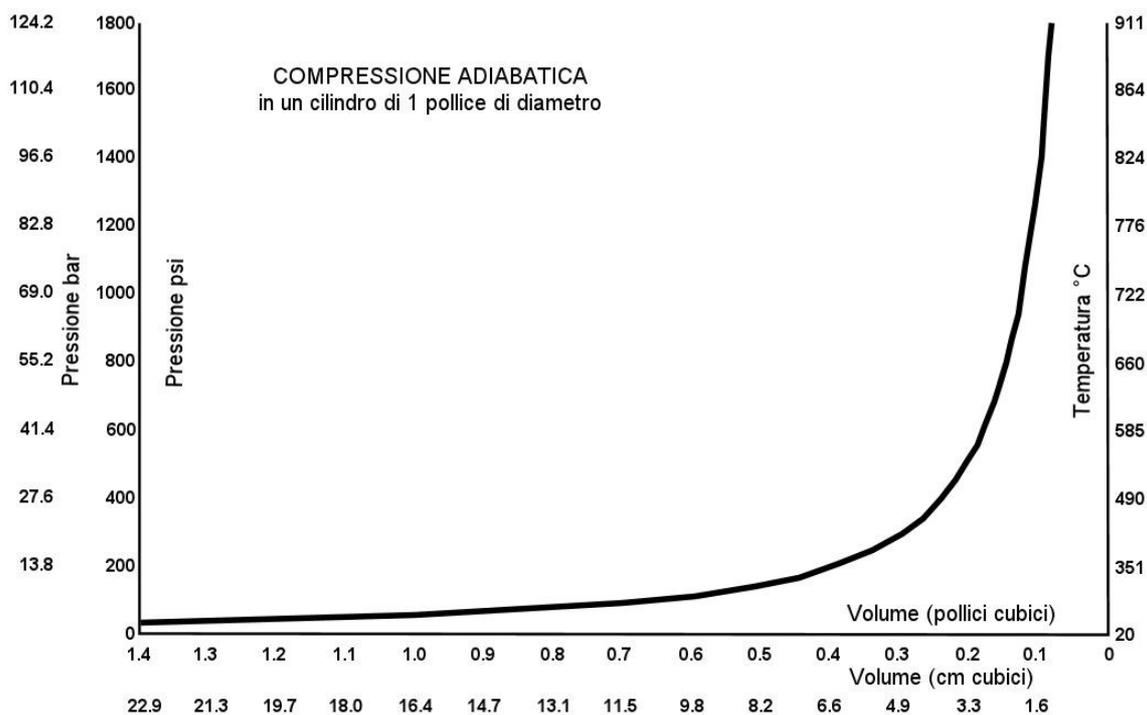


Fig. 4.2 grafico della compressione adiabatica.

Immaginando il pistone fermo nella sua estrema posizione in avanti per un tempo significativo, si produrrebbe una perdita di calore attraverso le pareti del cilindro, fino a quando la temperatura dell'aria interna al cilindro non fosse diventata uguale a quella dell'ambiente circostante. In questo caso la compressione non sarebbe adiabatica. Quando la temperatura scende, anche la pressione scende. Supponendo che non ci sia alcuna perdita, la pressione sarebbe scesa ad un valore che ci si aspetterebbe da una compressione isoterma della stessa portata.

Ora siamo in grado di calcolare l'importo effettivo di lavoro svolto sul gas quando è compresso dal pistone.

Quindi, utilizzando la formula (3);

$$\text{Lavoro} = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{n-1}$$

Utilizzando i valori precedenti per pressione e volume:

$$\begin{aligned}
 P_1 &= 14.7 \text{ psi (1.013 bar = } 101300 \text{ N/m}^2 \text{ Pascal)} \\
 V_1 &= 1.964 \text{ cu. ins. (32.18 cm}^3 = 0.00003218 \text{ m}^3) \\
 P_2 &= 1366 \text{ psi (94.25 bar = } 9425000 \text{ N/m}^2 \text{ Pascal)} \\
 V_2 &= 0.0785 \text{ cu. ins. (1.287 cm}^3 = 0.000001287 \text{ m}^3) \\
 n &= 1.408
 \end{aligned}$$

da cui:

$$\begin{aligned}
 \text{Lavoro} &= \frac{(1366 \cdot 0.0785) - (14.7 \cdot 1.964)}{1.408 - 1} \text{ inch pound} \\
 &= \frac{107.3 - 28.867}{0.408} = \frac{78.432}{0.408} = 192.235 \text{ in.lbs.}
 \end{aligned}$$

Oppure:

$$= \frac{192.235}{12} = 16.0 \text{ Ft.lbs.}$$

Vediamo in unità metrico decimali:

$$L = \frac{(9425000 \cdot 0.000001287) - (101300 \cdot 0.00003218)}{1.408 - 1} = 21.7 \text{ J}$$

Tenendo conto che:

$$1 \text{ ft.lbs} = 1,3558 \text{ J} \quad \text{allora } 16.0 \text{ ft.lbs} = 16.0 \cdot 1.3558 = 21.7 \text{ J}$$

Ora possiamo vedere che l'energia totale necessaria per comprimere l'aria a 1366 psi (94.2 bar) è di 16 piedi per libbra (21.7 Joule). Questo deve pertanto essere l'importo totale di energia contenuta dall'aria alla pressione indicata. Tuttavia occorre notare che a queste pressioni così alte, una variazione di solo 64 psi di pressione, significa una diminuzione dell'energia di un piede per libbra.

Se il pistone rimanesse in questa posizione avanzata, tutti i 16.0 piedi per libbre sarebbero disponibili per spingere il pallino nella canna. Invece a questo punto il pistone rimbalza indietro usando un po' di questa energia. Può essere calcolato questo importo di energia utilizzando la stessa equazione adiabatica usata prima, ma questa volta per un'espansione. I calcoli sono, tuttavia, complicati dal fatto che, come il pistone si muove indietro così il pallino accelera in avanti nella canna. Dobbiamo pertanto tenere conto del volume extra di aria che si va via via creando dietro al pallino.

Se il pistone rimbalza indietro per una distanza di 0.4 pollici (1.016 cm) dall'estremità del cilindro, il pallino in quel momento ha raggiunto una distanza di 7 pollici (17.78 cm) dalla culatta.

Quindi dall'equazione (1)

$$P_1 V_1^n = P_2 V_2^n$$

$$P_2 = 1366 \text{ psi (94.25 bar = } 9425000 \text{ N/m}^2 \text{ Pascal)}$$

$$V_2 = 0.0785 \text{ cu. ins. (1.287 cm}^3 \text{ = 0.000001287 m}^3 \text{)}$$

$$P_1 = ?$$

V_1 = Volume del cilindro + volume della canna

$$V_1 = (\pi \cdot (0.5)^2 \cdot 0.4 + (\pi \cdot (0.11)^2 \cdot 7) \text{ cu.ins}$$
$$= 0.3142 + 0.2661 = 0.5803 \text{ cu.ins.}$$

Quindi:

$$P_1 \cdot (0.5803)^{1.408} = 1366 \cdot (0.0785)^{1.408}$$

In modo che:

$$P_1 = 1366 \cdot \left(\frac{0.0785}{0.5803} \right)^{1.408} = 81.7 \text{ psi}$$

Questa è la pressione del sistema quando il pistone ha rimbalzato all'indietro.

Ora applicando l'equazione per il lavoro svolto in o da un gas, l'equazione (4)

$$\frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{n-1} = \text{Lavoro fatto}$$
$$\frac{(1366 \cdot 0.0785) - (81.7 \cdot 0.5803)}{1.408 - 1} = \text{Lavoro fatto}$$
$$= 146.6 \text{ in.lbs} = 12.2 \text{ Foot pounds}$$

(Questa è l'energia data dall'aria nella sua espansione).

Vediamo in unità metrico decimali:

$$V_1 = \pi \cdot (1.27)^2 \cdot 1.016 + \pi \cdot (0.2794)^2 \cdot 17.78 = \\ = 9.51 \text{ cm}^3 = 0.00000951 \text{ m}^3$$

$$P_1 = 94.25 \cdot \left(\frac{1.287}{9.51}\right)^{1.408} = 5.64 \text{ bar} = 564000 \text{ Pa}$$

$$\text{Lavoro} = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{n-1} = \\ = \frac{94325000 \cdot 0.000001287 - 564000 \cdot 0.00000951}{1.408 - 1} = \\ = 12.2 \text{ fp.lbs} \cdot 1,3558 = 16.5 \text{ Joule}$$

Sottraendo questi dai 16.0 piedi per libbra contenuti nell'aria quando il pistone era a 0.1 pollici dalla fine del cilindro, otteniamo la quantità di energia, che rimane nell'aria, ossia 3.8 piedi per libbra (5.2 J).

Ora dobbiamo considerare dove sono stati distribuiti i 12.2 piedi per libbra (16.5 J), dati dall'aria. Dalla curva di energia della molla (fig. 2.1), possiamo determinare che 1.9 piedi per libbre (2.57 J) sono stati utilizzati per comprimere la molla di 0.4 pollici. Questi sono stati effettivamente sprecati poiché la compressione della molla non è servita ad alcuno scopo utile. Sappiamo anche che quando il pallino è a 7 pollici dentro la canna, si sta muovendo con una velocità corrispondente a un'energia di 5,8 piedi per libbra (7.86 J) (vedere figura 6.1). Così siamo rimasti con 4.5 piedi per libbra (6.10 J) che non siamo ancora in grado di giustificare, tuttavia cercheremo di spiegare questa perdita più tardi, in termini di onde d'urto e simili.

Capitolo 5 – la transfer port

La TP (transfer port) è quel piccolo ma estremamente importante passaggio che unisce l'interno del cilindro con l'anima della canna. Questo passaggio, nel corso degli anni, ha subito numerose modifiche di progettazione, è stato realizzato in una grande varietà di formati e di svasature per meglio adattarsi al progetto dell'arma.

Studiando questo particolare della carabina ad aria compressa, ci sono tre variabili principali che vanno considerate:

- (1) Il diametro del foro
- (2) La lunghezza del foro
- (3) La forma del foro

Prima di discutere di questi punti, consideriamo esattamente che cosa succede quando l'aria attraversa questo passaggio. Come il pistone crea la pressione davanti a se, questa ovviamente aumenta anche dietro al pallino. Nel momento di picco di pressione nel cilindro, il pallino quindi lascia la sua sede alla quale aderiva e accelera fuori dalla canna (se si tratta di un pallino ben aderente). Immediatamente, non appena accelera, dietro di lui la pressione inizia a scendere, e l'aria in pressione contenuta nel cilindro si precipita attraverso la TP per equilibrare la pressione nella canna. Quindi si crea un flusso di aria dal cilindro verso la canna. Questa differenza di pressione dovrà essere mantenuta per preservare il flusso d'aria. Ma per fare accelerare il pallino, il flusso deve necessariamente aumentare, e questo può avvenire solo a causa di un continuo aumento della differenza di pressione tra la la zona immediatamente dietro alla gonna del pallino e l'interno del cilindro.

Quando la pressione dal lato culatta (canna) della TP scende a circa la metà della pressione che si ha nel cilindro, si raggiunge una condizione nota come "flusso critico". A questo punto il flusso d'aria attraverso la TP è arrivato a una velocità costante, la quale non può essere ulteriormente aumentata senza aumentare la pressione nel cilindro. Ma la pressione nel cilindro è già caduta a causa del movimento all'indietro del pistone e al movimento in avanti del proiettile, pertanto il pallino non può più ricevere una ulteriore accelerazione. Tuttavia può essere spinto ad una velocità costante, poiché anche se non è più possibile aumentare il flusso non significa che questo debba necessariamente diminuire.

L'unico modo in cui può essere migliorata la velocità del flusso è quello aumentare il picco di pressione nel cilindro o, di mantenere la pressione esistente per un tempo più lungo, tenendo il pistone nella sua posizione avanzata. Sono già stati descritti gli sforzi compiuti in questa direzione ed appare chiaro che è "più facile dirlo che farlo".

Nel momento in cui viene raggiunto il flusso critico, si formano onde d'urto lungo la TP; perché, in queste condizioni, la velocità del flusso d'aria è uguale a quella del suono a causa della pressione e la temperatura all'interno della TP. L'effetto di queste onde sarà ulteriormente trattato nel capitolo sul rendimento, tuttavia, a questo punto è sufficiente essere consapevoli della loro esistenza.

Dovrebbe essere chiaro da quanto scritto sopra che è di vitale importanza che ci sia il più piccola restringimento possibile per il flusso d'aria, in modo tale che il pallino ottenga la massima accelerazione possibile prima che venga raggiunta la portata critica.

Cerchiamo ora di discutere i tre punti menzionati in precedenza, dato che il flusso d'aria massimo dipende da come è disegnata questa porta.

Il diametro di questo passaggio ovviamente dipende anche dal calibro dell'arma. Se la TP fosse più grande rispetto al calibro nominale, ci sarebbe il pericolo che in fase di caricamento il pallino scivoli dentro al cilindro. Per determinare il diametro della TP più efficiente per la nostra particolare arma abbiamo adottato un sistema di prova ed errore. Ciò ha comportato una drastica operazione di lavorazione della TP esistente portandola ad un diametro di circa tre ottavi di pollice. Poi abbiamo utilizzato una serie di TP intercambiabili, identiche tra loro, a parte per diametro del foro, che andavano da 1/16 di pollice a 11/64 di pollice. L'arma scelta per tutti questi esperimenti era di tipo break barrel (a canna basculante), quindi è stato possibile utilizzare un comune oring per sigillare la culatta e tenere la falsa TP nella giusta posizione.

Con questo sistema siamo riusciti a sperimentare la dimensione di ogni TP quante volte abbiamo voluto, garantendo per ogni prova condizioni simili. La tabella seguente elenca i diametri di TP insieme con la velocità del pallino ottenuta con ogni dimensione. Il calibro era .22" (5,5 mm).

Diametro TP (pollici)		Velocità media
1/16	(0.0625" = 1.59 mm)	334 fps (101.5 m/s)
5/64	(0.078" = 1.98 mm)	388 fps (118.0 m/s)
3/32	(0.094" = 2.38 mm)	420 fps (127.7 m/s)
7/64	(0.1094" = 2.78 mm)	424 fps (128.9 m/s)
1/8	(0.125" = 3.18 mm)	428 fps (130.1 m/s)
9/64	(0.141" = 3.57 mm)	425 fps (129.2 m/s)
5/32	(0.156" = 3.97 mm)	423 fps (128.6 m/s)
11/64	(0.172" = 4.37 mm)	414 fps (125.9 m/s)

Da questi risultati è chiaro che in questo caso il diametro ottimale della TP è circa 1/8 di pollice (3.18 mm). Per entrambi i diametri adiacenti ad esso, nella tabella la velocità di uscita del pallino diventa inferiore. Se per i diametri più piccoli, questo è facilmente intuibile, poiché un foro più piccolo offre una resistenza maggiore rispetto a uno più grande che al contrario garantisce una maggiore portata del flusso d'aria, la ragione per la caduta di velocità quando si utilizza un diametro di TP superiore a 1/8" risulta essere meno facilmente comprensibile. È probabile che al di sopra di questo diametro ottimale vi sia un inaccettabile importo del "volume nocivo", con il risultato di una eccessiva diminuzione della pressione finale, e quindi di una riduzione della forza di accelerazione che spinge il pallino.

"Volume nocivo" è un termine che usiamo per descrivere il volume d'aria contenuta nella TP o in altri fori o recessi presenti nella testa del pistone. In un caso estremo, per illustrare il punto, si supponga che il volume nocivo ammonti a una grande percentuale del volume totale compresso dal pistone. Il pistone potrebbe quindi accelerare in avanti e colpire direttamente l'estremità del cilindro, poiché potrebbe non esserci un accumulo di pressione sufficiente ad arrestarlo prima dell'impatto. E tale pressione potrebbe anche non essere abbastanza elevata da fare iniziare il moto del pallino in canna. Si sarà notato che il diametro massimo della TP testato era 11/64 di pollice, questo perché con un suo ulteriore aumento il pistone avrebbe effettivamente colpito l'estremità del cilindro.

La lunghezza della TP è molto più difficile da modificare e da sperimentare, ma è evidente che più è corta e meglio è, in quanto produce meno volume nocivo. Inoltre si forma meno resistenza

al flusso, a causa del minore attrito dovuto al passaggio dell'aria sulle pareti della TP.

L'aria, come qualsiasi altro fluido, ha una viscosità. La viscosità è la proprietà di un fluido che misura la sua resistenza al movimento. Confrontate la melassa che cola da un barattolo con il flusso dell'acqua che esce da un secchio capovolto. L'aria ovviamente, non è come viscosa come l'acqua, a temperatura e pressione normale. Ma essa obbedisce alle stesse leggi del fluido, quindi la sua viscosità aumenta all'aumentare della pressione. Poiché, in linea di massima ci troviamo di fronte a pressioni elevate, le perdite di energia causate da questo fenomeno potrebbero essere significative.

Al fine di ottenere un'idea concreta di ciò che accade nella TP, è utile immaginare l'aria come se fosse un liquido. Pensate come il flusso di un ruscello viene ostacolato quando scorre su un letto roccioso. Il taglio delle pietre forma onde ed elementi vorticosi che ostacolano lo scorrere dell'acqua. In modo analogo, la maggior parte dei fucili che abbiamo studiato, avevano il bordo di ingrasso della TP tagliente, in quanto si trattava semplicemente di un foro eseguito al trapano. Ora non c'è niente di meglio di un angolo acuto per sconvolgere il flusso di un fluido, in quanto causa elementi vorticosi, che ostacolano lo scorrere dell'aria. Questo bordo è pertanto un elemento del sistema in cui si rischia di perdere energia.

Ancora una volta si rende necessario realizzare un esperimento pratico per indagare sulle perdite di energia in entrata dalla TP. Trasformando una della false TP con una forma svasata si è immediatamente verificato un aumento della velocità del proiettile di 7 piedi al secondo. Anche le altre armi che sono state modificate in questa maniera, hanno prodotto risultati analoghi o addirittura migliori, il che dimostra che la forma e le dimensioni della TP devono essere specifiche per ogni arma.

