

NOTE DI BALISTICA ESTERNA DELL'ARCO

La traiettoria della freccia, da quando lascia l'arco fino all'impatto sul bersaglio

di Mario e Riccardo Ostidich

(Testo pubblicato sulla rivista ARCIERI nel dicembre 1992 e aggiornato nel 2008)

Nella sezione dedicata alla **balistica interna** (www.outlab.it/works/interna.pdf), sono state presentati concetti e algoritmi sufficienti per valutare gli elementi che determinano la velocità e la direzione della freccia nel momento in cui esce dall'arco.

In questa sezione, dedicata alla **balistica esterna**, viene invece affrontato il problema del calcolo della traiettoria. Gli esempi che concludono l'esposizione teorica, sono stati scelti al fine di dare risposta ad alcune delle domande più insidiose che gli allievi pongono ai propri istruttori.

Per quanto riguarda l'esposizione dei concetti si è tenuto conto di quanto ha scritto G. A. Pignone nei suoi "Appunti di Balistica", pubblicati nel 1987, e dei criteri indicati dal "Manuale dell'Ingegnere" edito dalla Hoepli. Questi testi, rappresentativi di quella che nel calcolo balistico costituisce la *scuola italiana*, usano esprimere la densità atmosferica come rapporto tra peso specifico dell'aria e accelerazione di gravità, secondo un criterio che ha sicuramente una giustificazione, ma complica le formule e le unità di misura. Nel testo che segue è stato quindi preferito esprimere la densità in chilogrammi massa per metro cubo, come abitualmente avviene in fisica tecnica, nel rispetto delle direttive del Sistema Internazionale. Ciò ha permesso di dare agli algoritmi una forma semplice, in grado di rispettare la coerenza dei calcoli. Per la stessa ragione, i coefficienti aerodinamici qui accreditati, possono apparire in disaccordo con quelli di altri testi, dove sono espressi con unità di misura differenti.

CALCOLO DELLA TRAIETTORIA NEL VUOTO

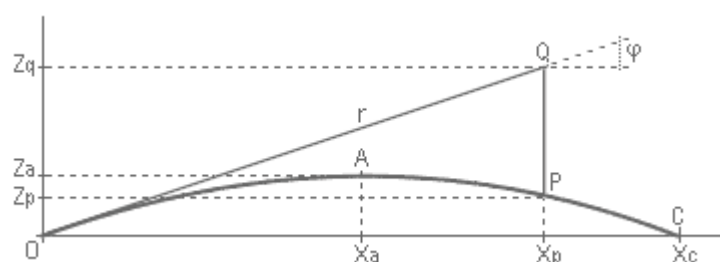


Fig.1 - Relazioni matematiche riferite alla traiettoria nel vuoto

La **traiettoria** di un qualunque proiettile – e quindi anche quella di una freccia – è determinata dall'angolo di tiro, dalla velocità iniziale, dalla resistenza dell'aria, dalla forza di gravità. Come si può vedere nella Fig.1, se si considera nulla la resistenza dell'aria, l'insieme dei punti $P=(X_p, Z_p)$ di una traiettoria, può essere descritto, nella sua forma più semplice, come risultato di due movimenti, uno **QQ** a velocità costante lungo la linea di tiro e l'altro **QP** uniformemente accelerato verso il basso, secondo la legge di caduta dei gravi. Quindi, trascorso un tempo t vale:

$$(1a) X_p = \cos \varphi \cdot V \cdot t$$

$$(1b) Z_p = \sin \varphi \cdot V \cdot t - \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

Risolviendo il sistema delle equazioni (1a, 1b) si ottiene l'equazione canonica della traiettoria nel vuoto, corrispondente ad una parabola ad asse verticale:

$$(2a) Z_p = \tan \varphi \cdot X_p - (g \cdot X_p^2) / (2 \cdot \cos^2 \varphi \cdot V^2)$$

Convertendo il coseno in tangente, vale anche:

$$(2b) Z_p = \tan \varphi \cdot X_p - (1 + \tan^2 \varphi) \cdot g \cdot X_p^2 / 2 \cdot V^2$$

Secondo la terminologia utilizzata in balistica, gli elementi introdotti nelle formule e nella figura precedenti hanno le seguenti denominazioni:

