

## LA VELOCITÀ DI UN PROIETTILE DA SOFT AIR MEDIANTE IL PENDOLO BALISTICO

### Scopo dell'esperimento

Determinare la velocità di un proiettile sparato con un fucile da soft air mediante un pendolo balistico.

### Introduzione

È possibile stabilire la velocità di un proiettile attraverso un dispositivo chiamato pendolo balistico. Anche se oggi i periti si avvalgono di più moderni cronometri elettronici, ricorrere al vecchio metodo del pendolo balistico, come vedremo, permette di ottenere dati più che attendibili. Questo strumento, infatti, è stato l'unico ad essere impiegato fino a circa un secolo fa e ha contribuito a porre le basi della balistica moderna. Il pendolo balistico fu inventato nel 1742 e nella versione originale era formato da un grande blocco, in genere di legno, sospeso a due fili. Quando il proiettile di massa molto minore della massa del blocco, veniva sparato contro di esso, si incastrava al suo interno. A seguito dell'urto il sistema formato dal blocco e dal proiettile oscillava sollevandosi di una certa altezza; dalla misura di quest'ultima ( $h$ ) si poteva determinare la velocità del proiettile ( $v_0$ ), come mostrato nella seguente figura.

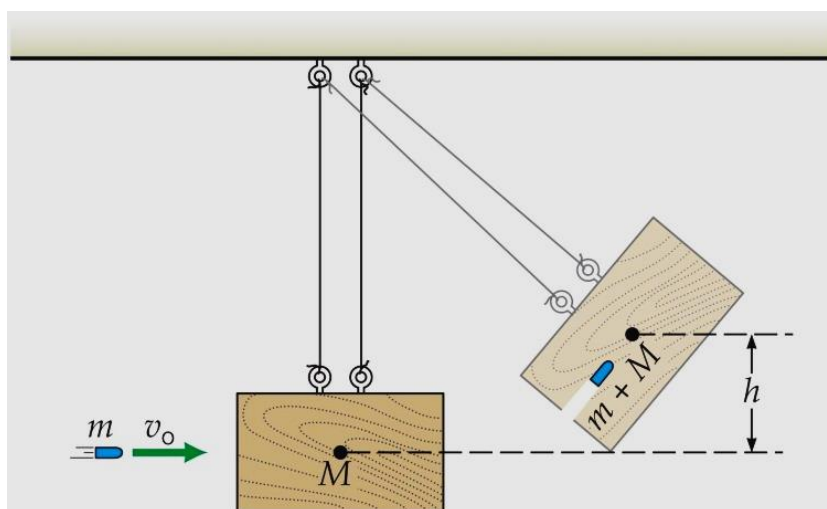


Fig. 1 Il pendolo balistico

### Materiali e strumenti

- Fucile da soft air vincolato ad un sostegno
- Pendolo balistico costituito da un sostegno a cui è vincolata un'asta che termina con un "bicchiere" all'interno del quale è posto del das
- Bilancia
- Sensore di moto rotatorio
- Interfaccia Pasco Xplorer GLX
- PC con software Data Studio



Fig. 2 Disposizione sperimentale di materiali e strumenti di misura

### Breve richiamo teorico

In questo esperimento verrà usato come arma un fucile da soft air, in grado di sparare minuscoli proiettili ceramici a energie dell'ordine del Joule. Il sistema è rappresentato in modo schematico nella seguente figura.