Così, ci siamo chiesti quale sia il disegno migliore? Ciò che si richiede è una TP di lunghezza più breve possibile, di diametro ottimale con un buon ingresso per l'aria e le superfici lucidate. Purtroppo non è sempre possibile realizzare una TP corta, senza avere perdita di resistenza meccanica in quella zona, soprattutto nella progettazione di una break barrel. La produzione di una TP svasata in ingresso è una raffinatezza che non si incontra spesso nelle armi prodotte in serie. Da un punto di vista puramente teorico, la migliore forma possibile per una TP sarebbe uno svaso in entrata seguito da un tubo di Venturi che si stringe al centro con un diametro leggermente inferiore al calibro, che quindi si allarghi nuovamente per un diametro corrispondente alla bocca d'entrata del foro della canna (*Nota: vedere http://it.wikipedia.org/wiki/Effetto_Venturi).* Tuttavia, dopo aver fatto tanta fatica a costruire un dispositivo del genere, siamo rimasti delusi nel constatare che i vantaggi pratici sono stati pressoché insignificanti.

Alcuni modelli a canna basculante sono dotati di una culatta sigillata da una guarnizione posizionata in una cavità ricavata alla fine della TP. C'è il pericolo che una certa quantità di energia si perda in questo punto, poiché è improbabile che il flusso d'aria rimanga uniforme durante il passaggio presso la guarnizione. Il foro della guarnizione di solito è maggiore o minore del foro della TP.

Un noto produttore di "tap loading rifle" ad alte prestazioni, un tempo aveva realizzato un cilindro con la base a forma di imbuto, terminante con un semplice foro di comunicazione dal cilindro alla canna. Il pistone aveva l'estremità a forma di cono coincidente con l'angolo dell'imbuto. Un altro grande vantaggio di questa configurazione era che la TP diventava eccezionalmente breve, poiché il cilindretto porta pallino era stato posizionato direttamente alla fine dell'imbuto. Il punto cruciale del progetto era quello di ridurre al minimo le perdite in quel

punto. Purtroppo non si può presumere se i costi di produzione siano stati compensati dall'aumento di velocità del pallino.

NOTA: Un “Tap loading rifle” è una carabina che si carica attraverso il sistema detto “tap loader”. Esso consiste in un cilindro forato posizionato subito prima della culatta che ruota a 90 gradi rispetto all'asse orizzontale della canna. Il foro è la sede del pallino; si ruota il cilindro di 90 gradi agendo su una levetta ad esso solidale, fino a quando il foro del cilindro non si allinea ad un apposito foro ricavato sulla carcassa dell'arma. A questo punto si inserisce il pallino dall'alto, all'interno del foro, con la testa rivolta verso il basso, esattamente come si farebbe su una break barrel. Quindi si abbassa la leva, che fa ruotare il cilindro fino ad allineare il pallino alla culatta, da una parte, e alla Transfer Port dall'altra.

Di solito non ci sono o-ring così il cilindro deve essere montato molto preciso (in genere è conico). Si tratta di una vecchia tecnologia in voga almeno 100 anni fa. Alcune vecchie armi che montavano questo sistema aprivano automaticamente il cilindro quando la leva di armamento (tipicamente underlever) arrivava nei pressi del fine corsa.

Il termine “tap”, letteralmente “rubinetto” deriva dal fatto che questo meccanismo ha una forma molto simile a quella della valvola a rubinetto utilizzata nelle vecchie lampade di illuminazione a gas.



Taploader. Nella foto sotto si vede il cilindro smontato.

Capitolo 6 – La canna

Quando si parla della canna di un'arma ad aria compressa, si intende l'intero tubo, che si estende all'indietro, dal vivo di volata alla culatta nel punto dove il pallino è inserito, pronto per essere sparato. Sebbene possa sembrare inutile descrivere una definizione ovvia, lo abbiamo fatto perché vogliamo mettere bene in chiaro che abbiamo incluso nella descrizione anche quella porzione all'interno della quale è posato il proiettile prima che venga sparato. È infatti questa piccola sezione che aiuta a determinare la coerenza dell'arma, ma di questo si parlerà più tardi; prima dobbiamo dare un'occhiata al controverso argomento riguardante la lunghezza della canna.

Abbiamo risolto una grande quantità di problemi riguardo allo studio della lunghezza della canna, non appena ci siamo resi conto che gran parte del pensiero attuale sulle armi ad aria compressa è derivato dai principi che sono alla base dello studio delle armi da fuoco. Questo confronto è completamente ascientifico, così come qualsiasi altro confronto tra armi da fuoco e armi ad aria compressa, nello studio della balistica interna. Nel caso di un'arma da fuoco, il proiettile accelera lungo tutta la lunghezza della canna. Questo risultato si ottiene ottimizzando attentamente il propellente all'interno della cartuccia, in modo che bruci per tutto il tempo in cui il proiettile resta in canna. In questa maniera i gas prodotti dalla combustione riescono a mantenere costante la pressione propulsiva, al fine di cedere una grande energia. Purtroppo l'arma ad aria compressa è gravemente deficitaria riguardo a questo punto, poiché esiste solo un importo molto limitato di energia per accelerare il pallino, ed è praticamente tutta impartita al proiettile solamente durante i primi cinque pollici, o circa, della sua corsa all'interno della canna. Dopo questa distanza, il pallino non perde e non guadagna velocità fino a quando non ha coperto un'ulteriore distanza approssimativa di 25 pollici, dopo di che comincia a rallentare a causa del suo attrito rispetto alle pareti della canna, e anche a causa della resistenza prodotta dal volume di aria che il pallino sta spingendo davanti a sé. Diventa chiaro quindi, che una carabina ad aria compressa con una canna lunga, non è più potente di una sua omologa con una canna più corta. Questa affermazione si basa sul grafico figura 6.1 che mostra l'accelerazione di un pallino in calibro .22 all'interno della canna. Da questo diagramma si può vedere che il proiettile viene accelerato solo durante i primi cinque pollici del suo percorso, mentre il resto del tragitto viene compiuto a una velocità costante.

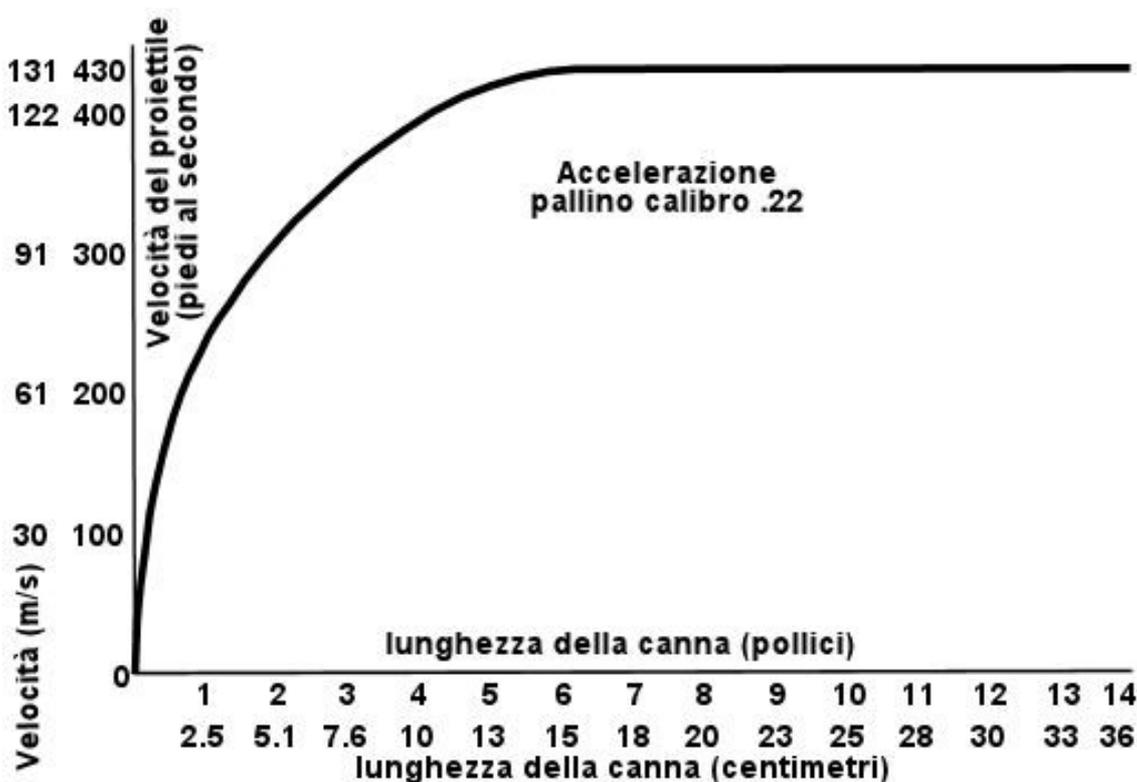


Fig. 6.1 Accelerazione del pallino calibro 5,5 mm

La ragione di questo stabilizzarsi della velocità è che si è andato a formare il flusso di aria critica attraverso la transfer port a causa del ridotto valore di pressione nel cilindro. Questo flusso critico, come già accennato nel capitolo precedente, significa che l'aria può fluire attraverso la TP solo ad una certa velocità stabilizzata, e che quindi il pallino non può accelerare, ma viene spinto ad una velocità costante.

Il grafico 6.1 è stato ottenuto mediante l'utilizzo di una strana canna mostrata nella nella parte inferiore della figura 6.2 (**nota: vedere la figura 6.2 sul libro**). Su di essa sono stati ricavati una serie di fori a intervalli di 1 pollice lungo tutta la sua estensione. In ciascuno di questi fori è stata avvitata una boccola di materiale isolante, e su ognuna di queste boccole è stata a sua volta avvitata una piccola vite, di misura precisa in modo che la sua punta rimanesse perfettamente a filo con l'anima interna della canna. Con questo strano dispositivo è stato possibile fare contatto con il pallino in qualsiasi punto lungo la canna, poiché, come il proiettile passava sotto ad ogni vite avvitata al corrispondente foro, si verificava un contatto elettrico tra la vite stessa, elettricamente isolata dalla canna per mezzo della boccola di plastica, e le pareti dell'anima della canna, per mezzo dello stesso pallino. Con questo dispositivo collegato al nostro cronografo elettronico, è stato possibile stabilire il tempo impiegato dal pallino ad attraversare le varie sezioni della canna. Questa attrezzatura sperimentale può essere accoppiata con un ulteriore numero qualsiasi di sezioni, per formare una canna allungabile, come mostrato nella parte superiore della figura 6.2. Con questo procedimento siamo stati in grado di studiare canne fino a 5 piedi di lunghezza (poco più di 1 metro e mezzo, 152 cm). A queste lunghezze estreme, abbiamo osservato una caduta di velocità del pallino. Benché questa perdita di velocità fosse risultata minima, è valse comunque la pena eseguire l'esperimento, perché ha dimostrato oltre ogni dubbio che la canna lunga non è la chiave per avere un'alta velocità di uscita del proiettile.



Fig 6.2 La canna usata per gli esperimenti

Potrebbe essere utile, a questo punto spendere poche parole su altri tipi di armi ad aria compressa, come le armi pneumatiche o a CO₂, che utilizzano un gas precompressso, immagazzinato in un serbatoio, per accelerare il proiettile. Anche se non abbiamo fatto uno studio dettagliato su tali armi, sembra essere abbastanza chiaro come queste cadano in una classe a se stante, per quanto riguarda la balistica interna. Non possono certo essere raggruppate con le armi da fuoco, dato che non c'è un processo chimico di combustione per fornire energia. La sola spinta che può ottenere il pallino è data dall'espansione del gas attraverso la valvola quando si preme il grilletto. Solitamente ad ogni apertura della valvola avviene il passaggio di un grande volume di gas, così la canna lunga rappresenta un vantaggio, perché concede maggior tempo al gas di espandersi e di trasferire la sua energia al pallino. Probabilmente parte della CO₂ che passa attraverso la valvola è ancora allo stato liquido, e pertanto richiede del calore al fine di convertirsi in gas ed espandere. Il calore può essere raccolto solo attraverso le pareti della canna, e pertanto più è lunga la canna, entro limiti ragionevoli, e più efficiente sarà la conversione dell'energia contenuta nel gas per la propulsione del pallino.

Ora, le armi che vengono alimentate da gas compresso, non possono essere neppure raggruppate con le armi funzionanti a molla. L'arma a molla è un caso unico, in quanto si basa sulla tenuta stagna del pallino, all'inizio della sua corsa, al fine di sviluppare la maggiore pressione possibile dietro di sé. Questa capacità del pallino di rimanere incollato alle pareti della canna, mentre il pistone produce un aumento di pressione, per poi staccarsi correttamente al momento critico, è probabilmente il fattore più importante per le prestazioni di un'arma a molla. Chi ha posseduto un'arma ad aria compressa avrà ricevuto il consiglio di provare "questa" o "quella" marca di pallini, perché hanno funzionato così bene in "tale" o "tal'altra" carabina. L'intera idea di sperimentare diversi tipi di diavolo, ha lo scopo trovare un pallino che venga rilasciato, in quella particolare canna, nell'istante di pressione più elevata.

Una volta che abbiamo capito l'importanza di questo punto, abbiamo impostato su di esso ulteriori sperimentazioni dettagliate. Prima di tutto, abbiamo verificato ciò che noi chiamiamo la "pressione statica", necessaria per avviare il pallino lungo la canna, attraverso varie forme di culatta. Abbiamo collegato brevi segmenti di canna ad una pompa ad olio azionata

manualmente in modo tale da poter aumentare la pressione dietro al pallino molto gradualmente, mentre allo stesso tempo, eravamo in grado di controllare l'aumento della pressione su un contatore. Come la pressione raggiungeva il punto in cui il pallino si avviava lungo la canna l'ago del manometro cadeva immediatamente, ma in ogni caso abbiamo potuto leggere la pressione massima raggiunta subito prima che questo avvenisse.

Ogni tronco di canna provato, aveva la culatta lavorata con una forma differente, in modo che fosse facile confrontare le pressioni di rilascio statico dei vari segmenti di canna, utilizzando pallini standard. È stato inoltre possibile verificare le pressioni massime raggiunte da pallini con code espanse o code contratte. Dopo aver verificato questo fattore, ogni canna è stata poi montata sull'arma sperimentale e le sue prestazioni misurate con il cronografo. Tuttavia, deve essere sottolineato che quella ottenuta sperimentalmente era solo la pressione statica di partenza, e che questa prova idraulica è avvenuta su una scala di tempo molto più lunga rispetto a quella che avviene realmente dentro all'arma. La pressione reale (dinamica) di partenza è circa tre volte il valore da noi misurato.

I risultati, sulla media di 20 colpi, sono riportati qui sotto:

	Pressione statica	Velocità
Culatta ad angolo retto netto.	374 p.s.i. (25,8 bar)	371 f.p.s. (113 m/s)
Leggero smusso arrotondato sulla culatta	444 p.s.i. (30.6 bar)	434 f.p.s. (132 m/s)
Smusso diritto di 45° sulla culatta	442 p.s.i. (30.5 bar)	373 f.p.s. (113 m/s)
Smusso diritto di 60° sulla culatta	399 p.s.i. (27,5 bar)	390 f.p.s. (119 m/s)
Leggera conicità nella canna	308 p.s.i. (21,3 bar)	292 f.p.s. (88 m/s)

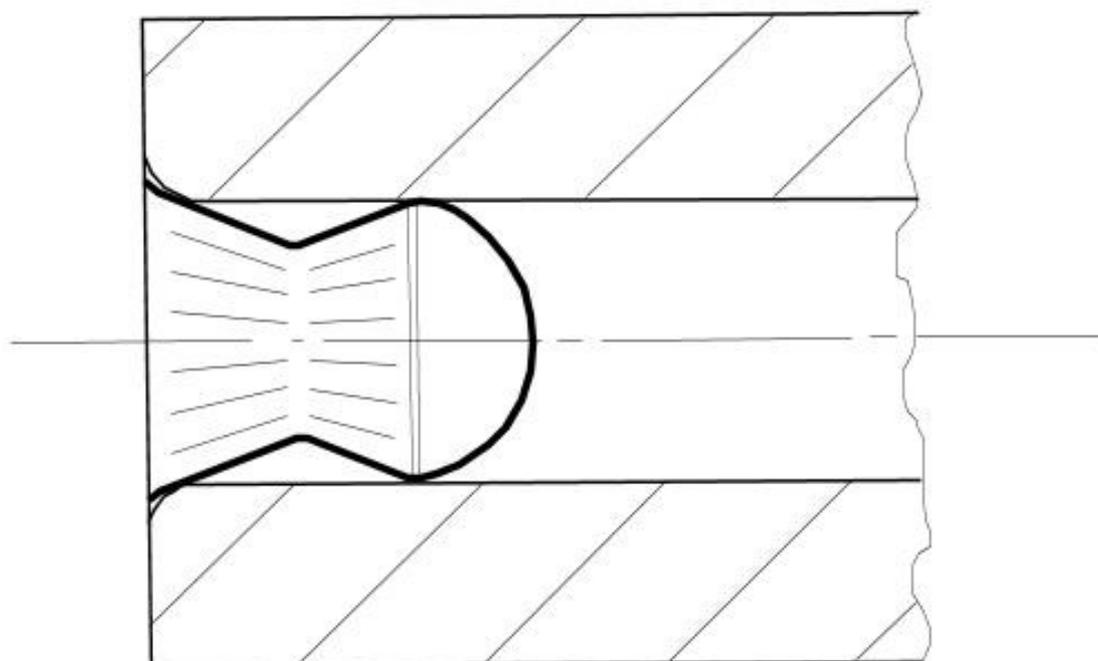


Fig. 6.3 Il pallino in culatta



Fig. 6.4 I due pallini.