- Z_p = ordinata o altezza o quota del punto P della traiettoria (m)
- X_p = ascissa o distanza in piano del punto P della traiettoria (m)
- Z_a = altezza del vertice della traiettoria (m)
- X_a = ascissa o distanza in piano del vertice (m)
- X_c = gittata (m)
- φ = angolo di tiro o inclinazione iniziale (°)
- V = velocità iniziale (m/s)
- V_p = velocità nel punto P (m/s)
- g = accelerazione di gravità (9,81m/s²)
- t = durata o tempo trascorso (s)
- C = punto di caduta
- A = vertice della traiettoria
- r = linea di tiro

Facendo riferimento all'assetto descritto in Fig.2 e analizzato nella sezione *Balistica Interna*, l'**angolo di tiro** coincide con l'asse assunto dalla freccia nel momento in cui viene scoccata. Ovviamente, questo vale nella misura in cui possono essere trascurate le perturbazioni subite dalla freccia mentre esce dall'arco.

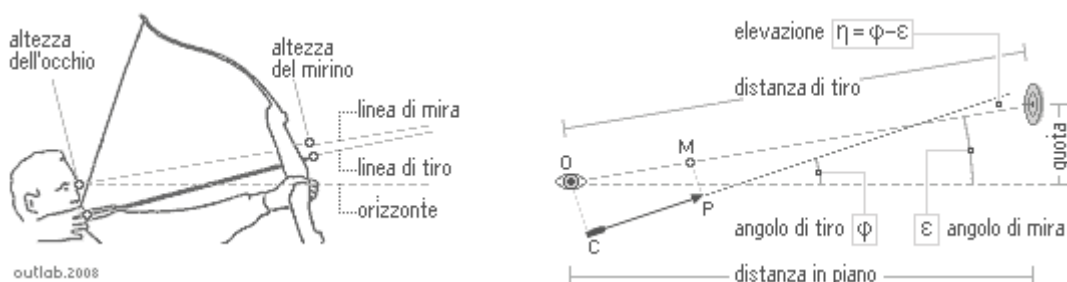


Fig.2 - Schema dell'assetto di mira

La **gittata** può essere calcolata dalla (2a) ponendo $Z_p=0$ e ricavando

$$(3) X_c = \sin(2\varphi) \cdot V^2 / g$$

Il valore massimo della gittata, a parità di velocità iniziale, corrisponde ad un angolo di tiro $\varphi=45^\circ$ ed è uguale a:

$$(4) X_{\max} = V^2 / g$$

Poiché la traiettoria semplice è simmetrica, il suo **vertice** si trova nel punto mediano. L'**altezza** in corrispondenza del vertice è quindi calcolabile ponendo nella (2a) un valore di X_p uguale alla metà della gittata calcolata con la (3), cioè:

$$(5) \quad X_a = X_c / 2 = \text{sen}(2\varphi) \cdot V^2 / 2g$$

$$(6) \quad Z_a = \text{sen}^2\varphi \cdot V^2 / 2g = X_c \cdot \tan\varphi / 4$$

A parità di velocità iniziale, l'altezza del vertice risulta ovviamente massima per $\varphi=90^\circ$, con un valore uguale alla metà della gittata massima.

$$(7) \quad Z_{\max} = V^2 / 2g$$

L'**inclinazione della traiettoria** nel punto **P** è determinabile calcolando la derivata dell'equazione (2a):

$$(8) \quad dZ/dX = \tan \omega_p = \tan \varphi - g \cdot X / (\cos^2 \varphi \cdot V^2)$$

dove:

ω_p = inclinazione della traiettoria nel punto P (°)

φ = angolo di tiro o inclinazione iniziale (°)

V = velocità iniziale (m/s²)

X = distanza in piano del punto P (m)

Nell'ipotesi di assenza della resistenza dell'aria, l'**energia cinetica** iniziale W_f non viene dispersa. Ne consegue che la velocità diminuisce fino al vertice della traiettoria e poi aumenta nuovamente, acquisendo e successivamente perdendo **energia potenziale** commisurata alla **quota** raggiunta rispetto al piano d'origine. Tutto questo viene espresso dalla formula:

$$(9) \quad W_f = m_f \cdot V^2 / 2 = m_f \cdot g \cdot Z_p + m_f \cdot V_p^2 / 2$$

dove:

W_f = energia cinetica della freccia (J)

m_f = massa della freccia (kg)

V = velocità iniziale (m/s)

V_p = velocità nel punto P (m/s)

Z_p = altezza della traiettoria nel punto P (m)