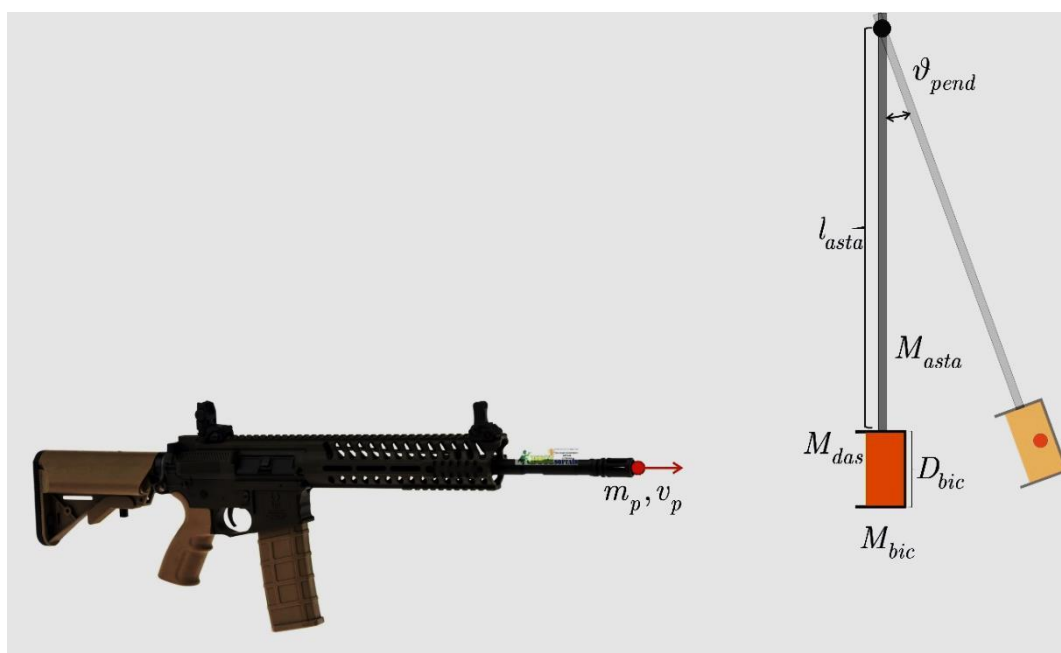


Fig. 3 Rappresentazione schematica della configurazione sperimentale

Per determinare il baricentro del sistema bicchiere + asta + das, rispetto al fulcro O di rotazione del pendolo, consideriamo che tutti i componenti del sistema siano simmetrici e di materiale omogeneo, quindi possano essere considerati come masse puntiformi concentrate nei loro centri geometrici:

- l'asta avente, di massa  $M_{asta}$ , ha il suo baricentro a metà della sua lunghezza ( $l_{asta}$ ), che si trova ad una distanza  $[l_{asta}/2]$  dal fulcro O;
- la vite di supporto del "bicchiere", di massa  $M_{vite}$  e lunghezza  $l_{vite}$ , ha il suo baricentro nel suo centro geometrico, che si trova ad una distanza  $[l_{asta} - (l_{vite}/2)]$  dal fulcro O;
- il "bicchiere", di massa  $M_{bic}$  e diametro  $D_{bic}$ , ha il suo baricentro nel suo centro geometrico che si trova ad una distanza  $[l_{asta} + (D_{bic}/2)]$  dal fulcro O;
- il blocco di das, di massa  $M_{das}$ , ha il centro coincidente con quello del "bicchiere", e quindi anche esso si trova ad una distanza in  $[l_{asta} + (D_{bic}/2)]$  dal fulcro O.

In definitiva il baricentro del sistema si trova a distanza  $d_{bar}$  dal fulcro O, espressa dalla relazione:

$$d_{bar} = \frac{M_{asta} \cdot (l_{asta}/2) + M_{vite} \cdot [l_{asta} - (l_{vite}/2)] + (M_{das} + M_{bic}) \cdot [l_{asta} + (D_{bic}/2)]}{M_{asta} + M_{vite} + M_{das} + M_{bic}} \quad (1)$$

Nel sistema di riferimento del laboratorio il baricentro del sistema proiettile + asta + bicchiere + das, prima dell'urto, ha una velocità  $v_{bar}$  è espressa dalla relazione:

$$v_{bar} = \frac{m_p \cdot v_p}{M_{asta} + M_{vite} + M_{das} + M_{bic}} \quad (2)$$

dove  $v_p$  è la velocità del proiettile di massa  $m_p$  sparato dal fucile.

A seguito dell'urto tutto il sistema ruota di un angolo  $\theta_{pend}$ , fino a raggiungere un punto di altezza massima in cui tutta l'energia cinetica del sistema si è convertita in energia potenziale:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} (M_{asta} + M_{vite} + M_{das} + M_{bic}) \cdot v_{bar}^2 &= (M_{asta} + M_{vite} + M_{das} + M_{bic}) \cdot g \cdot d_{bar} \cdot [1 - \cos(\theta_{pend})] \\ \rightarrow v_{bar} &= \sqrt{2 \cdot g \cdot d_{bar} [1 - \cos(\theta_{pend})]} \end{aligned} \quad (3)$$

Dalle relazioni (1) e (3) si può quindi ricavare la formula che consente di determinare sperimentalmente la velocità del proiettile:

$$v_p = \frac{M_{asta} + M_{vite} + M_{das} + M_{bic}}{m_p} \sqrt{2 \cdot g \cdot d_{bar} [1 - \cos(\theta_{pend})]} \quad (4)$$