È chiaro da questi risultati che la pressione statica più elevata, quella di 440 p.s.i. è stata anche quella che ha prodotto la velocità massima, e che questa è stata raggiunta da una culatta con uno smusso arrotondato e lucidato. Questa è illustrata nella figura 6.3. Tuttavia, è possibile avere un pallino che calza troppo stretto nella culatta, per cui esso inizia a muoversi solo dopo il raggiungimento del picco massimo di pressione, quando ormai la pressione nel cilindro è già calata, producendo una velocità inferiore alla bocca. Questo fatto può essere dimostrato espandendo le gonne dei pellets al di là delle dimensioni ragionevoli, e quindi controllare la loro velocità. Ora il motivo per cui la culatta ad angolo retto produce la pressione più bassa, e pertanto la più bassa velocità di uscita, è perché sotto l'azione della spinta dovuta alla pressione, se il bordo è tagliente, invece di permettere alla coda del pallino di adattarsi alla culatta, trancia un anello di piombo dalla gonna, liberando il pallino. Questo taglio della coda, ovviamente richiede meno forza rispetto all'adattamento della gonna sulle dimensioni dell'anima della canna.

Da questi esperimenti abbiamo concluso che al momento di sparare, la coda del pallino deve in primo luogo, aderire al bordo del foro della canna, quindi come arriva la pressione dietro di essa, la gonna si deve comprimere fino a quando non diventa della stessa dimensione dell'anima della canna. A questo punto il pallino viene rilasciato e accelerato dentro la canna con la pressione massima dietro la gonna.

Esiste un ulteriore vantaggio derivante dall'avere una corretta forma della culatta; la velocità finale è molto più costante. Abbiamo trovato variazione del 2% su un certo numero di colpi, utilizzando la culatta di forma corretta, mentre gli altri disegni hanno mostrato una variazione del 6%. Ovviamente questo è da considerarsi un miglioramento notevole. È probabile che questa variazione del 2% sia dovuta alle differenze tra i pallini.

Il vantaggio di spendere un po' di tempo sperimentando diverse marche di pallini può essere dimostrato dalla fotografia di due pellets, la figura 6.4 (**nota: anche in questo caso vi rimando al libro**). Questo mostra il risultato del passaggio di due pallini identici attraverso diverse canne. Quello a sinistra mostra profondi solchi di rigatura sulla testa, mentre la coda era così pressata nella canna che il piombo è stato trafilato all'indietro. Quello a destra dell'illustrazione presenta

solcature molto lievi sulla testa, provocate dalla rigatura, ma la coda è ben marcata. Questo pallino ha avuto un buon adattamento alla canna che l'ha sparato e tra i due sarà stato quello che ha dato la velocità massima.

Un buon sistema, per determinare se un pallino si adatta o meno alla canna, è quella di provarlo dal vivo di volata dell'arma in questione. Se entra senza troppa forza, e può essere tolto lasciando solo un lieve segno delle righe sulla testa, ha buone possibilità di essere il pallino dimensione corretta per quella canna. Se invece calza troppo stretto o è troppo allentato, provatene un altro di un'altra marca. Allo stesso tempo si deve controllare dall'esterno che la coda del diavolo sia sufficientemente larga come diametro per sovrapporsi alla culatta correttamente.

Un punto da tenere a mente quando effettuate la prova di cui sopra è che alcune carabine di fabbricazione continentale hanno ciò che noi chiamiamo la "canna strozzata". In questa configurazione l'anima della canna si restringe approssimativamente per l'ultimo pollice. Questa piuttosto sorprendente strozzatura riduce il diametro di circa quattro millesimi di pollice. Ci è stato detto che, se anche questo accorgimento riduce la velocità di uscita del pallino, aumenta l'accuratezza dell'arma. Poiché la precisione è al di fuori dell'ambito di questo studio, non abbiamo cercato di verificare l'esattezza di questa affermazione.

La maggior parte del lavoro di questo capitolo, è stato fatto utilizzando canne ad anima liscia. Questa semplificazione è stata adottata per favorire l'accoppiamento dei vari innesti della canna, e naturalmente per facilità di fabbricazione, ma abbiamo ovviamente dovuto confrontare i risultati ottenuti, con quelli prodotti da una canna rigata, poiché è necessaria dell'energia affinché il pallino ingaggi le rigature della canna, e questa energia deve necessariamente andare a scapito della velocità alla bocca. Siamo stati sorpresi nello scoprire che effettivamente poca energia è necessaria per far ruotare il diavolo, e che era impossibile rilevare la perdita di velocità quando si utilizzava una canna rigata invece che liscia. Un punto che forse vale la pena menzionare in questo capitolo, è che le canne, naturalmente, sono rigate al fine di aumentare la precisione, dovuta all'azione giroscopica che il pallino ottiene passando attraverso le rigature della canna. Abbiamo notato, tuttavia, che tutti i pallini lanciati dalle nostre canne ad anima liscia, sono atterrati in maniera corretta, con la testa in primo luogo, ed esattamente nella stessa posizione di quelli sparati dalle canne rigate! Il che ci fa domandare se la rigatura sia davvero necessaria quando si utilizza il pallino diavolo che sembra avere caratteristiche auto stabilizzanti. Un pensiero di cui nutrirsi in attesa di indagini future....

Tuttavia, c'è una considerazione finale da fare sul tema della canna. È interessante considerare per un attimo un'arma che è formata dalla sola canna e molto poco altro; la cerbottana. L'incredibile gittata e la precisione di cui esse vengono accreditate sono ancora più sorprendenti quando ci si rende conto che è difficile produrre anche una sola libbra per pollice quadrato di pressione (0,069 bar) quando soffia nel tubo. Si segnala una tribù che è in grado di uccidere piccoli uccelli e animali a distanze considerevoli senza l'uso di dardi avvelenati. Il segreto è che la cerbottana si basa sulla sua lunghezza e sulle dimensioni dei polmoni del cacciatore per produrre la velocità utile. Considerando che l'arma a molla impiega un proiettile molto aderente alla canna per produrre un piccolo volume di aria altamente compressa dietro di esso, mentre il dardo della cerbottana è molto lasco nella canna per permettere ai polmoni del cacciatore di mantenere un'accelerazione costante lungo tutto il suo percorso nella canna. In altre parole, la cerbottana si basa su un elevato volume di aria a pressione bassa e costante, piuttosto che su un piccolo volume di aria ad alta pressione.

Senza dubbio la lunghezza del tubo è stata sviluppata al massimo per soddisfare le dimensioni

dei polmoni del cacciatore, mentre allo stesso tempo, per mantenere il volume piccolo si è ridotto il calibro in misura della più piccola dimensione pratica che poteva essere realizzata. Inoltre, il peso del dardo è stato sviluppato da un sistema empirico per tentativi (trial and error), ma il successo della combinazione finale è famoso nel mondo.

Capitolo 7 – Il rinculo

La discussione di questo capitolo è veramente cosa da poco, infatti, ci siamo chiesti, se piuttosto valesse la pena di scriverlo. Ma dal momento che ci siamo presi il disturbo di effettuare delle ricerche sul rinculo della carabina ad aria compressa, alcuni lettori potrebbero trovare i risultati interessanti.

Si dice spesso che uno dei principali vantaggi di qualsiasi arma ad aria compressa è che non ha rinculo. Tale dichiarazione ovviamente non è vera, ogni arma ne ha un po', ma nella maggior parte dei casi è così piccolo da poter essere considerato insignificante. Nel libro di Mr Wesley, (L. Wesley "Air-Guns & Air-Pistols") egli racconta di un'avventura divertente con una carabina ad aria compressa di grosso calibro, il cui il rinculo era abbastanza grande da atterrarlo. Nelle carabine odierne di piccolo calibro funzionanti a molla, il peso del proiettile è così piccolo che non può essere sentito il rinculo quando si spara. In realtà, la piccola quantità di rinculo, che comunque esiste, è di solito mascherata completamente dalla reazione del pistone che accelera all'interno del cilindro e che poi rimbalza indietro sul cuscino d'aria.

Un altro punto da sottolineare a proposito del rinculo, sul quale spesso si fa confusione, è il momento in cui esso si verifica effettivamente. Si dice spesso che l'arma non si muove fino a quando il proiettile non lascia la canna. Ancora una volta questa affermazione non è vera. Il movimento all'indietro dell'arma inizia nel momento stesso in cui il proiettile inizia il suo movimento all'interno della canna. Al fine di rendere questo concetto il più chiaro possibile, immaginate un'arma costruita con il materiale più leggero disponibile, caricata con un proiettile realizzato con la sostanza più pesante possibile. È perfettamente ovvio che l'istante dello sparo, l'arma cercherà di spostarsi all'indietro rispetto al proiettile e che il rinculo sarà iniziato in quel preciso istante, e non aspetterà certo che il proiettile lasci la canna, a dispetto di un sacco di argomentazioni che asseriscono il contrario.

In un fucile sportivo che impiega una cartuccia ad altissima pressione, c'è un effetto razzo provocato dall'energia emessa dai gas non appena questi fuoriescono dal vivo di volata. Questo aggiunge al rinculo dell'arma una ulteriore impennata, simile al calcio di un mulo, ma è irrilevante nel mondo delle armi ad aria compressa.

C'è una terza causa di rinculo, che ancora una volta può essere ignorata per quanto riguarda le armi ad aria compressa. Quando il pallino accelera all'interno della canna, causando rinculo, la quantità di aria che lo spinge ha una certa massa e pertanto deve provocare anch'essa un rinculo.

Facciamo un po' di teoria sull'argomento; perché dovrebbe verificarsi il rinculo a tutti i costi? Tutto nasce dalla terza legge di Newton della Dinamica, la quale afferma: "per ogni azione c'è una reazione uguale e contraria". Abbiamo già stabilito che ci sono tre fattori coinvolti. Il primo è l'accelerazione del pallino dal suo stato di riposo alla velocità che raggiunge appena esce dalla canna dell'arma. Il secondo è l'esplosione dell'aria alla bocca subito dopo che questa espelle il pallino. Ciò è chiaramente visibile nella figura 9.8. Il terzo è l'accelerazione dell'aria all'interno della canna dietro al pallino, la cui velocità si deve presumere essere circa la metà di quella di uscita del proiettile. Ma ancora una volta ribadiamo che il rinculo derivante da questa piccola quantità di aria non ha alcun effetto misurabile sulle armi che sono oggetto della discussione.

Ora consideriamo il primo di questi tre elementi, ovvero la reazione all'accelerazione in avanti

del pallino. Per la Terza legge di Newton, la pressione che spinge il pallino in avanti dentro la canna è esattamente uguale alla pressione che spinge l'arma all'indietro, causando il rinculo, e possono entrambi agire solo per il tempo in cui il pallino rimane in canna. Ora, dal principio di conservazione della quantità di moto, la velocità del pallino in avanti, in metri al secondo, moltiplicato per la sua massa è uguale alla velocità che acquista l'arma all'indietro in metri al secondo, moltiplicata per la sua massa.

Se:

- M = massa dell'arma
- m = massa del proiettile
- V = velocità dell'arma
- v = velocità del proiettile

Allora per la legge di conservazione della quantità di moto:

$$m \cdot v = M \cdot V$$

quindi:

$$\text{massa} = \frac{\text{Peso}}{\text{accelerazione di gravità}} = \frac{W}{g}$$

da cui abbiamo:

$$\frac{w \cdot v}{g} = \frac{W \cdot V}{g}$$

dove:

- W = peso dell'arma
- w = peso del pallino

Siccome g è costante e agisce indistintamente sia sull'arma che sul proiettile.

Allora:

$$w \cdot v \quad W \cdot V \quad \dots\dots\dots (1)$$

da cui:

$$V = \frac{w \cdot v}{W}$$

Ora possiamo calcolare la velocità del rinculo, e quindi l'energia impartita all'arma dalla reazione

dall'accelerazione del pallino.

Peso dell'arma (W) = 6.625 lbs. = 29.5 N = 3 Kg

Peso del pallino cal .22 (w) = 0.00214 lbs. = 0.0095 N = 0.00097 Kg = 0.97 g

Velocità del pallino (v) = 430 ft/sec. = 130.7 m/s

Sostituendo i valori:

$$V = \frac{0.00214 \cdot 430}{6.625} = 0.1389 \text{ ft/sec}$$

Dall'equazione dell'energia:

$$E = \frac{w \cdot v^2}{2g}$$

Dove W è il peso e V è la velocità dell'arma.

$$E = \frac{6.625 \cdot (0.1389)^2}{2 \cdot 32.16}$$
$$E = 0.001987 \text{ ft. lbs.}$$

In unità metriche decimali:

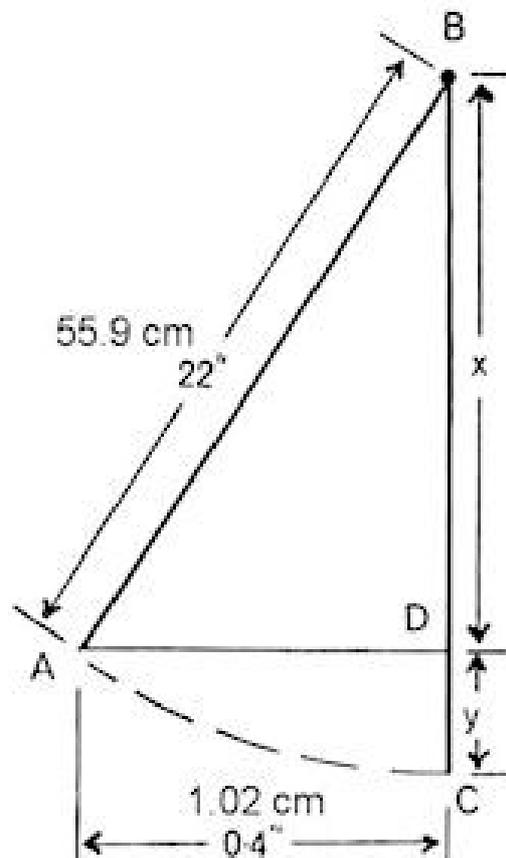
$$V = \frac{0.00097 \cdot 130.7}{3} = 0.0423 \text{ m/sec}$$
$$E = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad E = \frac{3 \cdot (0.0423)^2}{2} = 0.00268 \text{ J}$$

Si tratta ovviamente di una quantità molto piccola ed insignificante di energia, se confrontata con l'energia totale immagazzinata nella molla, o se paragonata a quella del moto del pallino. Può pertanto essere omessa dalla maggior parte dei calcoli di un'arma ad aria compressa, poiché altre variabili, come la forma del pallino, sono molto più significative.

Essendo persone pratiche, non potevamo lasciare lo studio sul rinculo ad un livello puramente matematico, così abbiamo preparato la carabina in maniera da poter effettuare un esperimento pratico. L'abbiamo sospesa con due set di cavi al momento dello sparo, in modo tale che la canna fosse rimasta allo stesso livello durante l'oscillazione provocata dal rinculo. Poi abbiamo

fissato un puntatore al lato dell'arma e collocato una scala in una posizione fissa accanto ad essa. A questo punto si è trattato semplicemente di fotografare la scala e il puntatore al momento dello sparo per determinare l'importo esatto del rinculo. Abbiamo sparato con la carabina per mezzo di un elettromagnete montato sul calcio, con il solenoide posizionato in modo che il movimento del grilletto non avesse alcun effetto sulla lettura del rinculo.

Dopo lo sparo, l'arma ha oscillato all'indietro e in avanti come un pendolo, dal momento che la lunghezza dei cavi di sostegno era nota, la quantità di oscillazione poteva essere calcolata facendo ricorso all'applicazione di un po' di matematica, in modo da ricavare quanta energia fosse stata utilizzata per il rinculo. E' evidente dall'equazione (1) che un pallino leggero di calibro 0.177 produrrà meno oscillazione e pertanto meno rinculo, rispetto ad un pallino calibro 0,22 più pesante. Dai nostri esperimenti abbiamo ricavato che un pallino calibro 0,22 (5,5 mm) da 15 grani di peso (0,97 g), ha prodotto un'oscillazione di 0,4 pollici (1 cm) sulla nostra carabina dal peso di 6.625 lbs (3 Kg), quando è stata sospesa da corde di 22 pollici (56 cm) di lunghezza.



Distanza CB = (y+x) = 22 pollici

Siccome il triangolo ABD è un triangolo rettangolo, per il teorema di Pitagora:

$$AB^2 = BD^2 + AD^2$$

$$22^2 = x^2 + 0.4^2$$

da cui:

$$\text{Siccome } 22 = (y + x) \\ x = 22 - y$$

$$x^2 = (22 - y)^2$$

$$x^2 = 22^2 - y^2 - 44y$$

sostituendo nell'equazione $x^2 = 22^2 - (0.4)^2$

$$22^2 - (0.4)^2 = 22^2 - y^2 - 44y$$

oppure:

$$y^2 - 44y + (0.4)^2 = 0$$

$$y^2 - 44y + 0.16 = 0$$

Ora questa è un'equazione di secondo grado in y . Se applichiamo la soluzione ben nota per le equazioni di secondo grado, vale a dire:

$$y = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Nel nostro caso $a = 1$, $b = -44$, e $c = 0.16$

$$y = \frac{44 \pm \sqrt{44^2 - 4 \cdot 1 \cdot 0.16}}{2 \cdot 1}$$

$$\frac{44 \pm \sqrt{1936 - 0.64}}{2}$$

$$y = 0.0036367 \text{ ins}$$

oppure

$$y = 0.0003 \text{ ft.}$$

Poiché y è l'altezza massima a cui è stata sollevata la carabina, l'energia potenziale che aveva a questa altezza era uguale al suo peso moltiplicato per questa altezza.

$$\begin{aligned} &= W \cdot y \\ &= 6.625 \cdot 0.0003 \\ &= 0.002 \text{ ft. lbs.} \end{aligned}$$

Ripetiamo il calcolo con le unità del sistema metrico decimale:

$$y^2 - (0,56 \cdot 2)y + (0,01)^2$$

$$y^2 - 1,12 + 0,0001$$

da cui:

$$y = \frac{1,12 \pm \sqrt{1,12^2 - 4 \cdot 1 \cdot 0,0001}}{2 \cdot 1}$$

$$\frac{1,12 \pm \sqrt{1,2544 - 0,0004}}{2}$$

$$y = 0,0000893 \text{ m}$$

oppure

$$y = 0,0893 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} E &= P \cdot y \\ &= 3 \cdot 9,81 \cdot 0,0000893 \\ &= 0,0026 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Che è all'incirca il valore ottenuto utilizzando le misure imperiali, a meno di piccoli aggiustamenti dovuti alla conversione di unità di misura.