Dalla (9) si può quindi ricavare la seguente relazione che consente di calcolare la velocità nel punto **P** in funzione della altezza:

$$(10) \quad V_p = (V^2 - 2g \cdot Z_p)^{1/2}$$

Fino qui sono esposte argomentazioni rintracciabili in qualunque testo di fisica delle scuole superiori, un poco più complicato è invece il calcolo di una traiettoria reale

CALCOLO DELLA TRAIETTORIA REALE

La determinazione di una traiettoria reale che tenga conto della resistenza dell'aria, è fattibile con un calcolo iterativo che consideri la traiettoria come una successione di elementi minimi, per ciascuno dei quali sia possibile ricalcolare la distanza, l'altezza, l'inclinazione e la velocità finali. Il calcolo risulta facilitato se la sequenza dei punti è determinata da incrementi di tempo costanti t_e . Passando dal punto **P** a quello successivo gli elementi della traiettoria possono allora essere così ricalcolati:

Tempo totale

$$(11) \quad t_{p+1} = t_p + t_e$$

Ascissa o distanza in piano

$$(12) \quad X_{p+1} = X_p + \cos \omega_p \cdot V_p \cdot t_e$$

Altezza o quota

$$(13) Z_{p+1} = Z_p + \text{sen } \omega_p \cdot V_p \cdot t_e - g \cdot t_e^2 / 2$$

Inclinazione

$$(14) \omega_{p+1} = \arctan[\tan \omega_p - g \cdot (X_{p+1} - X_p) / (\cos^2 \omega_p \cdot V_p^2)]$$

Velocità

$$(15) V_{p+1} = [(V_p^2 - 2g \cdot (Z_{p+1} - Z_p)) - \sigma_p \cdot t_e]^{1/2}$$

dove σ è la decelerazione (o **ritardazione** come si dice in balistica) causata dalla resistenza dell'aria.

Per valutare la **resistenza R** opposta dall'aria, la formula usata nella meccanica dei fluidi è in genere la seguente:

$$(16) R = \frac{1}{2} C_r \cdot \rho \cdot S \cdot V^2$$

dove:

R = resistenza (N)

S = sezione del corpo rispetto al movimento (m²)

V = velocità (m/s)

C_r = coefficiente di forma (adimensionale)

ρ = densità del fluido attraversato (kg/m³)

E' da notare che il **coefficiente di forma C_r** varia esso stesso in funzione della velocità, ma può essere considerato costante per variazioni di velocità che non comportano significativi cambiamenti nei regimi di turbolenza del fluido attraversato. Oggi sono disponibili numerosi modelli di simulazione che consentono di calcolare con approssimazione il valore di **C_r**, ma le variabili in gioco sono così complesse da rendere necessaria una verifica sperimentale. E' per questa ragione che si fa grande uso delle gallerie del vento. Nel caso delle frecce può essere sufficiente rilevare – in condizioni standard – la gittata di una freccia di cui si conosce la velocità iniziale e l'angolo di tiro e poi trovare quale valore **C_r** ne avrebbe permesso il calcolo. Operando in questo modo si possono trovare valori simili a questi, qui sotto indicati, da utilizzare nella formula (16) trascurando l'ingombro delle penne nella valutazione della sezione **S**:

- C_r = 1,6 per impennaggi con alette di plastica
- C_r = 1,9 per impennaggi con penne naturali.

Essendo **R** e σ ovviamente correlati dalla massa **m_f** (kg) della freccia secondo la relazione $R = m_f \cdot \sigma$, per un regime uniforme di velocità, la ritardazione σ (m/s²) è così esprimibile:

$$(17) \sigma = \frac{1}{2} C_r \cdot \rho \cdot S \cdot V^2 / m_f$$

ciò significa che a parità di altre condizioni la ritardazione diminuisce con l'aumentare della massa della freccia e aumenta con l'aumentare della sua sezione.

Abitualmente si usa riassumere le caratteristiche che determinano le capacità penetranti del proiettile in un unico parametro **CB** detto **coefficiente balistico** (kg/m²), tale che:

$$(18) CB = m_f / (C_r \cdot S)$$

Di conseguenza la (17) può assumere la forma:

$$(19) \sigma = \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 / CB$$

dalla quale risulta chiaramente che un proiettile con un maggiore coefficiente balistico fornisce una minore resistenza all'aria e quindi, a parità di altre condizioni, percorre una traiettoria più lunga.