### Esecuzione dell'esperimento e analisi dati

- La prima operazione da fare è pesare le diverse componenti del sistema. I valori delle masse dell'asta, della vite e del "bicchiere" sono già stati misurati ed hanno i seguenti valori:

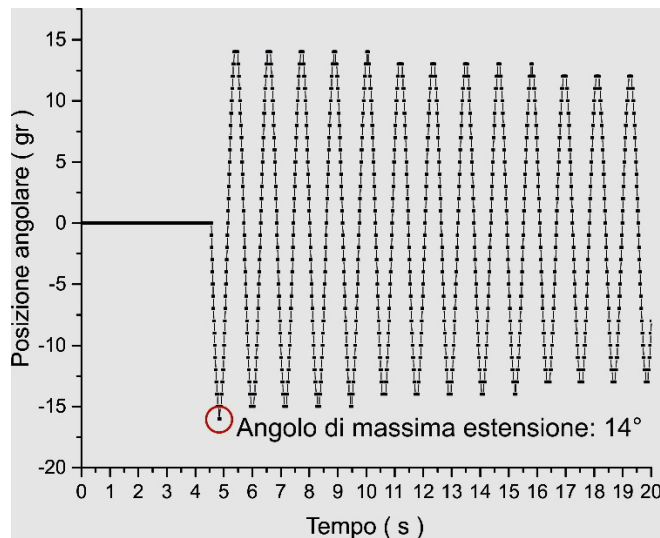
$$M_{asta} = (27.9 \pm 0.2) \text{ g}; M_{vite} = (3.4 \pm 0.2) \text{ g}; M_{bic} = (6.6 \pm 0.2) \text{ g}$$

- Misurare la massa di das con la bilancia, tenendo presente che la quantità ottimale da porre all'interno del "bicchiere" è di circa 15-16 g.
- Misurare quindi la massa del proiettile (dovrebbero aver una massa di circa 0.25 g); per fare una misura più accurata è conveniente pesarne 10 insieme sulla bilancia.
- Misurare le lunghezze degli oggetti sopraelencati, che sono già state misurate ed hanno i seguenti valori:

$$l_{asta} = (36.0 \pm 0.2) \text{ cm}; l_{vite} = (3.0 \pm 0.2) \text{ cm}; D_{bic} = (4.0 \pm 0.2) \text{ cm}$$

- Mediante la formula (1) determinare la posizione del baricentro ( $d_{bar}$  è circa uguale a 27.4 cm considerando una massa di das di circa 16 g).

- Allineare in modo accurato il fucile con il pendolo balistico in modo che il proiettile sia diretto verso il centro del das (assicurarsi che il fucile sia ben vincolato al sostegno e spari in direzione del muro).
- Collegare il sensore di moto rotatorio con l'interfaccia Xplorer GLX, e quest'ultima con il PC.
- Aprire il software Data Studio sul PC, avviare la misura, spostarsi e sparare solo quando tutti si trovano dietro il fucile. Sul monitor apparirà un grafico che mostra le oscillazioni smorzate del pendolo in funzione del tempo (vedi figura seguente).



**Fig. 4 Grafico delle oscillazioni smorzate del pendolo in funzione del tempo**

- Arrestare la misura, determinare il valore massimo dell'angolo di oscillazione (14° nel grafico sopra) e determinare mediante la formula (4) la velocità del proiettile  $v_p$  e la sua energia cinetica  $K_p = \frac{1}{2} m v_p^2$  (nel nostro esempio  $v_p = 86$  m/s e  $K_p = 0.92$  J).
- Per considerare la misura valida, assicurarsi che il proiettile sia rimasto conficcato nel das.
- Ripetere l'esperimento più volte e assumere come valori sperimentali per  $v_p$  e  $K_p$  la media aritmetica delle misure e come incertezza la semidisperzione.

## Conclusioni

Trascrivere sul report i valori della velocità e dell'energia cinetica del proiettile, e anche il codice dell'arma, ricavato dalla seguente tabella di conversione.

Velocità proiettile (m/s)	Codice arma	Energia (J) (considerando $m_p = 0.25$ g)
20-50	G18	0.05-0.3
50-80	SIG	0.3-0.8
80-110	M46	0.8-1.5
110-130	L96	1.5-2.5