Così, questa è la quantità totale di energia utilizzata per spingere la carabina all'indietro, ricavata dall'esperimento. È così piccola che può essere trascurata quando si considerano le perdite di energia nel suo complesso. Tuttavia, è interessante notare che questo valore è leggermente più grande di quello a cui eravamo giunti prima, usando il calcolo matematico, per la sola reazione dovuta al moto del pallino. La differenza tra i due valori probabilmente è stata prodotta "dall'effetto razzo" provocato dall'aria dopo che il pallino ha lasciato la bocca. Il rinculo molto piccolo causato da questo effetto può ovviamente essere solo determinato per via sperimentale e non può essere rilevato dal tiratore.

Abbiamo quindi deciso di cercare di isolare "l'effetto razzo" mediante un esperimento pratico. Abbiamo fatto un freno di bocca da montare sulla volata della canna. Questo dispositivo, utilizzato sulle armi militari per ridurre il rinculo, inverte il flusso dei gas che fuoriescono dalla bocca. Nella nostra versione, il freno era un'estensione della canna, che ne aumentava la lunghezza di circa due pollici (5 cm). Tre piccoli fori erano stati realizzati nella canna con un angolo di 30° e posizionati in modo che il flusso dell'aria fosse deviato all'indietro. La vampa di uscita dell'aria si verifica, naturalmente durante il breve momento in cui il pallino transita nell'extra di due pollici della canna. Tuttavia, i risultati sono stati deludenti, probabilmente e giustamente, a causa della relativamente bassa pressione e basso volume di aria transitata presso la volata dell'arma. Avevamo sperato di essere in grado di rilevare una differenza

nell'oscillazione della carabina sospesa nelle due condizioni, con freno di bocca montato e senza. Ma le letture sono state tutte troppo simili l'una rispetto l'altra senza alcuna differenza distinguibile. Così è la vita del ricercatore.

Il rinculo, a cui ci si riferisce parlando di armi ad aria compressa, in realtà è causato dall'azione e dalla reazione del pistone, ed è stato volutamente ignorato fino a questo punto. Questo perché il contraccolpo causato dalle parti in movimento dell'arma non è un vero rinculo, almeno non nel senso comunemente accettato della parola. Questo infatti è un movimento dell'arma all'indietro, seguito immediatamente da un movimento in avanti. Il movimento all'indietro inizia nell'istante di rilascio del pistone, perché alla stessa maniera in cui la molla spinge il pistone in avanti, deve necessariamente spingere il resto dell'arma all'indietro. Ora nel nostro caso particolare ci sono voluti al pistone circa diciassette millisecondi per compiere l'intero tragitto nel cilindro. Ad un certo punto, prima di arrivare in fondo al cilindro, viene violentemente rallentato dal cuscino d'aria, e questa decelerazione del pistone viene impartita anche al resto dell'arma sotto forma di un improvviso movimento in avanti, che arriva così in fretta, dopo il precedente movimento all'indietro, da produrre il "contraccolpo" tipico delle armi ad aria compressa.

Come già accennato nel capitolo sul pistone, abbiamo potuto verificare che la forza del contraccolpo cresce, aumentando il peso del pistone.

Questo scatto avanti è particolarmente evidente quando viene montato sul cilindro della carabina un cannocchiale di puntamento. Dopo ben pochi colpi si noterà che l'ottica si è spostata all'indietro lungo il cilindro (opponendosi al contraccolpo in avanti dell'arma). Si deve pertanto prestare attenzione a garantire che l'ottica risulti sempre saldamente ancorata agli attacchi.

Capitolo 8 – Il lubrificante

È di vitale importanza lubrificare correttamente a tutte le parti in movimento di un'arma ad aria compressa. È tuttavia altrettanto importante non eccedere nella lubrificazione, così come evitare di lubrificare in maniera insufficiente. Una carabina ad aria compressa dovrebbe essere trattata come uno strumento, tipo orologio. Se non è correttamente oliata, tutte le parti sfregano tra di loro causando inutile usura che alla fine si traduce in un inceppamento totale. D'altra parte, se è troppo lubrificata, polvere e sporcizia si accumulano sull'olio e agiscono come un abrasivo, riducendo la durata del meccanismo. Inoltre l'olio carico di sporcizia diventa gommoso e rallenta il movimento delle parti meccaniche.

Vale la pena considerare per un attimo, il motivo per cui sia sempre necessario lubrificare una macchina. Quando le superfici scivolano a vicenda, senza che vi sia interposta alcuna forma di lubrificazione, si dice che funzionano "a secco". La resistenza allo scivolamento in queste condizioni è proporzionale alla forza con cui sono premute tra loro le due superfici a contatto. Anche il materiale di cui sono fatte le superfici ha influenza sulla resistenza allo scorrimento e sulla forza di attrito. L'attrito è causato da due fattori; la temporanea saldatura delle creste a contatto di entrambe le superfici e l'interferenza tra le creste di una superficie con i solchi dell'altra.

Quando le superfici sono lubrificate, vengono introdotte condizioni differenti e l'attrito tra di loro risulta notevolmente ridotto, in quanto diventa dipendente dalle proprietà del lubrificante, piuttosto che dal materiale di cui sono fatte le superfici. La proprietà dell'olio che influenza la resistenza al movimento di una superficie rispetto ad un'altra è principalmente la sua viscosità. Questo fattore determina la facilità con cui gli strati del lubrificante scivolano sugli altri strati vicini.

Un buon lubrificante deve mantenere la sua viscosità e la sua composizione generale per lungo tempo. Tuttavia, sotto l'influenza dell'aria, la maggior parte degli oli ossidano e si deteriorano. Questo problema deve essere accuratamente soppesato dagli appassionati di armi ad aria compressa, dal momento che la maggior parte dei punti di lubrificazione sulle loro armi sono a contatto con l'atmosfera. L'olio dovrebbe pertanto essere in grado di mantenere la sua condizione originale per lunghi periodi, anche a contatto con vento e pioggia. Un grasso lubrificante può essere descritto come un olio in sospensione all'interno di un agente aggregante, nella stessa maniera in cui una spugna immagazzina acqua. La consistenza del grasso dipende dal tipo di sostanza aggregante usata, ma come per l'olio, la sua viscosità dipende dalla temperatura. Inoltre i grassi ossidano ad alte temperature o all'esposizione prolungata all'atmosfera.

L'arma deve essere lubrificata in qualsiasi punto dove c'è movimento delle parti meccaniche, come il meccanismo di scatto o i giunti della leva di armamento. Ci sono molte marche di olio sul mercato, nate specificatamente per l'uso sulle armi. Questi oli di solito contengono additivi per combattere l'umidità e la ruggine e sono tutti ideali per l'uso sui perni e i meccanismi delle armi ad aria compressa. Ma il lubrificante per il pistone dovrebbe essere scelto con grande cura, poiché sarà soggetto ai picchi massimi di temperatura e pressione. La maggior parte degli oli minerali, sia utilizzati così come sono, sia sotto forma di grasso, certamente si infiammano all'interno del cilindro quando la pressione e la temperatura aumentano. Tale accensione produrrà un colpo insolitamente potente; questo fenomeno, in un fucile ad aria compressa, viene comunemente chiamato dieselling. I transitori di pressione di un colpo con effetto diesel

possono essere visti chiaramente nelle figure da 8.1 a 8.3. È interessante confrontare questi tracciati con quello mostrato in fig. 4.1, il quale rappresenta l'onda di pressione prodotta in aria senza alcun effetto diesel, che al contrario è sempre presente. Le figure 8.1 e 8.2 mostrano i tracciati quando avvengono dieseling violenti. Quando si verificano esplosioni di questa portata, il pallino viene sparato ad una velocità terrificante, avvicinandosi in alcune occasioni alla velocità del suono. La fig. 8.3, invece mostra un normale effetto diesel di poca portata, che si verifica quasi ad ogni colpo sparato da un'arma ad aria compressa lubrificata con olio minerale. Questo tipo combustione non violenta è difficile da individuare senza utilizzare un qualunque dispositivo di misurazione della velocità, e si rivela solo per un aumento della velocità relativa rispetto ai colpi normali.

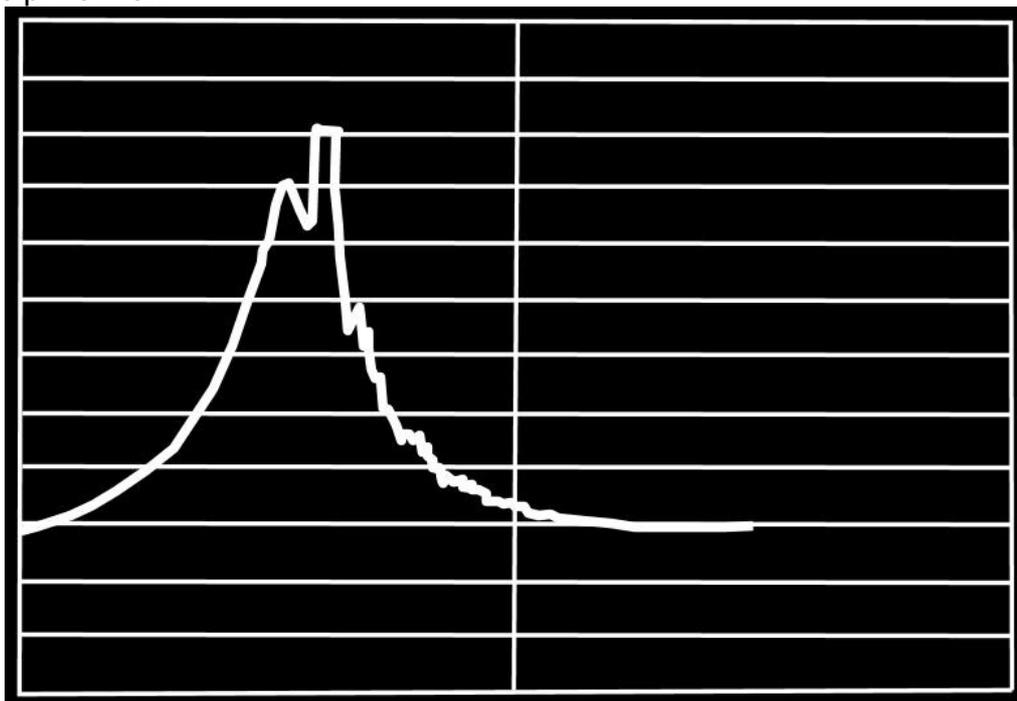


Fig. 8.1 Effetto Diesel violento.

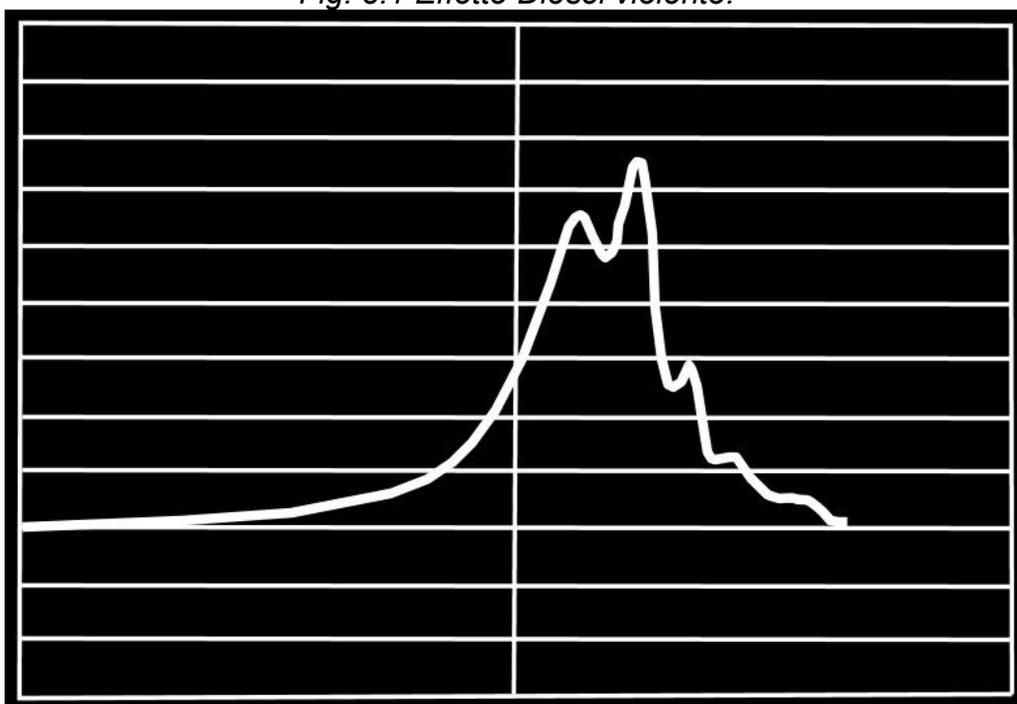


Fig. 8.2 Effetto Diesel violento.

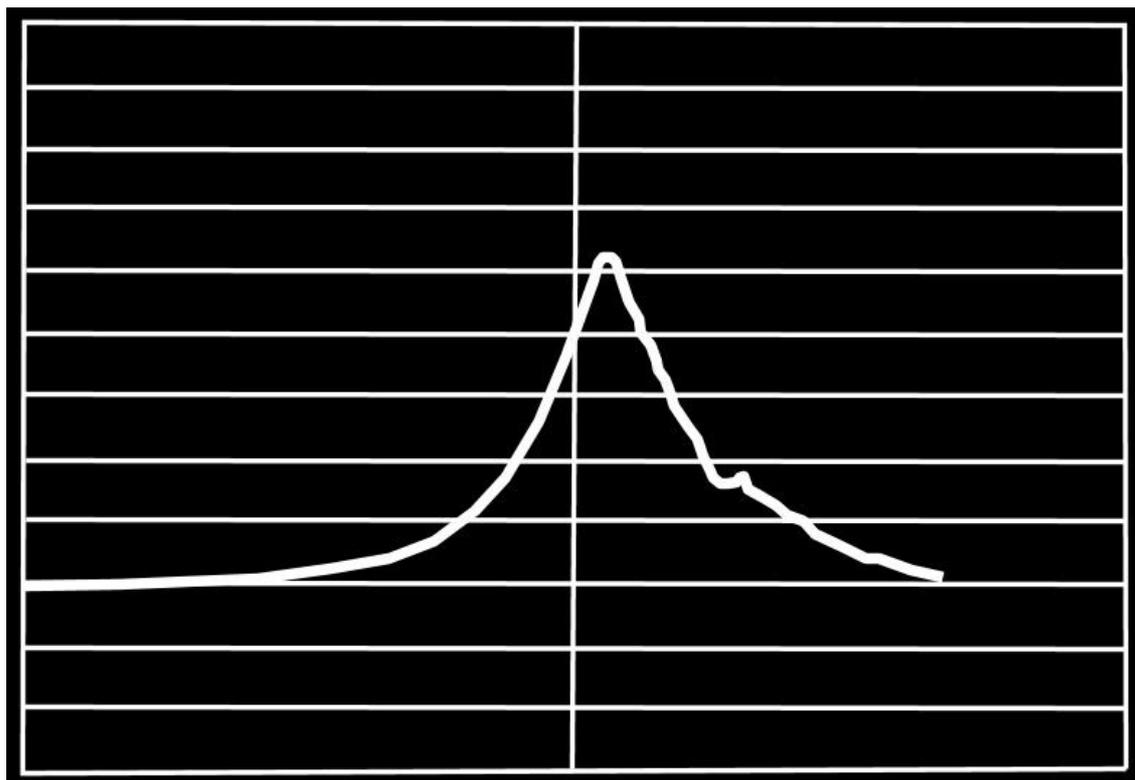


Fig. 8.3 Effetto Diesel tipico.

Poiché i transitori diesel si verificano verso il lato discendente delle onde di pressione (**NOTA:** l'effetto diesel avviene dopo il picco massimo di pressione ottenuto solo in aria, si confrontino le figure 8.1 e 8.2 con la figura 4.1, e si vede che i picchi dovuti all'effetto diesel avvengono dopo il primo picco della curva, cioè sono tutti nella parte discendente della curva), la spiegazione per un colpo con effetto diesel può essere la seguente: come il pistone viene avanti, la pressione e la temperatura aumentano notevolmente, ma quando il pistone rimbalza, pressione e temperatura vengono drasticamente ridotti e la quantità di olio trafilato d'avanti al pistone viene immediatamente vaporizzata dall'improvvisa espansione. Ora la temperatura nel suo valore massimo è abbastanza alta da rendere incandescenti minuscole particelle di sporcizia o piccole parti della guarnizione di testa. A causa di questi granelli incandescenti oppure a causa della sola combustione spontanea del lubrificante, avviene l'accensione dell'olio vaporizzato, la quale produce un aumento di pressione mentre la traccia è già nel suo lato discendente. Questa accensione provoca un aumento della pressione dietro al proiettile che a sua volta acquista una velocità maggiore rispetto al normale. I successivi picchi sul tracciato sono dovuti al riflettersi delle onde d'urto all'interno del cilindro.