LA TRAIETTORIA DI UNA FRECCIA

Il calcolo relativo alla traiettoria delle frecce é facilitato dal fatto che la loro velocità non supera i 100 metri al secondo ed é quindi abbondantemente al di sotto delle velocità transoniche e supersoniche che complicano i calcoli di balistica delle armi da fuoco. In queste condizioni il coefficiente di forma **Cr** può essere considerato costante. Se nella formula (18), applicata alle frecce, mettiamo i valori **Cr** proposti nel capitolo precedente, il valore di **S** può essere limitato alla sezione dell'asta, mentre **m_f** è la massa totale della freccia.

Per calcolare con la (19) la ritardazione **σ** relativa alla velocità **V** espressa in m/s, occorre tener conto del valore standard della massa specifica **ρ** dell'aria che a livello del mare è convenzionalmente fissato a 1,225 kg/m³. Il valore di **ρ** rapportato a specifiche condizioni di temperatura **τ** (°C), **pressione atmosferica P_A** (millibar) e quota **Q** (m), può essere ricavato dalle apposite tabelle, oppure calcolato con la seguente formula approssimata:

$$(20) \rho = 0,35 (P_A - (Q/10)) / (\tau + 273)$$

Facendo qualche conto si rileva che, a parità d'altre condizioni, un aumento di pressione da 980 a 1050 millibar comporta un incremento di **ρ** dell'ordine del 7%, mentre un aumento di temperatura da 0 ° a 25 °, così come una variazione di quota da 0 a 1000 metri, generano una diminuzione di circa il 9%.

E' opportuno notare che la formula (20) non considera il **tasso di umidità** perché la sua influenza sul valore della massa specifica dell'aria è sufficientemente trascurabile. Comunque, il vapore d'acqua ha densità inferiore alla miscela di azoto e ossigeno dell'aria e quindi, un tasso elevato di umidità – purché sia inferiore alle condizioni di nebbia – avrebbe tutt'al più effetti benefici sulla traiettoria.

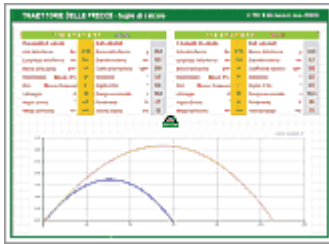
Proviamo ora ad utilizzare queste indicazioni per eseguire alcuni calcoli pratici.

ESEMPI DI CALCOLO

Supponiamo di scegliere una freccia costituita da componenti le cui caratteristiche sono qui di seguito elencate:

- asta in alluminio X7, formato 2114, lunghezza 30" (762 mm) 19,0 g ; ø 8,3 mm
- punta NIBB 9% da 98 gr 6,4 g
- cocca 5/16 0,7 g
- 3 penne naturali da 5" 0,7 g

Questa freccia avrebbe una massa **m_f** di 26,8 g, una sezione **S** dell'asta di 54,6 mm² e quindi un coefficiente balistico **CB** di 258 kg/m² in condizioni atmosferiche standard. Le tabelle Easton suggeriscono che una freccia come questa é adatta per archi ricurvi da 45# oppure per compound da 55# (con carrucole eccentriche e attenuazione del carico 50%). In base a quanto é stato detto nella sezione **Balistica Interna**, la velocità **V** iniziale potrebbe ragionevolmente essere di circa 50 m/s con l'arco ricurvo, e di 65 m/s con il compound.



modello in: www.outlab.it/doc/outlab_1.xls (Excel 150KB)

Un foglio EXCEL come quello qui proposto può essere utile per rendere più sicuro e rapido il laborioso calcolo numerico iterativo, necessario per determinare la traiettoria reale. Le figure seguenti propongono qualche interessante caso pratico.

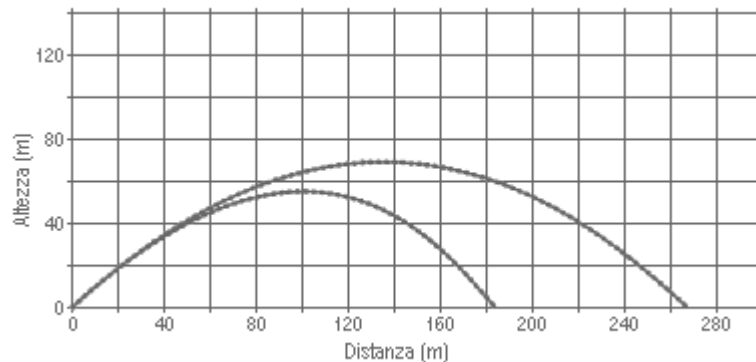


Fig.3 - Confronto tra la traiettoria teorica nel vuoto e quella reale

Le due traiettorie della Fig.3, teorica e reale, calcolate nell'ipotesi di un freccia con velocità iniziale di 50 m/s e angolo di tiro di 45°, mostrano differenze sostanziali:

- circa 15 cm d'altezza alla ordinata di 20 m
- circa 80 cm d'altezza alla ordinata di 40 m
- quasi 80 m nella gittata.

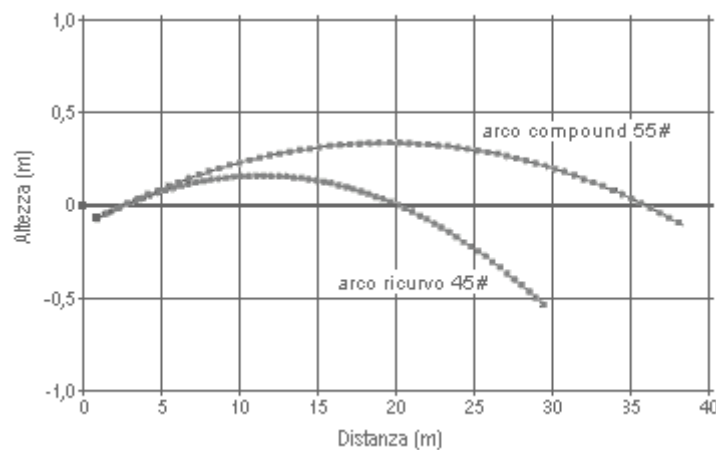


Fig.4 - Confronto tra arco ricurvo e compound

Le traiettorie reali della Fig.4, sono state calcolate per i due tipi di arco più usati nelle competizioni di campagna – un ricurvo da 45# e un compound da 55# – ipotizzando il medesimo assetto di mira:

- altezza dell'occhio $H_c = 110 \text{ mm}$
- altezza del mirino $H_m = 77 \text{ mm}$
- elevazione $\eta = 2,5^\circ$

La curvatura delle due traiettorie risulta esasperata dalla differenza di scala tra ascisse e ordinate, differenza volutamente adottata per meglio evidenziare quanto il compound sia in grado di realizzare una traiettoria più tesa di quella ottenibile con un arco ricurvo. Il fatto che nella Fig.4 le curve abbiano inizio oltre il punto origine del diagramma e sotto la linea dell'orizzonte, è dovuto alla convenzione di considerare l'occhio dell'arciere come punto d'origine del diagramma, mentre la traiettoria è tracciata dalla punta della freccia.

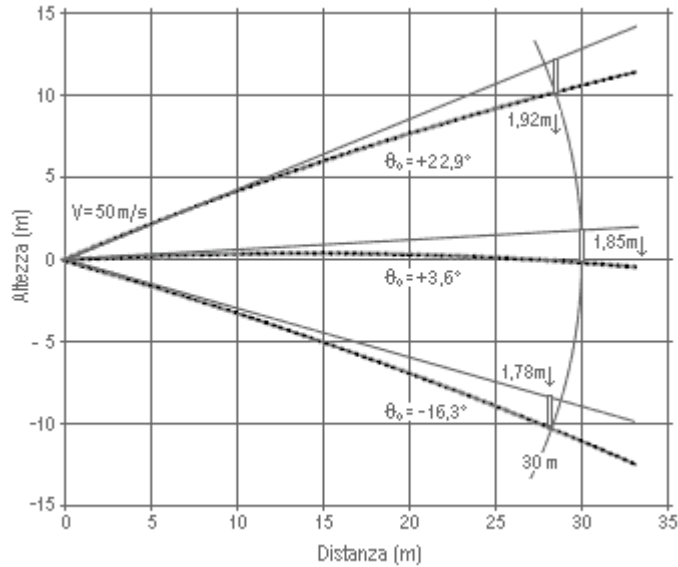


Fig.5 - Confronto tra traiettorie verso l'alto e verso il basso

La Fig.5, come ultimo esercitazione di calcolo, propone la traiettoria di un tiro in piano a 30 metri, eseguito con un arco ricurvo da 45#, confrontata con quelle necessarie per raggiungere due bersagli alla medesima **distanza di tiro**, ma posti alla quota di 10 metri sopra e sotto l'orizzonte. Nel diagramma sono evidenziati anche gli scostamenti tra le traiettorie e le linee di tiro. Viene così messo in evidenza come la "caduta", rispetto alla linea di tiro, accorci l'avanzamento della freccia nei tiri in alto, mentre la aumenta nei tiri verso il basso.

