

Equilibrio di un corpo rigido: il momento torcente

Lorenzo Mauro Sabatino*

Sommario

L'obiettivo dell'esperienza è verificare che un corpo rigido esteso sia in equilibrio rispetto alla rotazione se la somma vettoriale dei momenti ad esso applicati è pari a zero.

Introduzione

Quando una forza F viene applicata a un corpo rigido ad una distanza r dal centro di massa, si produce un momento torcente M . Il modulo di M è:

$$M = r \cdot F \sin \theta \quad (1)$$

La condizione di equilibrio rispetto alla rotazione su un corpo rigido è la seguente:

$$\sum_i M_i = 0 \quad (2)$$

L'apparato consiste in un'asta con dei fori nei quali appendere diverse masse. Un'estremità dell'asta è appesa a un sensore di forza. Si dovranno posizionare dei pesetti in vari fori e verificare la correttezza della legge.

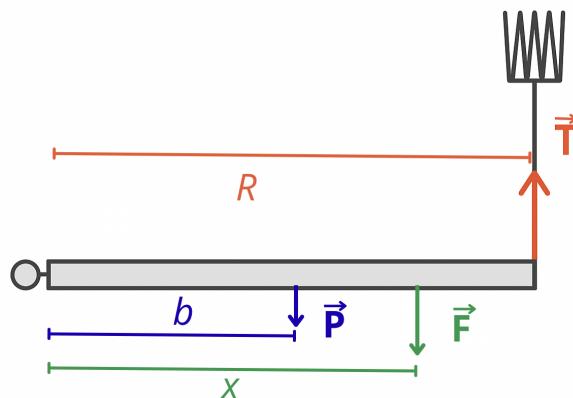


Figura 1: Diagramma delle forze

*Email: lorenzo.sabatino@collegifacec.it
Pagina web: <https://lorenzosabatino03.github.io/lab-fisica/>

La legge 1 unita alle forze che agiscono sull'apparato (figura 1), e considerano come fulcro il punto che vincola l'asta, si ottiene:

$$\vec{M} = \vec{T} \cdot \vec{R} - \vec{F} \cdot \vec{x} - \vec{P} \cdot \vec{b} = 0 \quad (3)$$

Ora, dato che le forze agiscono tutte con un angolo di 90° rispetto al braccio, allora:

$$T \cdot R = F \cdot x + P \cdot b \quad (4)$$

F è la forza data dalla massa appesa (nota), P è la forza peso dell'asta (nota), b ed R sono noti (si misurano). T la si legge dal sensore di forza e x varia in base alla posizione della massa appesa.



Figura 2: Setup sperimentale

Procedimento - versione con sensore di forza di PASCO

- Preparare l'apparato come in figura. Assicurarsi che il filo sia perpendicolare all'asta e che essa sia orizzontale
- Pesare l'asta (anche una uguale presente in laboratorio) e cercare il centro geometrico. In quel punto assumiamo sia applicata la forza peso dell'asta
- Misurare b ed R (con anche gli errori)
- Scegliere una massa da appendere (non deve essere eccessivamente pesante, va bene 50 - 100 g) e pesarla. Inserirne il gancio in un foro dell'asta (si può partire da quello all'estremità a cui è legato il filo)

- Dal sensore di forza, leggere il valore di Forza (software SparkVue). Vedi foto 3
- Segnare in tabella tale dato insieme alla distanza della massa rispetto al fulcro dell'asta
- Ripetere il procedimento più volte cambiando la posizione della massa
- Suggerimento: per leggere il valore di forza dal software, selezionare i punti di interesse e far passare la retta che si adatta meglio (dovrebbe essere circa orizzontale). Leggere dunque il valore dell'intercetta per trovare la tensione

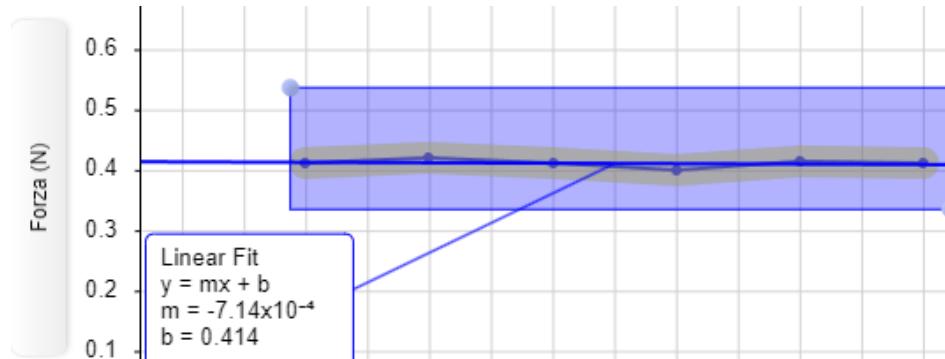


Figura 3: Uso del sensore e del software

Procedimento - versione con dinamometro

Nella versione con il dinamometro si legge il valore di Forza direttamente da esso. Attenzione alla portata dei dinamometri in laboratorio.