Sebbene l'effetto diesel provochi un aumento della velocità, e di primo acchito si potrebbe pensare che questo rappresenti un vantaggio, in realtà si tratta di un fenomeno incontrollabile e pertanto dannoso per la precisione del tiro. Anche se fosse possibile controllare il dieselling in modo da riuscire a produrre un aumento uniforme della velocità, ci sarebbe ben poco di guadagnato dal momento che l'arma cesserebbe di essere un'arma ad aria compressa, per diventare a tutti gli effetti un'arma da fuoco. Inoltre, quando si provoca l'effetto diesel all'interno di un fucile, l'olio bruciato nel cilindro forma fuliggine e un residuo gommoso capace di ridurre la velocità del pistone. Le stesse particelle di fuliggine prodotte, produrrebbero in seguito un ulteriore aumento dell'effetto diesel.

Abbiamo voluto vedere ciò che realmente accade all'interno del cilindro nel momento in cui si verifica l'effetto diesel, così abbiamo rimosso il trasduttore di pressione e lo abbiamo sostituito con un tappo di perspex. Sparando con la carabina eccessivamente oliata in una stanza buia, abbiamo potuto constatare con soddisfazione come la spina venisse tutta illuminata da un lampo bianco brillante, che stava ad indicare che si era verificato l'effetto diesel. Il suono dell'arma e la lettura del cronografo hanno confermato quello che abbiamo osservato a vista.

I lubrificanti al bisolfuro di molibdeno (MoS₂) sono ampiamente usati per quasi tutte le applicazioni. Tuttavia, quando devono essere utilizzati sul pistone e all'interno del cilindro di un'arma ad aria compressa, è necessario prestare una grande attenzione nella scelta di un lubrificante all'interno del quale, il MoS₂ sia sospeso in un olio il cui punto di infiammabilità sia sufficientemente elevato da evitare l'effetto diesel. Il "Moly" che si acquista per utilizzare sull'automobile non è adatto a questo utilizzo. All'interno di questi lubrificanti è presente la giusta quantità di MoS₂, ma devono essere utilizzati i prodotti specifici per aria compressa.

Una cosa che tutti i lubrificanti MoS₂ hanno in comune è che essi non possono essere maneggiati perché sporcano molto, e pertanto sono adatti solo per superfici interne, che non possano essere toccate con le mani durante l'utilizzo dell'arma.

L'olio al silicone, d'altra parte, è molto pulito e ha eccellenti proprietà di anti-diesel. Avendo un alto punto di infiammabilità, sarebbe un lubrificante ideale per le guarnizioni di cuoio del pistone, ma queste sono le sue uniche qualità. Non è un lubrificante metallo su metallo e pertanto non è adatto all'uso sulle parti in movimento, per il pistone o per la molla.

Una miscela di olio al bisolfuro di molibdeno e silicone rappresenterebbe un buon compromesso ma è difficile mantenere la polvere di molibdeno in sospensione nell'olio, in quanto tende a separarsi. E rimane sempre il problema del maneggio di questa sostanza nera.

Facendo riferimento all'inizio del presente capitolo, è chiaro che scegliere un tipo o un altro di lubrificante è di fondamentale importanza. Nel corso degli anni abbiamo incontrato molti appassionati che hanno le proprie idee riguardo al miglior lubrificante o al "mix" di lubrificanti per l'utilizzo sulle armi ad aria compressa. La scelta finale sembrerebbe essere una questione di gusto personale, supportata dall'esperienza, dal momento che ogni tipo di lubrificante commerciale ha i propri particolari vantaggi e svantaggi.

Di tutti questi lubrificanti, molti pochi sono adatti per l'uso all'interno di un cilindro di un arma ad aria compressa. Durante il nostro programma di esperimenti con gli oli, ci siamo resi conto che ci sono alcuni sofisticati lubrificanti sintetici, non facilmente disponibili, che soddisfano i requisiti degli appassionati di armi ad aria compressa. Questi lubrificanti, ricavati da oli sintetici, hanno in generale una gamma molto più ampia di applicazione, e quando si tratta di alta pressione e temperatura, alcuni di questi producono risultati di gran lunga superiori agli oli minerali.

Lavorando in collaborazione con una importante compagnia petrolifera, siamo riusciti a trovare un ottimo lubrificante sintetico che viene prodotto in forma di gel. Questo ha proprietà lubrificanti molto buone e anche un punto di infiammabilità molto alto. Grazie alle sue proprietà peculiari, il gel forma uno strato su tutta la superficie di lavoro producendo una lubrificazione buona e di eccezionale durata che aderisce perfettamente. Avendo un alto punto di infiammabilità, l'effetto diesel è quasi inesistente, e qualsiasi eccedenza di gel che trafila davanti al pistone esegue una funzione molto utile di lubrificazione per il pallino dentro la canna. Questo gel tuttavia non deve essere utilizzato in unione ad un normale olio minerale, perché questo ne comprometterebbe le proprietà. Questo non dovrebbe essere un problema dal momento che da solo soddisfa tutti i

requisiti richiesti ad un lubrificante per armi ad aria compressa, incluse le proprietà di lubrificante metallo su metallo e antiruggine.

Capitolo 9 – Rendimento

Il rendimento meccanico di qualsiasi macchina è dato dal rapporto tra il lavoro utile ottenuto, rispetto al lavoro introdotto, ovvero il lavoro speso per il funzionamento della macchina. Questo rapporto viene in genere espresso come percentuale, così:

$$\frac{\text{Lavoro prodotto}}{\text{Lavoro speso}} \cdot 100 = \text{Rendimento percentuale}$$

In questo libro abbiamo considerato il lavoro introdotto in una carabina ad aria compressa, come la quantità di energia (**nota: in fisica i termini lavoro ed energia esprimono lo stesso concetto**) che viene immagazzinata dalla molla quando l'arma è carica e non l'energia necessaria a comprimere la molla nella posizione di armamento. Questa energia è maggiore rispetto a quella immagazzinata nella molla, dal momento che c'è sempre una perdita a causa dell'attrito dei perni e delle superfici che scorrono. Non abbiamo fatto uno studio delle perdite nel sistema di collegamento meccanico dalla leva alla molla, dal momento che i vari produttori impiegano meccanismi leggermente differenti tra loro, e quindi l'efficienza meccanica varia a seconda del modello.

Il lavoro prodotto è pari alla quantità di energia contenuta dal diavolo come questo lascia la bocca dell'arma. Questa è chiamata “energia alla bocca” e come per l'energia della molla è misurata in piedi per libbre (Joule = Newton per metro nel sistema metrico internazionale).

Partendo dai risultati numerici ottenuti nei capitoli precedenti, possiamo ora ricavare il rendimento della nostra arma di prova:

Energia accumulata nella molla. (fig. 2.1) = 20.4 ft.Lbs.
 velocità alla bocca, utilizzando pallini da 14,5 grani = 430 f.p.s.
 quindi dalla fig 1.1, l'energia alla bocca = 5.9 ft.Lbs.

$$= \frac{5.9}{20.4} \cdot 100 = 29 \%$$

Così il rendimento diventa

Salta immediatamente all'occhio quanto questa cifra sia notevolmente bassa. Eppure tutti i fucili che abbiamo testato hanno prodotto all'incirca lo stesso rendimento, compreso tra il 25% e il 35%. La variazione dipende principalmente dalle dimensioni fisiche dell'arma.

Ora esamineremo minuziosamente una alla volta tutte le aree di perdita di energia, accennate in precedenza durante tutto lo svolgimento del libro, aggiungendone anche una o due. È la somma di tutte queste perdite che riduce l'efficienza complessiva dell'arma, fino ad ottenere un rendimento così basso, intorno al 30%. La fig 9.1 mostra un grafico che schematicamente converte l'energia potenziale contenuta nella molla armata, nell'energia cinetica del pallino in volo. Questo diagramma, dall'aspetto piuttosto complesso, è forse il più importante grafico di tutto il libro, poiché da esso può essere determinata la distribuzione dell'energia contenuta nel

sistema, in qualsiasi istante durante il periodo di tempo che va da quando si preme il grilletto, fino a quando il pistone si posa sul cielo del cilindro.

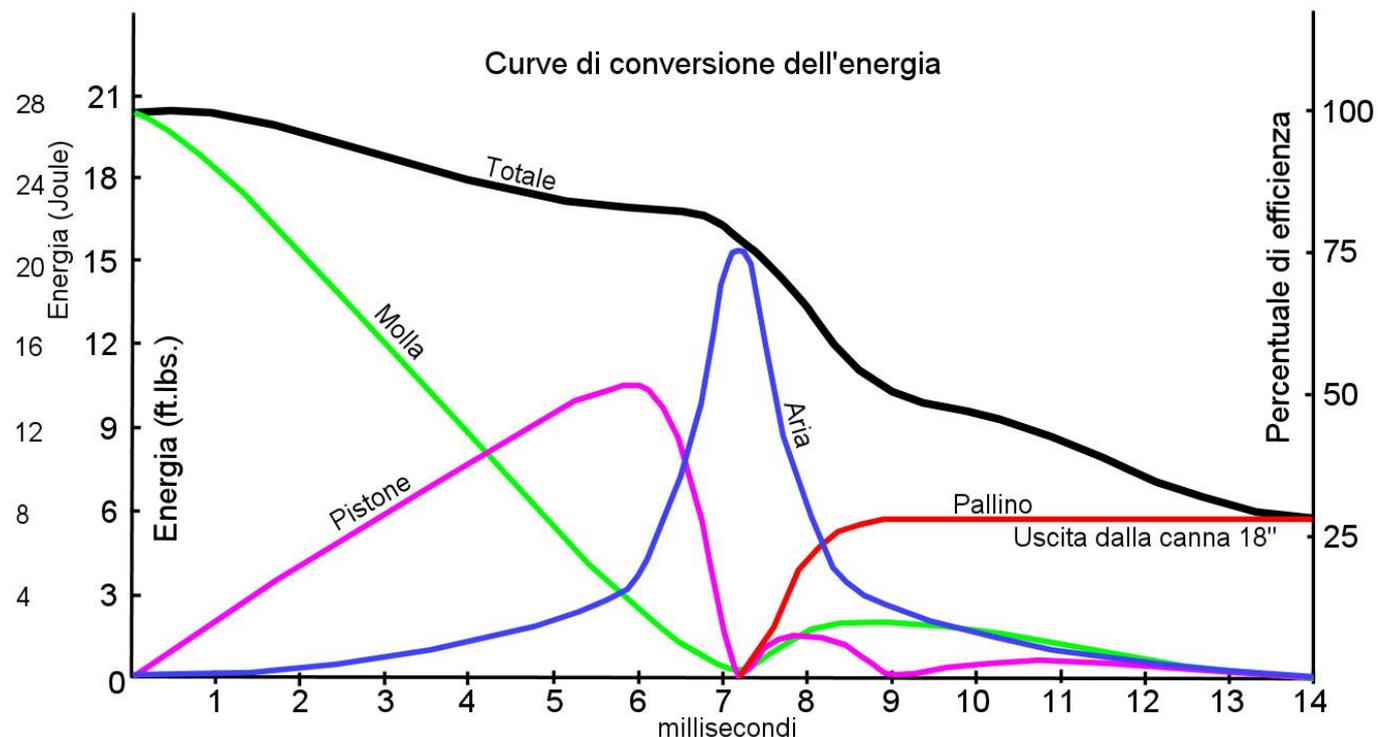


Fig. 9.1 Grafico della distribuzione dell'energia

Ogni curva è colorata (**nota: l'ho colorata io per comodità, sul libro ogni curva è contrassegnata con una freccia**) per mostrare l'elemento particolare dell'arma che rappresenta. La spessa curva nera che corre lungo la parte superiore, rappresenta la quantità totale di energia utile contenuta nel sistema in qualunque istante. L'asse verticale mostra l' energia misurata in piedi per libbra, mentre sul lato destro per comodità è riportato il rendimento in percentuale. L'asse orizzontale rappresenta il tempo in millisecondi (millesimi di secondo) a partire dall'istante in cui il pistone inizia a muoversi.

La molla

La molla principale è senza dubbio il componente più efficiente di un'arma ad aria compressa, dal momento che restituisce praticamente tutta l'energia accumulata durante la fase di armamento.

Dal momento in cui il grilletto viene premuto, la molla impartisce al pistone la piena quantità di energia che aveva immagazzinato, e riesce a farlo in maniera molto uniforme, tanto che il suo calo di energia è rappresentato da una linea quasi retta, che parte dalla parte superiore del grafico, nel punto in cui la molla contiene 20.4 piedi per libbra, fino al punto più basso dove non contiene più nessuna energia, a questo punto davanti al pistone si ha il picco di pressione dell'aria compressa.

Tuttavia, quando il pistone rimbalza indietro, la molla viene a sua volta nuovamente compressa, dall'aria in espansione, e questa quantità di energia viene sprecata. I problemi associati al

tentativo di evitare questa perdita di energia sono già stati descritti nel capitolo sul pistone.

Le piccole perdite di energia, che si verificano nella molla sono dovute all'attrito, dal momento che la molla strofina contro i lati del pistone e le sue spire ruotano leggermente all'atto dell'espansione. Tuttavia in un'arma ben lubrificata queste perdite sono trascurabili.

Il pistone

Nel capitolo sul pistone abbiamo accennato al fatto che, al fine di produrre la tenuta della guarnizione sulle pareti del cilindro, il pistone (inteso completo di guarnizione) deve produrre un certo attrito. Questo attrito quindi, è una perdita di energia, che è la causa principale della caduta della curva dell'energia totale (linea nera) durante i primi 7 millisecondi di corsa in avanti del pistone, nei quali, circa 3 piedi per libbra di energia vengono perduti. La parte di attrito di questa perdita può, naturalmente, essere ridotta al minimo mediante l'uso di un buon lubrificante.

Tornando alla linea che rappresenta l'energia contenuta dal pistone, si può vedere che la molla trasferisce la sua energia al pistone ad un ritmo uniforme durante i primi 6 millisecondi della sua corsa. Dando un'occhiata alla curva dell'aria sotto di essa, si vede chiaramente che il pistone trasferisce questa energia all'aria con una velocità uniforme. Ma una volta che si supera il riferimento dei 6 millisecondi, il pistone decelera rapidamente. Il rapido rallentamento del pistone è provocato dall'aumento altrettanto rapido della pressione dell'aria che ha di fronte. Questo tipo di compressione è chiamata adiabatica come si è già detto all'inizio, nel capitolo sull'aria. In quel capitolo fu menzionato che una compressione adiabatica si svolge senza perdita di calore. Ora possiamo tutti comprendere che se un gas viene riscaldato, questo si espande, e che se viene riscaldato all'interno di un contenitore chiuso, la sua pressione deve salire dal momento che il contenitore ne impedisce l'espansione. Nel nostro caso, siamo in una situazione in cui stiamo facendo entrambe le due cose in una volta, prima di tutto stiamo innalzando la pressione dell'aria mediante una compressione, e in secondo luogo, stiamo ulteriormente alzando la pressione attraverso il riscaldamento causato da questa stessa compressione. Così entrambi questi fattori sommati, causano la rapida decelerazione del pistone, con il conseguente tuffo verso il basso della curva sul grafico (curva magenta). Al tempo stesso, l'aria nel cilindro ha subito un aumento esponenziale di energia, indicata dall'improvvisa oscillazione verso l'alto della curva rappresentante l'aria (curva blu).

L'aria

Il bilancio energetico dell'aria in un'arma ad aria compressa è, senza dubbio, un argomento estremamente difficile e complesso da studiare; bisogna prima di tutto iniziare col conoscere la teoria di base dei gas: consideriamo l'aria come composta da milioni di piccole molecole, che si muovono tutte in maniera casuale e si scontrano le une con le altre all'interno dello spazio che le contengono, nel nostro caso, il cilindro. Quando l'aria viene compressa, questo stesso numero di molecole vengono costrette dentro ad uno spazio più piccolo, e questo fa aumentare il numero di collisioni tra le molecole, così come anche il numero di collisioni tra le molecole e le pareti del cilindro. Quando l'aria viene compressa dal pistone, il lavoro viene fatto sulle sue molecole che aumentano la loro velocità, e quindi loro energia cinetica, e questa aggiunta di energia appare sotto forma di un innalzamento della temperatura. Ora come già indicato, la compressione è adiabatica e nessuna energia termica può essere perduta, pertanto tutto il

calore dovuto all'innalzamento della temperatura dell'aria durante la compressione, diventa disponibile a compiere il lavoro necessario a spingere pallino durante l'espansione dell'aria. Tuttavia, a causa di certi fenomeni a livello molecolare, ci sono attrazioni tra le molecole che richiedono una certa quantità energia per essere vinte, quindi una certa quantità di energia viene persa per superare le forze attrattive interne al gas. Questa perdita di energia è dovuta al fatto che l'aria non è un "gas ideale"; un gas definito in maniera teorica come "ideale" non ha perdite interne di energia. Purtroppo in natura un tale gas non esiste.

Ogni singolo gas è costituito da molecole diverse, ognuna con le proprie caratteristiche "non-ideali", così abbiamo sperimentato gas alternativi per vedere se fossimo riusciti a trovarne uno più efficiente dell'aria. Abbiamo aspirato una carica di gas nel cilindro durante il caricamento dell'arma, garantendo così che il cilindro fosse riempito completamente di quel gas a pressione atmosferica per ogni colpo. Le curve, ottenute dall'oscilloscopio, dei transitori di pressione di questi gas sono mostrati dalle figure che vanno dalla 9.2 alla 9.7. Queste devono essere confrontate con la traccia ottenuta in aria, la fig 4.1. Dal momento che la corsa del pistone è grosso modo proporzionale al tempo e che la sua velocità è rimasta la stessa durante tutto l'esperimento, si può assumere che l'area sotto la curva registrata dallo strumento rappresenta l'energia ottenuta utilizzando quel gas. Il gas più efficiente è quindi quello con la più grande area sottesa dalla curva. Si sarà notato che questo gas è l'azoto, e questo è confermato dal fatto che la velocità del pallino sparato utilizzando questo gas è la più alta di tutte (vedi tabella sotto).