L'incremento della caduta in funzione dell'angolo di tiro può portare a conclusioni che diventano più complesse se si tiene conto anche degli angoli di riferimento per il tiro mirato. Infatti, ciò che l'arciere percepisce sul proprio mirino, non è la misura della caduta, ma la prospettiva di questa, espressa dalla differenza tra l'angolo di tiro e l'angolo di mira, al quale è posto il bersaglio. Questa differenza è chiamata **elevazione**. Contrariamente alle attese, l'elevazione è massima per i tiri in piano e diminuisce con l'inclinazione del tiro, indipendentemente dal fatto che sia in salita o in discesa.

distanza di tiro	30,0 m	30,0 m	30,0 m
quota	- 10,0 m	0,0 m	+ 10,0 m
distanza in piano	28,2 m	30,0 m	28,2 m
angolo di tiro	- 16,3 °	+3,6 °	+22,9 °
angolo di mira	- 19,5 °	0 °	+19,5 °
elevazione	3,2 °	3,6 °	3,4 °

Per capire questa apparente stranezza basta osservare che nelle condizioni di tiro prossime alla verticalità, l'innalzamento di mira debba ovviamente essere del tutto azzerato, perché non serve per cogliere un bersaglio esattamente sopra la nostra testa o sotto i nostri piedi.

Quindi, l'opinione che nei tiri indirizzati a bersagli sopraelevati si debba mirare più in alto, non trova riscontro nella dinamica della traiettoria, ma deve essere cercata nella difficoltà che l'arciere incontra nel mantenere un corretto assetto di tiro in condizioni diverse da quelle abituali.

ROTAZIONE DELLA FRECCIA

Per concludere parliamo degli **impennaggi inclinati** che dovrebbero imprimere alla freccia una rotazione stabilizzante, così come la rigatura elicoidale della canna delle armi da fuoco stabilizza la traiettoria del proiettile.



Fig.6 – Inclinazione delle alette e senso di rotazione della freccia

Per dare un giudizio sull'utilità di questa soluzione è opportuno valutare quale sia la velocità di rotazione che si ottiene e quanta sia l'energia dispersa a scapito della velocità della freccia.

Conoscendo l'inclinazione dell'aletta rispetto all'asse dell'asta, si può calcolare il tratto percorso dalla freccia in una rotazione:

$$(21) \quad X_r = \pi \cdot \varnothing_e / \tan \lambda$$

e di conseguenza la **frequenza** della rotazione:

$$(22) \quad n = V / X_r = V \cdot \tan \lambda / (\pi \cdot \varnothing_e)$$

dove:

- λ = angolo d'inclinazione delle penne (°)
- \varnothing_e = diametro esterno dell'asta (m)
- V = velocità della freccia (m/s)
- X_r = percorso della freccia in una rotazione (m)
- n = numero di giri al secondo (s^{-1})

Per semplificare i calcoli, si può ipotizzare che la massa della freccia m_f (kg) agisca sull'asse di rotazione con un braccio prossimo al raggio esterno dell'asta. In tal caso, la **velocità periferica** V_r (m/s) e l'**energia cinetica di rotazione** W_r (J) sono:

$$(23) \quad V_r = \pi \cdot \varnothing_e \cdot n = V \cdot \tan \lambda$$

$$(24) \quad W_r = \sim \frac{1}{2} m \cdot V_r^2 = \frac{1}{2} m \cdot V^2 \cdot \tan^2 \lambda$$

Queste formule consentono anche di calcolare quale sia la quota di energia cinetica della freccia W_f (J) che viene dispersa dalla sua rotazione:

$$(25) \quad W_f = \frac{1}{2} m \cdot V^2$$

$$(26) \quad W_r / W_f = \sim \tan^2 \lambda$$

Per fare un esempio di calcolo ipotizziamo questi parametri di riferimento:

- $\lambda = 2^\circ$
- $\varnothing_e = 8 \text{ mm}$
- $V = 60 \text{ m/s}$

In tal caso i calcoli darebbero questi valori indicativi:

X_r	= percorso della freccia in una rotazione	= $\sim 0,7 \text{ m}$
n	= numero di giri al secondo	= $\sim 85 \text{ s}^{-1}$
W_r / W_f	= percentuale di energia assorbita	= $\sim 0,1 \%$

Tenendo conto che i proiettili delle armi da fuoco ruotano migliaia di volte al secondo, si può sostenere che le penne inclinate siano sicuramente utili per le frecce con punte da caccia che tendono a planare, ma debolmente efficaci agli effetti di una stabilizzazione giroscopica. Per contro, il consumo d'energia determinato dalla rotazione è molto limitato.



APPROFONDIMENTI

ANCORA SULLA QUESTIONE DEI TIRI "IN SALITA" E "TIRI IN DISCESA"

Un ulteriore riscontro alla questione della mira nei tiri inclinati, può essere ottenuto anche con le formule semplici usate per calcolare la traiettoria nel vuoto.

Se **X** e **Z** sono la distanza in piano e la quota del bersaglio si può ricavare il corrispondente angolo di tiro risolvendo per φ la formula (2b) :

$$\varphi = \arctan[V^2 \pm (V^4 - g^2 \cdot X^2 - 2 \cdot g \cdot V^2 \cdot Z)^{1/2}] / (g \cdot X)$$

Tenendo conto che:

$$D_t = (Z^2 + X^2)^{1/2} \quad \text{è la distanza di tiro}$$
$$\varepsilon = \arcsen(Z / D_t) \quad \text{è l'angolo di mira}$$

si può calcolare anche l'elevazione, intesa come differenza tra angolo di tiro e angolo di mira:

$$\eta = \varphi - \varepsilon = \arctan[V^2 - (V^4 - g^2 \cdot (D_t^2 - Z^2) - 2 \cdot g \cdot V^2 \cdot Z)^{1/2}] / [g \cdot (D_t^2 - Z^2)^{1/2} - \arcsen(Z / D_t)]$$

Con l'approssimazione dovuta ad algoritmi utili per traiettorie nel vuoto, è possibile definire una tabella di tiro come quella qui riprodotta, applicabile a frecce scagliate alla velocità di 50 m/s.

distanza di tiro	quota del bersaglio	distanza in piano	angolo di mira	angolo di tiro	elevazione
10,0 m	-10,0 m	0,0 m	-90,0 °	-90,0 °	0,0 °
10,0 m	- 5,0 m	8,7 m	-30,0 °	-29,0 °	+1,0 °
10,0 m	0,0 m	10,0 m	0,0 °	+1,1 °	+1,1 °
10,0 m	+5,0 m	8,7 m	+30,0 °	+29,0 °	+1,0 °
10,0 m	+10,0 m	0,0 m	+90,0 °	+90,0 °	0,0 °
20,0 m	-10,0 m	17,3 m	-30,0 °	-28,1 °	+1,9 °
20,0 m	- 5,0 m	19,4 m	-14,5 °	-12,3 °	+2,2 °
20,0 m	0,0 m	20,0 m	0,0 °	+2,3 °	+2,3 °
20,0 m	+5,0 m	19,4 m	+14,5 °	+16,7 °	+2,2 °
20,0 m	+10,0 m	17,3 m	+30,0 °	+32,0 °	+2,0 °
30,0 m	-10,0 m	28,3 m	-19,5 °	-16,3 °	+3,1 °
30,0 m	- 5,0 m	29,6 m	- 9,6 °	-6,3 °	+3,3 °
30,0 m	0,0 m	30,0 m	0,0 °	+3,4 °	+3,4 °
30,0 m	+5,0 m	29,6 m	+9,6 °	+13,0 °	+3,4 °
30,0 m	+10,0 m	28,3 m	+19,5 °	+22,7 °	+3,3 °
40,0 m	-10,0 m	38,7 m	-14,5 °	-10,2 °	+4,3 °
40,0 m	- 5,0 m	39,7 m	- 7,2 °	- 2,7 °	+4,4 °
40,0 m	0,0 m	40,0 m	0,0 °	+4,5 °	+4,5 °
40,0 m	+5,0 m	39,7 m	+7,2 °	+11,7 °	+4,5 °
40,0 m	+10,0 m	38,7 m	+14,5 °	+18,9 °	+4,5 °

Questa tabella confermerebbe quindi che – a parità di distanza del bersaglio – i tiri verso l'alto, così come i tiri verso il basso, richiedono un'elevazione inferiore a quella che è necessaria per tirare in piano. Le differenze maggiori sono quelle rilevate per una distanza di tiro uguale a 20 metri. Per avere un'idea concreta di queste differenze è opportuno rilevare che 0,1° di elevazione comporta uno spostamento del mirino di circa 1,3 millimetri.

LA REGOLAZIONE DEL MIRINO

Il calcolo della traiettoria reale può essere utile anche per verificare la messa a punto di un mirino. Prendiamo il caso di un mirino da caccia con punti di mira multipli, ricordando che la sua regolazione è un risultato che è valido solo per quell'arco, per quelle frecce e per quell'arciere.

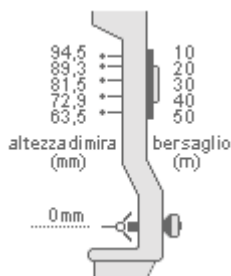


Fig.7 - Punti di mira multipli di un mirino da caccia

Supponendo d'avere a disposizione un arco compound da 55#, frecce 2114 da 30" con penne naturali e punte da 98 grani, e volerne tarare il mirino per tiri in piano, utilizzando un allungo netto di 717 mm e un ancoraggio al mento che comporta l'altezza dell'occhio di 110 millimetri, non è difficile calcolare quelle che dovrebbero

essere le altezze di mirino per colpire bersagli posti progressivamente a 10, 20, 30, 40, 50 metri. Il risultato dei calcoli di traiettoria reale è riportato nella Fig.7.

Ovviamente questi calcoli non possono sostituire un messa a punto fatta pazientemente sul campo, dopo numerosi tentativi, ma se il risultato ottenuto dal calcolo non è coerente con quello sperimentale è molto probabile che vi siano carenze nella messa a punto dell'attrezzatura, o nella perizia dell'arciere.

LE OSCILLAZIONI DELLA FRECCIA

L'imprecisione di tiro causata da errori nella messa a punto dell'attrezzatura ha soprattutto origine nel percorso sghembo della cocca durante lo sgancio e nella flessione della freccia durante l'accelerazione.

Per vedere esattamente quello che avviene nei 10~15 millisecondi in cui la freccia viene scoccata, occorre una cinepresa in grado di scattare qualche centinaio di fotogrammi nitidi al secondo. Questo strumento, ormai, è accessibile anche per il budget di spesa di una piccola organizzazione sportiva. Però è utile conoscere anche i sistemi, più artigianali, che possono essere usati in alternativa.

Il metodo maggiormente praticato è quello di tirare frecce impennate e non impennate, a distanze progressive, mirando sempre allo stesso punto. Osservando poi la disposizione delle frecce sul bersaglio, un archiere che abbia buona esperienza è in grado di valutare se la freccia è quella adatta e quali correzioni richiede il punto d'incocco.

Per chi non ha esperienza, ma sufficiente voglia di capire, va benissimo il metodo di scoccare la freccia attraverso un foglio di carta, ripetendo poi l'operazione a distanze progressive. Il risultato presentato nella Fig.8 è abbastanza standard per un arco ricurvo in mano ad un archiere destro: la freccia esce con la cocca un po' alta e a sinistra, si raddrizza, sbanda dalla parte opposta, e ripete l'oscillazione più volte, compiendo un ciclo completo su distanze dell'ordine di 20 metri, in modo progressivamente attenuato.

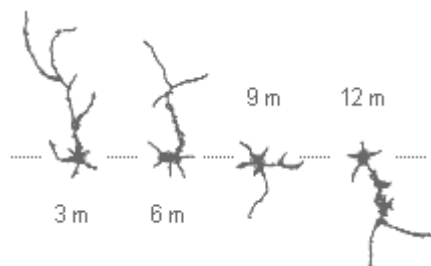


Fig.8 - Passaggio della freccia attraverso un foglio di carta

Questi movimenti sono più accentuati nelle attrezzature male assortite, fino a generare frizioni sul portafreccia e urti contro il fusto dell'arco. Per averne una conferma è utile mettere borotalco sulla finestra dell'arco ed esaminare le tracce lasciate dal passaggio della freccia. Ma la scelta della freccia appropriata – all'arco e all'arciere – è una questione tanto complicata da richiedere uno studio più approfondito di queste note introduttive.