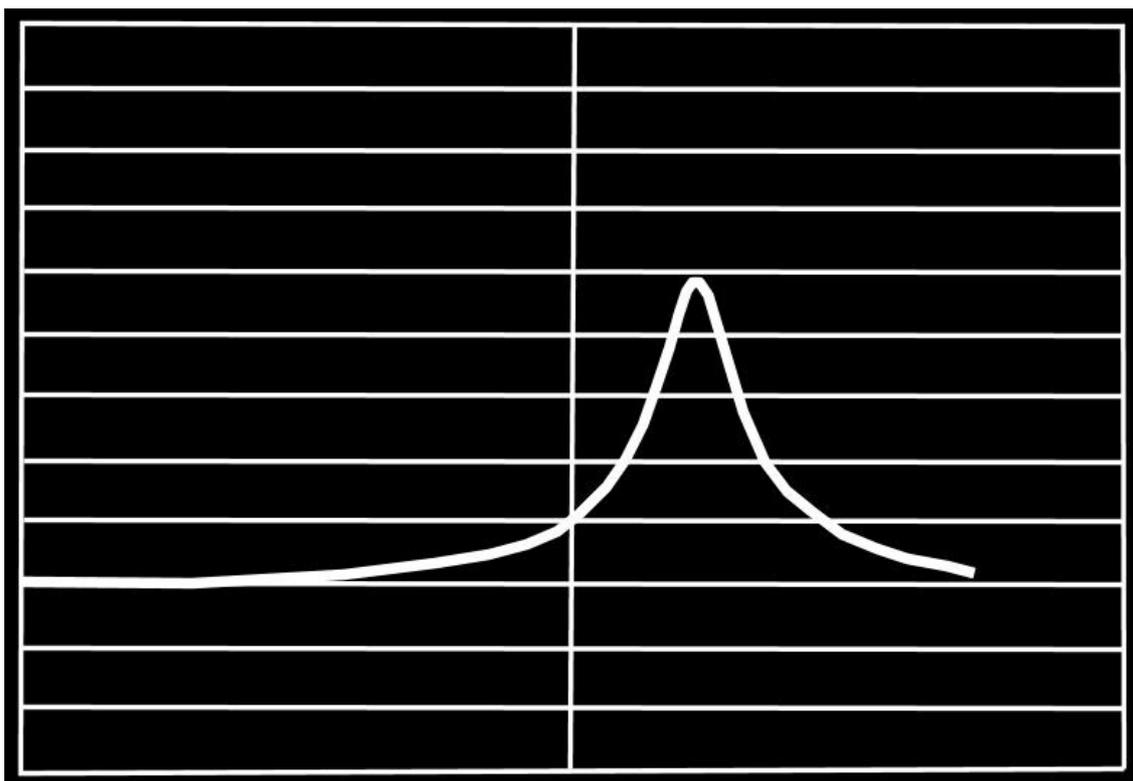


Fig. 9.2 Transitorio del diossido di carbonio (CO2)

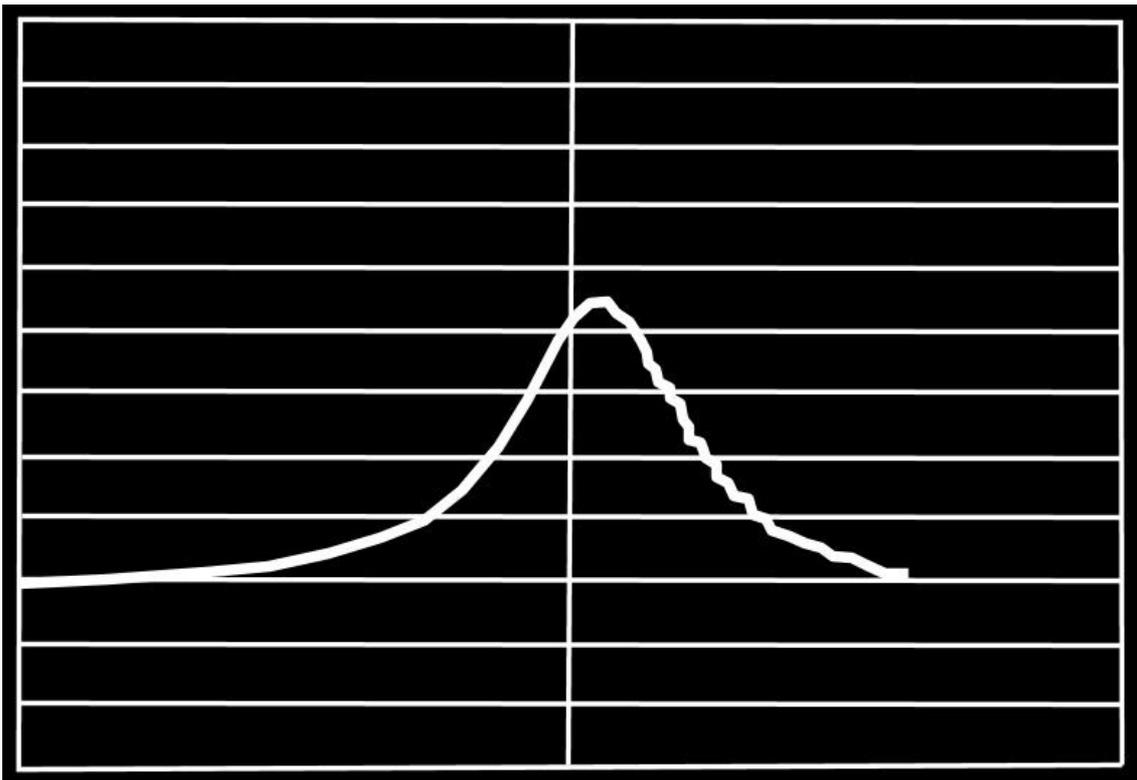


Fig. 9.3 Transitorio dell'Argon

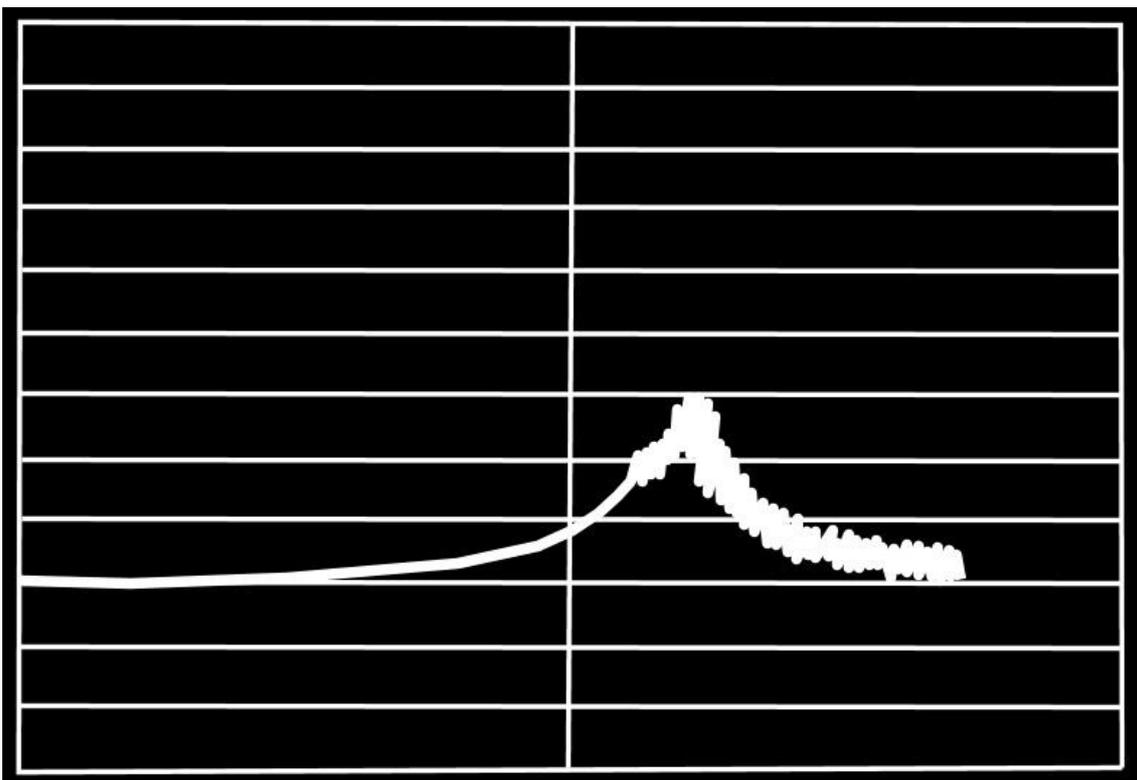


Fig. 9.4 Transitorio del Butano (CO2)

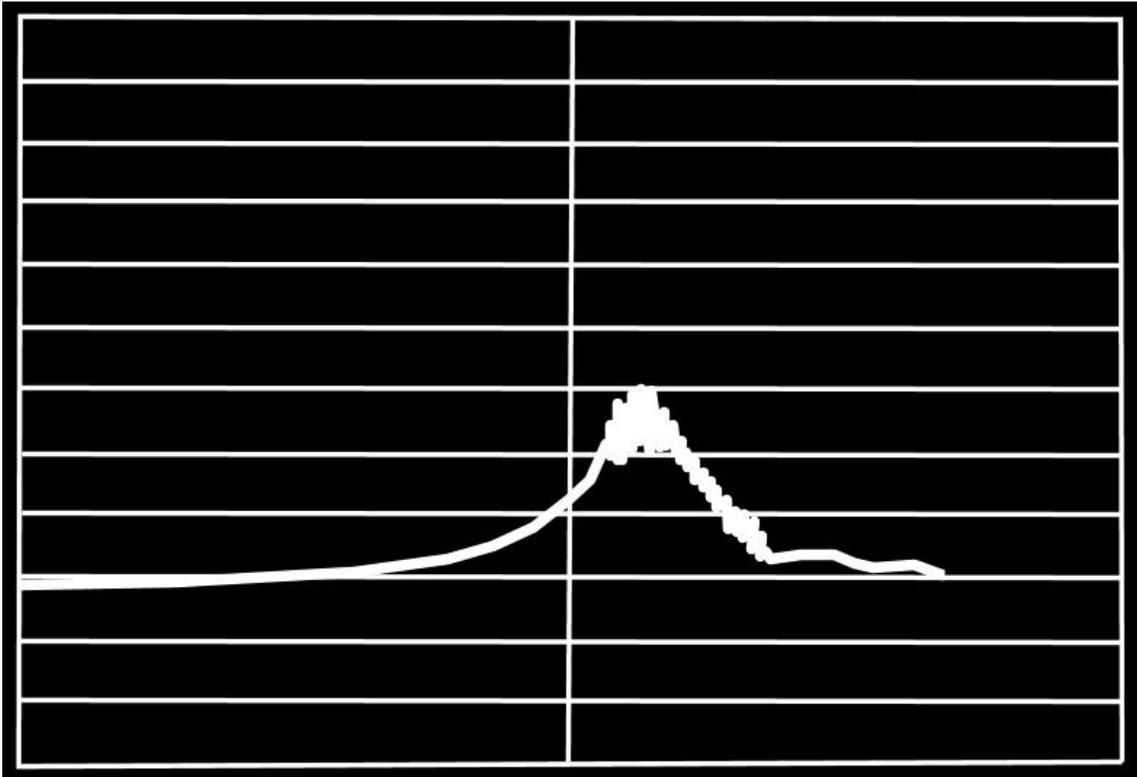


Fig. 9.5 Transitorio del Freon 22

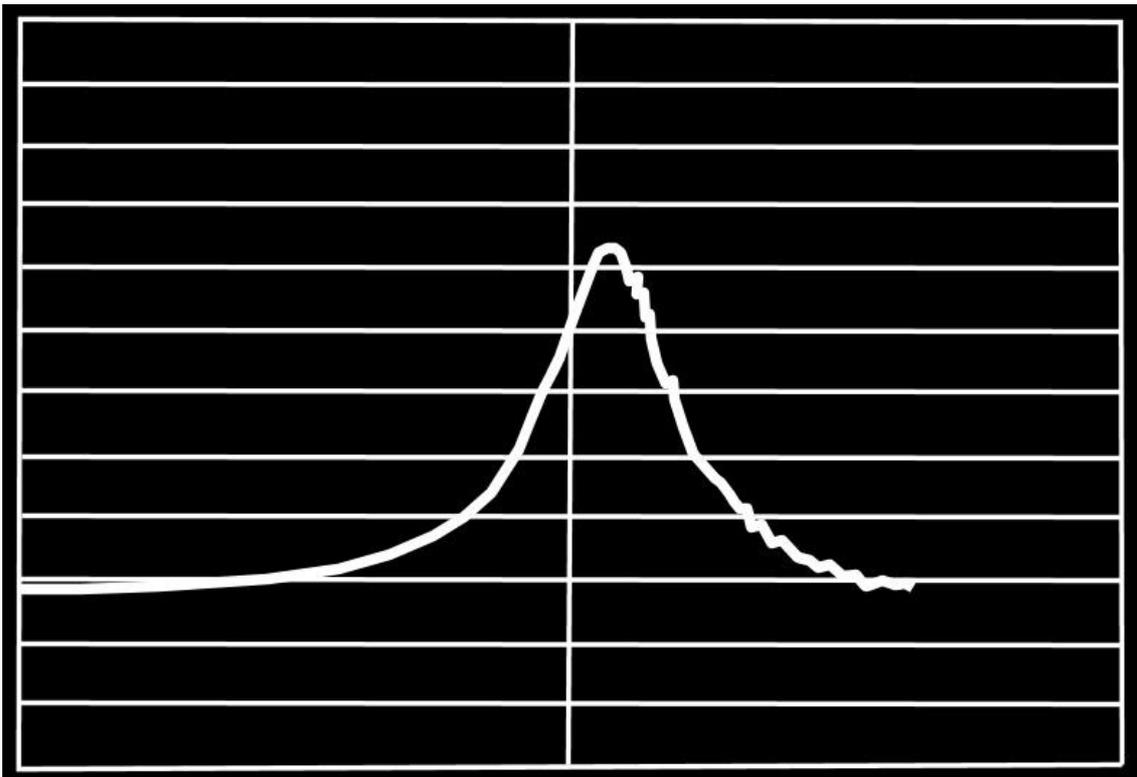


Fig. 9.6 Transitorio dell'Azoto (Nitrogen).

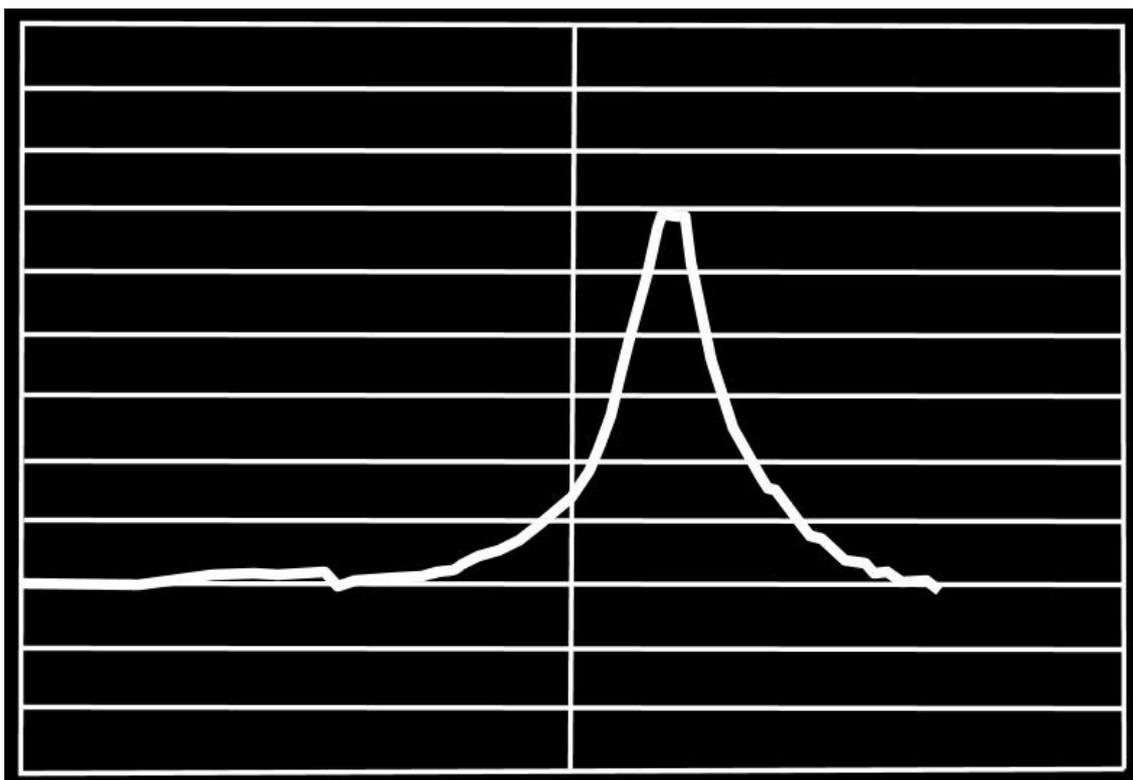


Fig. 9.7 Transitorio del gas di uso domestico (Town gas).

Aria	CO2	Argon	Butano	Freon 22	Azoto	Gas di casa
432	319	412	142	227	429	330
424	304	415	57	193	420	348
430	312	415	107	186	432	353
420	324	422	112	153	434	345
437	308	424	100	170	431	343
433	324	413	106	169	432	345
439	307	420	66	185	437	346
439	313	418	101	148	441	350
425	320	432	56	192	433	352
431	318	418	103	166	438	352
431	315	419	95	179	433	346

Le cifre nella parte inferiore di ogni colonna rappresentano la velocità media calcolata in piedi al secondo per quella specifica colonna.

Da questa tabella si può ricavare che aria e azoto (Nitrogen) sono i gas più efficienti per l'utilizzo nelle armi ad aria compressa di tipo convenzionale. Certo è un fortuna che l'aria sia il gas consigliato dai produttori di armi ad aria compressa!! E anche che naturalmente, nell'aria siano contenuti ben due terzi di azoto.

Si sarà notato anche che i gas Freon 22 e Butano hanno prodotto transitori di pressione molto

strani, probabilmente a causa delle loro proprietà fisiche uniche, viscosità e calore specifico, che influenzano la quantità di energia immagazzinata durante la compressione.

Si dice spesso che un fucile ad aria compressa offre prestazioni migliori in una giornata fredda, o che il clima caldo rappresenti l'ottimale. Mentre stavamo sperimentando con i vari gas, abbiamo deciso che i tempi erano maturi per studiare attentamente l'effetto della temperatura ambientale sulle prestazioni di un'arma ad aria compressa. Prima di tutto, abbiamo avvolto un filo elettrico di riscaldamento intorno al cilindro e riscaldato l'arma, tenendo sotto controllo la temperatura mediante un termometro fissato al cilindro. Prima di sparare ogni colpo, la carabina è stata lasciata nella posizione armata abbastanza a lungo da permettere all'aria nel cilindro di raggiungere la stessa temperatura che aveva il resto dell'arma. Siamo stati sorpresi nello scoprire che la velocità non è cambiata all'interno di un intervallo di temperatura normalmente prevedibile per una giornata d'estate. Ma superando questa temperatura, un persistente dieselling rendeva impossibile stabilire se quella misurata fosse la vera velocità del pallino o se fosse dovuta all'effetto diesel. A queste temperature elevate, tuttavia, l'arma era troppo calda per essere imbracciata, per cui si è trattato di un punto di interesse puramente accademico.

Il nostro esperimento successivo è stato realizzato iniettando refrigerante in un contenitore che avvolgeva il cilindro. Anche questa volta abbiamo lasciato un sacco di tempo all'aria di assumere la stessa temperatura del resto della carabina. Le velocità risultanti erano molto simili rispetto a quelle ottenute lasciando l'arma a temperatura normale, quindi siamo arrivati alla conclusione che la temperatura, entro margini di variazione ragionevoli, ha poco o nessun effetto sulla balistica interna delle armi ad aria compressa.

La transfer port

Questo passaggio stretto tra il cilindro ed il pallino può produrre perdite in efficienza, perché se non è adeguatamente modellato causerà turbolenza nell'aria che lo attraversa, inoltre, dovendo essere necessariamente di piccolo diametro, limita il flusso d'aria. Tuttavia la perdita principale è dovuta alle onde d'urto che si verificano nel passaggio. La fig. 9.8 mostra come è fatta l'onda d'urto che esce dalla bocca dell'arma. La determinazione dell'importo effettivo di energia perduta nella transfer port attraverso le onde d'urto risulta essere oltre le nostre possibilità, ma sono certamente una delle maggiori cause della caduta violenta della curva dell'energia totale tra i 7.2 e 9 millisecondi nel diagramma dell'energia, fig. 9.1.



Fig. 9.8 Onde d'urto emesse dalla volata.

La canna

C'è solo una significativa perdita di efficienza che può verificarsi nella canna ed è dovuta alla forma della culatta come accennato nel capitolo 6. Questa deve essere modellata affinché il pallino riceva l'accelerazione massima dalla pressione gli si forma dietro. Ci sono altre cause di perdite trascurabili, come ad esempio l'attrito e l'energia necessaria a far ruotare il diavolo nella rigatura, ma abbiamo dimostrato che queste perdite sono così piccole che possono essere ignorate.

L'efficienza di un'arma ad aria compressa può tuttavia essere un po' aumentata utilizzando un proiettile di diametro più grande:

Calibro	Peso (grani)	Velocità	Energia	Rendimento
0.177	7.4	507	4.2	23%
0.22	14.0	405	5.1	28%
0.25	19.0	354	5.3	29%

Tutte le letture di cui sopra sono state ottenute con un energia di input di 18 piedi per libbra.

Se veramente esiste questo guadagno di rendimento può essere confermato, applicando le seguenti equazioni:

$$\text{FORZA} = \text{PRESSIONE} \times \text{AREA}$$

$$\text{FORZA} \times \text{DISTANZA} = \text{PRESSIONE} \times \text{AREA} \times \text{DISTANZA}$$

Ora, se Forza x Distanza corrisponde all'unità di energia, allora:

$$\text{ENERGIA} = \text{PRESSIONE} \times \text{DISTANZA} \times \text{AREA}$$

Questa semplice formula dimostra che da considerazioni puramente meccaniche, l'energia alla bocca è direttamente proporzionale alla pressione media all'interno della canna, alla superficie della base del pallino e alla lunghezza della canna.

Una ulteriore considerazione mostra che, se la pressione nel cilindro rimane costante, a patto che la potenza della molla non venga alterata, la pressione media nella canna diminuisce come se ne aumenta la lunghezza. Questa situazione è ulteriormente aggravata dalla riduzione del diametro della transfer port ed è la ragione principale per cui il pallino cessa di accelerare dopo aver percorso i primi 6 pollici o circa di canna (vedi fig 6. 1).

Possiamo, quindi, dire che la pressione è "circa" inversamente proporzionale alla distanza del pallino dalla bocca della canna.

In questa maniera:

$$\text{PRESSIONE} \propto \frac{1}{\text{DISTANZA}} \quad (\text{approssimativamente})$$

oppure:

$$\text{PRESSIONE} \cdot \text{DISTANZA} = \text{COSTANTE}$$

da cui, nella formula precedente, sostituendo il termine "PRESSIONE x DISTANZA" che è costante si ottiene:

$$\text{ENERGIA} \propto \text{AREA}$$

Vale a dire che, dato un certo input di energia, l'energia alla bocca di un'arma ad aria compressa è una funzione del calibro ed è in gran parte indipendente del peso del pallino.

Il totale

Tirando le somme, abbiamo cinque componenti del funzionamento della nostra arma ad aria compressa che contribuiscono alla sua inefficienza, rendendo la perdita complessiva di energia di un notevole 71% rispetto al totale dell'energia introdotta, ovvero quella immagazzinata dalla molla. Una rapida occhiata alla fig. 9.1 ci dice che non possiamo incolpare uno qualsiasi di questi fattori, dal momento che avviene un interscambio complesso di energia, e che il rendimento effettivo di ogni funzione varia millisecondo per millisecondo.

Tuttavia, possiamo giungere ad alcune conclusioni:

Il trasferimento di energia dalla molla, tramite il pistone, all'aria è molto efficiente: circa il 76%

Il trasferimento di energia dall'aria, tramite la transfer port, al pallino, tuttavia non è così buono: circa il 37% del 76% di cui sopra, il che significa il 29% dell'energia totale contenuta nella molla, come già detto.

Possiamo adesso tirare le somme sulle perdite di energia per ogni componente, molto

approssimativamente, considerando la loro energia residua, (e quindi "persa") all'istante in cui il pallino lascia la canna.

Bilanciamento Energetico alla bocca

La molla - Dopo il rimbalzo	Perso 6 %
Il pistone - Dopo il rimbalzo e poi arrivato a fondo al cilindro	Perso 3 %
L'aria - Un po' di pressione residua dopo l'uscita del pallino	Perso 5 %
La transfer port - Principalmente le onde d'urto	Perso 23 %
Attrito	Perso 34 %
Il pallino - Energia cinetica contenuta	Contenuto 29%
TOTALE	100 %

Capitolo 10 – Il cronografo

Il cronografo rappresenta in balistica quello che il tachimetro rappresenta in campo automobilistico. Senza di esso non si possono confrontare le diverse macchine o valutare i risultati degli esperimenti.

Nel corso degli anni ci sono stati molti tentativi di elaborare un semplice mezzo per confrontare la velocità espressa dalle armi di aria compressa. Ogni sistema era basato sulla misura della profondità di penetrazione del pallino in una sostanza tipo mastice o fogli di cartone. Purtroppo ognuno di questi metodi produce risultati che non dipendono soltanto dalla velocità, perché la penetrazione è fortemente influenzata anche dalla forma della parte frontale del proiettile. Per esempio, una diavolo a testa tonda, (roundnose), a parità di tutti gli altri fattori, ha una capacità di penetrazione molto superiore rispetto ad un pallino a testa piatta (wadcutter). Il nostro sistema preferito di confrontare la penetrazione è quello di sparare su vecchi elenchi telefonici, ma i risultati sono, nella migliore delle ipotesi, sicuramente interessanti, ma di ben poco valore pratico.

Probabilmente la prima persona a concepire un dispositivo scientifico per la misurazione della velocità di un proiettile fu Benjamin Robins, che nel 1742, brevettò il pendolo balistico. Con questo strumento è stato possibile, per la prima volta, misurare con precisione la velocità dei proiettili. Questo strumento, come si può immaginare, pose le basi per lo studio scientifico della balistica; ed è rimasto l'unica soluzione pratica per risolvere il problema di misurare la velocità dei proiettili per circa 100 anni. In tutto questo periodo molto lavoro è stato fatto nel tentativo di elaborare uno strumento elettrico che fosse più preciso e più facile da usare rispetto al pendolo.

Durante il 1890, è stato sviluppato un sistema da Le Boulenger che utilizzava due schermi o griglie di filo, che il proiettile tagliava durante il suo volo. La rottura del primo filo prima rilasciava un peso il quale precipitava sotto l'azione della gravità; Quando il proiettile attraversava il secondo schermo, una molla caricava un coltello il quale produceva un segno su un lato del peso in caduta. La distanza del segno risultava proporzionale al tempo di caduta. Con queste informazioni e conoscendo la distanza tra i due schermi, era possibile calcolare la velocità del proiettile durante il suo volo tra i due estremi.

Brillante, anche se i primi strumenti, hanno tutti sofferto degli stessi problemi, dovuti al ritardo di tempo della risposta meccanica delle parti in movimento. Tutti i tipi di idee ingegnose erano tese ad annullare questa problematica, ma è facile presumere che questi sistemi abbiano solo aggiunto inaffidabilità al sistema finale. Con l'avvento della valvola radio e la scienza dell'elettronica, il cronografo è diventato uno strumento molto preciso, e con l'invenzione del transistor guadagnò tanto in portabilità, quanto in precisione.

Il problema principale di qualsiasi cronografo elettronico è dovuta allo stabilire con esattezza la posizione del pallino in volo, rispetto ad un punto fisso o, più correttamente rispetto a due punti fissi, quelli alle due estremità del tratto di volo in esame. Nei primi tipi di cronografo abbiamo accennato al fatto che la posizione del proiettile è stata registrata inducendolo a rompere un circuito elettrico. Purtroppo, questo sistema non è perfettamente adatto alle armi ad aria compressa, in quanto l'energia assorbita nel rompere lo schermo può rallentare il pallino in modo inaccettabile. Inoltre risulta economicamente dispendioso, dover sostituire gli schermi dopo ogni colpo.

Il sistema che viene utilizzato negli stabilimenti militari si basa sull'interferenza che crea il passaggio del proiettile rispetto alla luce emessa da una fotocellula. La sorgente di luce può essere sia la luce solare, quando si lavora all'esterno o prodotta da tubi fluorescenti quando si opera al chiuso. L'intera unità è chiamata "Sky Screen". Purtroppo il costo di tali attrezzature è proibitivo, operando nel campo delle armi ad aria compressa.

Abbiamo aggirato il problema mediante l'uso di microfoni. Dopo aver fatto un piccolo esperimento, abbiamo trovato che il pallino emerge dalla bocca dell'arma, accompagnato da un'onda sonora molto energica.

Abbiamo catturato questa onda con un microfono posizionato vicino alla volata, l'impulso elettrico risultante ha dato il via per la partenza del cronografo. Allo stesso modo quando il pallino arriva all'altra estremità della distanza da misurare, un altro microfono registra il rumore prodotto nel momento in cui si appiattisce contro la piastra ferma pallini.

La figura 10.1 mostra il nostro cronografo, completo di due microfoni e le bobine dei cavi. Questo strumento può essere utilizzato con la normale alimentazione elettrica domestica, o mediante una propria batteria interna ricaricabile. Il cuore del sistema è un generatore controllato da impulsi a cristalli che produce esattamente centomila cicli al secondo. Questi impulsi sono alimentati da un interruttore elettronico che è controllato dai due microfoni. Durante la misurazione un contatore di impulsi visualizza il numero dei cicli su un pannello. Il display montato su questa unità, essendo simile a quello di un calcolatore da ufficio, è molto facile da leggere anche quando si opera in un poligono di tiro all'aperto.



Fig. 10.1 Il nostro cronografo elettronico

La sequenza completa degli eventi che avvengono quando si rileva una lettura di velocità, è la seguente: il primo microfono registra il suono del pallino non appena esce dalla bocca dall'arma e gli interruttori avviano gli impulsi dell'oscillatore interno e il contatore. Appena il proiettile arriva all'altra estremità del suo volo, il suono registrato dal secondo microfono interrompe il contatore degli impulsi. Una volta avvenuto tutto questo si può leggere il numero di impulsi sul display e la

velocità del pallino viene calcolata dalla seguente formula:

$$V = \frac{S \cdot n}{C}$$

Dove:

V = Velocità in piedi al secondo

S = Distanza tra i microfoni in piedi

n = Numero di impulsi al secondo emessi dal cristallo.

C = Numero di impulsi letti nel contatore

Anche se può sembrare incredibile, una volta che il primo microfono ha registrato il passaggio del pallino, tutte le successive commutazioni di stato e il loro conteggio, avvengono ad una velocità vicina a quella della luce, cioè 186411 miglia al secondo (300000 Km/s). Quasi istantaneo se confrontato con la velocità media di un diavolo che è di circa 600 piedi al secondo.

La grande bellezza dei moderni cronografi è che essi possono registrare la posizione del proiettile senza interferire con la sua velocità. Allo stesso tempo, si può misurare l'intervallo di tempo per una piccolissima frazione di secondo. Nel nostro caso ciò equivale a un centinaio di millesimi di secondo, ma non sarebbe più difficile misurare un milionesimo di secondo. Inoltre non c'è alcuna necessità di sostituire un qualsiasi schermo o componente dopo ogni colpo, l'unica cosa che bisogna fare prima di sparare il colpo successivo è ricordarsi di premere il pulsante di reset, in modo che il display azzeri la sua precedente lettura.

Un cronografo meccanico molto interessante è stato sviluppato da Mr R. Jeffery della Cornovaglia. Una foto di questo strumento è mostrata in figura 10.2. Due dischi di carta distanziati esattamente di un piede vengono portati in rotazione ad alta velocità da un motore elettrico. Il colpo viene sparato parallelamente all'albero motore, così che ogni disco è penetrato dallo stesso pallino in rapida successione. Dal momento che i dischi stanno ruotando ci sarà un spostamento angolare tra i due fori provocati dal pallino; misurando questo spostamento si ottiene la velocità del pallino, calcolata in base alla velocità del motore, che deve essere conosciuta e costante. In questo caso è stato trovato che 1200 giri al minuto riuscivano a produrre uno spostamento dei dischi, tale da rendere la lettura la più accurata possibile. Ovviamente è importante controllare che la velocità del motore rimanga costante perché è da questo che dipende la precisione dello strumento. È stato supposto che il pallino potrebbe essere deviato dalla rotazione del primo disco e, pertanto dare luogo ad una lettura falsa quando penetra nel secondo disco. Esperimenti condotti per verificare questo punto, tuttavia hanno dimostrato che questo effetto produce un errore percentualmente trascurabile della lettura finale. Questo strumento dimostra chiaramente che cosa può essere fatto da un geniale sperimentatore, dotato di perseveranza e senza spendere una grossa somma di denaro.



Fig. 10.2 Il cronografo di Mr. Jeffery

Tornando agli strumenti elettronici, un altro sistema è stato sviluppato da Mr A. Terman di Edimburgo. Questo è piuttosto più complesso rispetto a quelli che sono stati descritti finora, in quanto si basa sul principio per cui, la carica di un condensatore elettrico attraverso una resistenza di valore noto, dipende dal tempo, purché la tensione di alimentazione rimanga costante. L'attrezzatura completa è illustrata nella figura 10.3.



Fig. 10.3 Il cronografo di Mr. Terman

Il pallino che viene sparato lungo la barra, prima interrompe una piccola striscia di stagnola di alluminio, tenuta da una pinza, poi all'altra estremità colpisce un pezzo di acciaio interposto tra

due magneti. La stagnola e i magneti sono esattamente distanti un piede, il che determina la distanza su cui viene presa la lettura di tempo. Elettricamente parlando, la sequenza degli eventi è la seguente; non appena la striscia di alluminio viene interrotta, inizia la carica del condensatore, poi come l'acciaio viene rimosso dal colpo del pallino, la carica viene interrotta.

A questo punto la tensione accumulata dal condensatore viene letta da un voltmetro. Da un grafico calcolato in precedenza è possibile determinare esattamente quanto tempo è durato il processo di carica, e da questo si ricava la velocità del pallino, dal momento che il periodo di carica è esattamente uguale al tempo di volo del proiettile tra la pellicola e l'acciaio. In pratica non è tutto così semplice ed è necessaria una elettronica abbastanza sofisticata per garantire che la tensione di alimentazione rimanga costante, e che lo strumento di misura non imponga alcun consumo elettrico sul condensatore quando rileva la sua tensione. Ancora una volta si potrebbe sostenere che il pallino subisca un rallentamento quando rompe la stagnola, e ancora che ci sia un ritardo quando il piccolo schermo di acciaio interrompe il contatto tra i magneti, ma i test hanno dimostrato che il disturbo dovuto a questi ostacoli risulta essere trascurabile.

Ora torniamo al più semplice e a buon mercato strumento per misurare la velocità del proiettile, il pendolo balistico. Il pendolo di "Robins" è quello che dà il via allo studio sul volo dei proiettili. Era uno strumento basato su di una massa pendolare piatta contro cui veniva sparato il proiettile. Come il pendolo oscillava sotto la forza dell'impatto, trascinava con se un nastro; la quantità di nastro che era stata tirata indietro rispetto ad un punto fisso indicava lo spostamento del pendolo, che una volta misurato serviva a calcolare la velocità del proiettile.

Si può immaginare la scena di una palla di moschetto che colpisce la massa pendolare piatta; schegge di piombo fuso volano ovunque, con la occasionale possibilità che possano interferire con, o addirittura tranciare, lo stesso nastro usato per la misura. Il fatto stesso che la palla possa rompersi, e i suoi frammenti volare ovunque, sta ad indicare che non sempre tutta l'energia viene assorbita dal pendolo, e che di conseguenza, questo possa dare spesso una lettura più bassa del reale.

Nei nostri primi esperimenti con un pendolo ridimensionato per armi ad aria compressa, ci siamo presto resi conto che un sacco di energia veniva consumata in particelle di piombo che volano fuori dalla massa pendolare non appena il pallino gli si disintegrava contro. Chiaramente abbiamo dovuto mettere a punto una massa pendolare di una forma tale da poter catturare il pallino nella sua interezza, sfruttandone quindi la maggiore energia cinetica possibile, senza che la massa pendolare stessa risultasse difficile da colpire. Dopo uno o due disegni infruttuosi, abbiamo finalmente avuto l'idea che una forma ad imbuto potesse essere la risposta giusta, non solo per il problema energetico, ma anche per risolvere un altro intoppo tipico del pendolo balistico; se la massa pendolare ha una faccia piatta, un tiro che la colpisce sopra al centro darà una lettura più bassa, mentre uno che la colpisce in basso produrrà una lettura più alta. Questa variazione della velocità misurata rispetto alla velocità reale, causata da colpi alti o bassi sul piatto era abbastanza grande da rendere l'intero strumento inutilizzabile per eseguire esperimenti di precisione.

La nuova forma ad imbuto guida il pallino in un piccolo foro dove può trasferire più energia possibile al pendolo. Allo stesso tempo al pallino viene impedito di frammentarsi e di dissipare l'energia dei singoli frammenti in volo. Poiché l'imbuto ha la superficie rastremata, qualsiasi tiro alto o basso viene automaticamente guidato verso il centro e anche questo tipo di errore risulta essere stato corretto. Eravamo così contenti della precisione ottenuta dalla nuovo disegno dato alla massa pendolare che ci siamo presi la briga di registrarne il progetto presso l'ufficio brevetti.

Abbiamo sezionato una massa pendolare affinché la sua forma interna possa essere vista a fianco di un pendolo reale, in fig. 10.4.



Fig. 10.4 Il pendolo balistico.

La taratura di un pendolo balistico si basa su una determinata massa del proiettile, se si cambia la sua massa, la scala delle velocità deve essere regolata, per soddisfare il nuovo peso del proiettile, o in alternativa può essere modificato il peso della massa pendolare, purché il centro di rotazione rimanga fisso. Non è così facile come sembra, dal momento che il peso della massa pendolare è un fattore molto critico per la precisione dello strumento. Quando abbiamo adattato il pendolo balistico per le armi ad aria compressa, abbiamo pensato ad uno strumento che potesse rispondere al meglio, sia per il calibro 0.177 che per il calibro 0.22. Ma in media un pallino in calibro .22 ha due volte il peso di uno in calibro 0.177, e questa variazione è stata fonte di molti problemi per valutare un compromesso per il peso della massa pendolare. Alla fine siamo stati costretti a produrre scale e masse pendolari separate per ogni calibro al fine di ottenere una gamma utile sulla scala delle velocità.

Il nastro presente sullo strumento di Robins è stato sostituito nel nostro modello da un puntatore che si muove attraverso una scala, trascinato dalla stessa massa pendolare durante la sua oscillazione all'indietro, per poi rimane nella posizione più arretrata che ha raggiunto, trattenuto da una leggera quantità di attrito. Anche se questa quantità di attrito è molto piccola, consigliamo sempre all'utente di preimpostare il puntatore già in posizione avanzata, a circa 100 f.p.s. sotto la lettura prevista, in modo da ridurre al minimo l'effetto dell'attrito sulla lettura. Dopo tutto, lo scopo è quello di ottenere una lettura più alta possibile, senza barare ovviamente! Un altro piccolo espediente che troviamo essere utile è quello di ingrassare leggermente l'interno dell'imbuto della massa pendolare. Questo riduce notevolmente la difficoltà della rimozione del pallino dopo ogni colpo.

Uno dei grandi vantaggi di utilizzare un pendolo balistico è che se si è interessati alla misura di energia del pallino, piuttosto che alla sua velocità, si può leggere il valore di questa energia

direttamente su una scala calibrata in piedi per libbre.

Ci è stato chiesto spesso dagli appassionati di armi ad aria compressa dotati di mentalità matematica, di esporre la teoria che sta alla base del pendolo balistico, così lo abbiamo fatto, a beneficio di coloro che possano esserne interessati.

Iniziando con i simboli che verranno utilizzati nei calcoli, abbiamo:

g = accelerazione di gravità Ft./sec./sec. (Ft/sec^2)

V = Velocità del pallino Ft./sec.

w = Peso del pallino. Lbs

W = Peso del pendolo. Lbs.

h = Altezza dell'oscillazione. Ft.

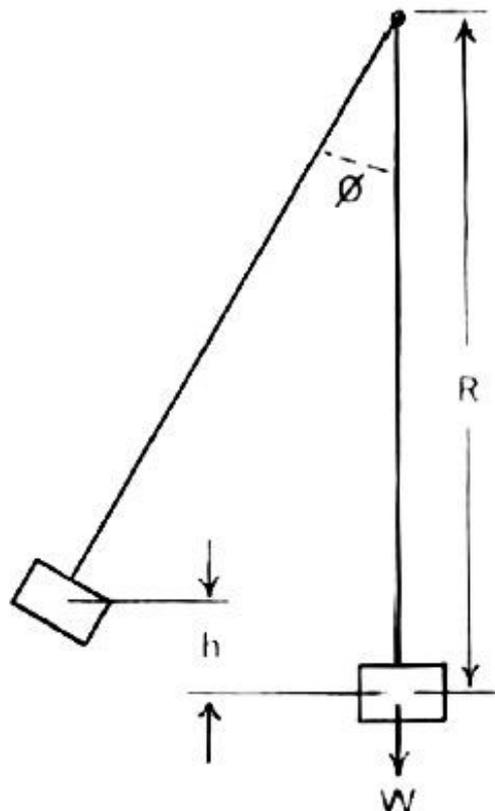
R = Raggio di rotazione dal centro di rotazione del pendolo fino al baricentro della massa pendolare. Ft.

\emptyset = Angolo di rotazione dell'oscillazione.

m = massa del pallino.

M = Massa del pendolo.

U = Velocità del pendolo.



Ora, un pallino quando è in volo attraverso l'aria contiene una quantità di moto data dalla sua massa moltiplicata per la sua velocità.

Così, la quantità di moto del pallino è $= m V$

Se il pallino viene sparato nel pendolo, per la legge di conservazione della quantità di moto:

$$m \cdot V = (m + M) \cdot U$$

Poiché la gravità è costante, quanto sopra può essere riscritto in termini di peso:

$$w \cdot V = (w + W) \cdot U \quad \text{oppure} \quad U = \frac{w \cdot V}{(w + W)} \quad \dots\dots\dots(1)$$

Ora l'energia combinata delle parti in movimento, ovvero il pallino più il pendolo, è data da:

$$E = \frac{1}{2} (M + m) U^2$$

oppure:

$$E = \frac{(w + W) U^2}{2g}$$

Così, sostituendo U dall'equazione (1)

$$E = \frac{(w + W)}{2g} \frac{(w V)^2}{(w + W)^2}$$

oppure:

$$E = \frac{w^2 V^2}{2g (w + W)} \quad \dots\dots\dots(2)$$

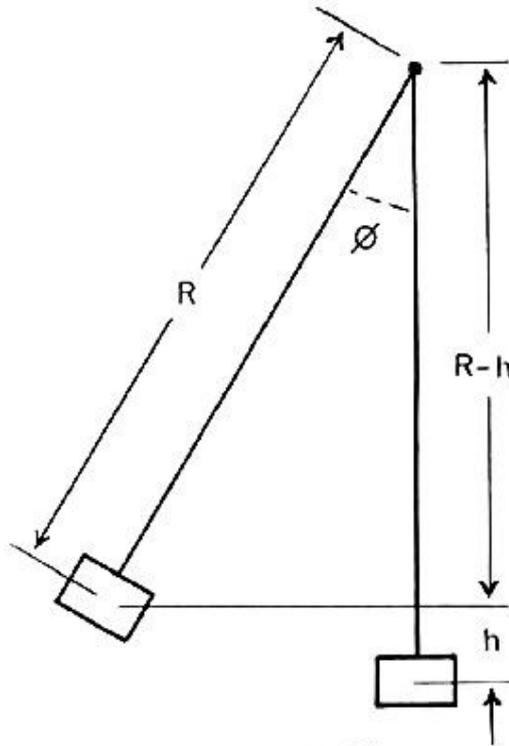
Ora, dal momento che il pendolo oscilla fino a un'altezza h, contiene l'energia potenziale di:

$$E = (w + W) h \quad \dots\dots\dots(3)$$

Ora abbiamo due equazioni per l'energia contenuta nel pendolo poiché le equazioni (1) e (2) riguardano entrambe la stessa energia.

Così:

$$E = \frac{w^2 V^2}{2g (w + W)} = (W + w) h \quad \dots\dots\dots(4)$$



Le equazioni di base possono ora essere completate, sostituendo i valori W e w che sono noti. Con una misura diretta si trova h e così il calcolo della V^2 è possibile e da questo si ricava velocità del pallino. Ma sarebbe impossibile misurare h con un buon grado di precisione, mentre la misurazione dell'angolo di oscillazione è molto più facile da ottenere per via pratica, e da questo può essere calcolato il valore di h :

$$\text{Cos } \emptyset = \frac{R - h}{R}$$

allora:

$$h = R - R \cdot \text{Cos } \emptyset$$

oppure:

$$h = R (1 - \text{Cos } \emptyset)$$

da cui sostituendo h nell'equazione (4):

$$E = \frac{w^2 V^2}{2g (w + W)} = (W + w) R (1 - \text{cos } \emptyset)$$

oppure:

$$V^2 = \frac{(W + w) (W + w) 2 g R (1 - \text{cos } \emptyset)}{w^2}$$

da cui:

$$V = \sqrt{\frac{2 g R (W + w)^2 \cdot (1 - \cos \emptyset)}{W^2}} \dots\dots\dots(5)$$

Questo è solo un valore puramente teorico, dato che non siamo stati in grado tenere conto di eventuali perdite, come ad esempio:

- (1) Calore all'impatto del pallino
- (2) Il suono all'impatto del pallino.
- (3) Deformazione di pallino e pendolo.
- (4) La rotazione del pendolo attraverso \emptyset .
- (5) Attrito.

Ora, se con delle prove pratiche, utilizzando un cronografo per misurare l'effettiva velocità reale del pallino sparato dall'arma, e poi misurando l'angolo \emptyset con il quale ruota il nostro pendolo, mosso dallo stesso pallino, queste perdite potrebbero essere compensate, in modo da ottenere una formula esatta. Dal momento che g , R , w , W , sono tutte le costanti per dato pendolo, possiamo unire l'espressione che le contiene e chiamarla K .

Così dalla (5)

$$V = \sqrt{\frac{2 g R (W + w)^2}{W^2}} \cdot \sqrt{1 - \cos \emptyset}$$

$$V = K \cdot \sqrt{1 - \cos \emptyset} \dots\dots\dots(6)$$

Un fatto molto importante che deve essere osservato è che K è esattamente la velocità necessaria a produrre un'oscillazione del pendolo di 90° , quando $\cos \emptyset = 0$, ovvero quando $\emptyset = 90^\circ$.

La determinazione di K è di grande importanza, quando vengono preparati o un nuovo pendolo o una nuova scala per soddisfare qualche particolare arma o pallino. Determinando il K diventa relativamente semplice determinare la scala da dare al pendolo.

Così, se conosciamo la velocità del proiettile, ad esempio 500 piedi al secondo, che viene sparato contro un pendolo, e misuriamo che produce un'oscillazione di 50° , dall'equazione (6) abbiamo:

$$K = \frac{V}{\sqrt{1 - \cos \emptyset}}$$

$$= \frac{500}{\sqrt{1 - \cos \emptyset}}$$

$$K = \frac{500}{\sqrt{1 - 0.6428}}$$

$$K = 836.6$$

Così, con quel particolare peso del pendolo, un colpo sparato a 836.6 piedi al secondo, produrrebbe un'oscillazione di 90°. E alla stessa maniera è possibile ricavare un qualsiasi altro angolo per una determinata velocità del pallino, applicando l'equazione (6):

$$\cos \emptyset = 1 - \left(\frac{V}{K}\right)^2$$

Così, ad esempio, un pallino che viaggia ad una velocità di 400 piedi al secondo, produrrebbe un'oscillazione di:

$$\cos \emptyset = 1 - \left(\frac{400}{836.53}\right)^2$$

$$\cos \emptyset = 0.52186$$

$$\emptyset = 58.5^\circ$$

NOTA: Ho lasciato esattamente il calcolo così come l'ho trovato sul libro, ma ovviamente questo risultato è sbagliato. Se una velocità di 500 fps produce un angolo di oscillazione del pendolo di 50 gradi, come è possibile che una velocità inferiore, 400 fps, produca un angolo di 58.5 gradi, ovvero maggiore del precedente? Si tratta di un semplice errore di calcolo: $\cos \emptyset = 0.7714$ da cui, $\emptyset = 39.5^\circ$

Siamo arrivati a due distinte equazioni (5) e (6) attraverso le quali sarà possibile risolvere i nostri problemi; la differenza tra le due è che la seconda è basata su un coefficiente ottenuto incorporando diversi fattori della prima equazione, che non erano perfettamente conosciuti. Anche se i valori W e R indicati nell'equazione (5) sono valori definiti, in termini pratici non è facile misurarli, dal momento che, nel caso di W, è solo il peso della massa pendolare effettiva che deve essere considerato, ma questa deve avere un qualunque tipo di sospensione, che a sua volta avrà un peso. Nel caso di R non è facile individuare una posizione precisa per il baricentro della massa pendolare e qualsiasi errore lieve di questo valore avrà effetto sulla calibrazione finale.

A nostro avviso l'equazione teorica ha valore solo per le fasi iniziali della costruzione pratica del pendolo, ma successivamente, deve essere utilizzata la seconda equazione. E per fare questo occorre avere disponibilità di qualche altro sistema per determinare la velocità del primo tiro in modo da poter ricavare la costante K.

Tratto e tradotto dal libro “The Air Gun from Trigger to Muzzle” scritto da G.V. Cardew, G.M. Cardew e E.R. Elsom

Per comodità riporto qui i principali fattori di conversione tra le unità imperiali, usate nel libro e le metrico-decimali.

Principali fattori di conversione:

1 inch (pollice) = 25.4 mm
1 ft (piede) = 0.3048 m (metro) = 30.48 cm
1 yd (yarda) = 0.91 m = 91 cm
1 m = 39.37 in = 3.2808 ft = 1.0936 yd
1 gr (grano) = 0.06479 g (grammo)
1 g = 15.4324 gr
1 dr (drama) = 1.771 g
1 oz (oncia) = 28.34 g
1 lb (libbra) = 16 oz = 453.59 g = 0.45359 Kg = 4.45 N (detta anche pound)
1 Kg = 2.2046 lb (libbre o pounds)
1 psi (libbra per pollice quadrato) = 0.068 atm (atmosfera) = 0.069 bar
1 bar = 1 daN/cm² = 0.987 atm = 1.02 Kg/cm²
1 atm = 14.22 psi
1 ft.lb (piede per libbra) = 0.1383 Kgm (chilogrammetro)
1 Kgm = 7.24 ft.lb = 9.81 J (joule)
1 J = 0.7376 ft.lb
1 ft.lb = 1.3558 J
1 f.p.s. (piede al secondo) = 0.3048 m/s (metro al secondo)
1 m/s = 3.2808 f.p.s.

Il libro dei Cardew finisce qui. Spero che abbiate apprezzato il lavoro di traduzione di questo piccolo volume sulle armi ad aria compressa funzionanti a molla. Si tratta di un lavoro un po' datato, ma sicuramente ancora molto valido ed interessante. Io l'ho trovato utilissimo per capire le dinamiche coinvolte in questo genere di armi. Il libro contiene formule e grafici, che potrebbero non essere molto graditi a tutti coloro che non hanno una formazione tecnica. Le formule matematiche sono un linguaggio universale. Anche non comprendendo la lingua inglese, chi conosce un minimo di fisica e matematica può riuscire a capire a grandi linee il contenuto di un libro di questo genere. Il mio consiglio è comunque quello di sforzarsi a leggere perlomeno la parte più descrittiva; d'altro canto la traduzione serve proprio a questo. Mi scuso di non aver pubblicato le fotografie contenute nel libro, ma pur essendo un vecchio volume, probabilmente ormai fuori stampa, ho preferito non sfidare troppo le leggi sul copyright. Anche disegni grafici e formule sono stati ridisegnati, per evitare di utilizzare gli originali, e nel contempo per migliorarne la leggibilità. Non essendo un esperto di lingua inglese, ho realizzato questa traduzione facendo largo uso delle risorse messe a disposizione dal web. Ho preso il volume in questione, l'ho scansionato pagina per pagina, e quindi ho passato le scansioni attraverso un programma di riconoscimento dei caratteri. Una volta ottenuto il testo in inglese, l'ho dato in pasto alla grande rete, la quale mi ha restituito un documento in perfetto, quanto incomprensibile, italiangugolese. A quel punto ho cercato di riscriverlo tutto in un italiano che fosse perlomeno comprensibile. E' stato un lavoro lungo, a volte noioso, e di sicuro molte frasi fanno ancora acqua quanto a correttezza grammaticale. Me ne scuso, ma credo che il risultato possa ritenersi perlomeno decente.

Alessandro (2010)