Figura 4: Setup con dinamometro

Tabelle e analisi dati

I dati devono essere raccolti in tabelle ordinate. Esempio di tabella:

		T [N]	e_T	x [m]	e_x
x_1	Mis. 1		\pm		
	Mis. 2		\pm		\pm
	Mis. 3		\pm		
x_2	Mis. 1		\pm		
	Mis. 2		\pm		\pm
	Mis. 3		\pm		
	...		\pm		

4.1 Commenti sull'analisi dati

- Potete creare le tabelle nella maniera che preferite
- Calcolare anche i momenti torcenti e verificare che la loro somma sia zero
- Riscrivendo la legge 4 come:

$$T = \frac{F}{R} \cdot x + \frac{P \cdot b}{R} \quad (5)$$

e rinominando le variabili in questo modo:

$$k = \frac{F}{R} \quad \text{e} \quad q = \frac{P \cdot b}{R} \quad (6)$$

si osserva una relazione lineare ($y = k \cdot x + q$) tra le grandezze. Costruendo il grafico di T in funzione di x , si può verificare tale relazione, e ciò permette di trovare il valore di $\frac{F}{R}$ attraverso l'inclinazione della retta "k" (da cui si può ottenere F , cioè la forza peso della massetta appesa). Provare a farlo e confrontare F con il valore atteso.

- Importante:** segnate sempre gli errori degli strumenti di misura (sensibilità). Ripetete le misure e calcolate media ed errore. Per propagare l'errore usate le formule viste a lezione.

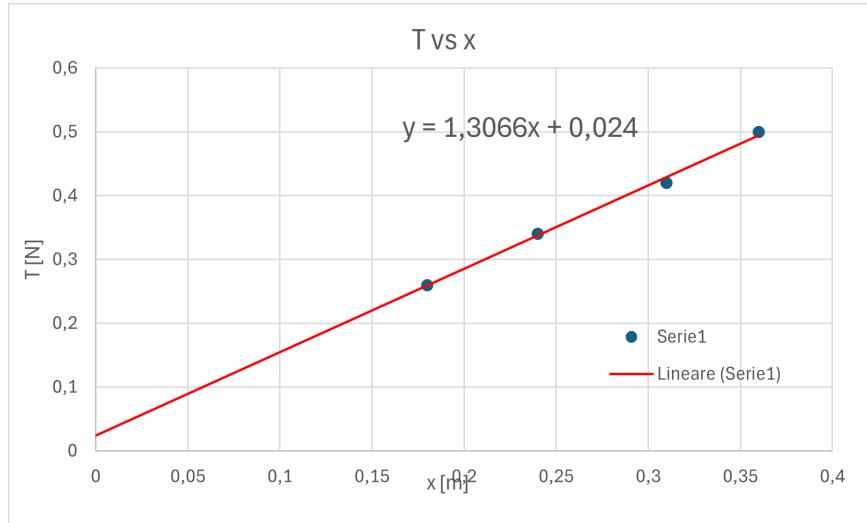


Figura 5: Esempio analisi dati relazione lineare

Conclusioni e domande

- La legge è verificata?
- Se non lo è, quali ipotesi aggiuntive vanno fatte? Che cosa si poteva modificare o fare meglio?
- Quali sono le principali fonti di errore che potrebbero aver alterato i dati raccolti?
- Il fulcro dell'asta è rimasto stabile durante l'esperimento? Come potrebbe influenzare i risultati uno spostamento del fulcro?
- Come hai calcolato le incertezze associate alla misura della forza e della distanza?
- Il valore della forza peso F, ottenuto dall'analisi dei dati, è compatibile con quello misurato?
- E sul valore di q, cosa puoi dire?

Approfondimento - esperimento alternativo con il sensore di forza

Data la configurazione in *figura 6*, realizzata usando un'asta vincolata a un perno, variando il peso attaccato all'estremità, come possiamo ricavare il valore di tensione? Con la teoria dell'equilibrio dei momenti, la risposta si trova facilmente!

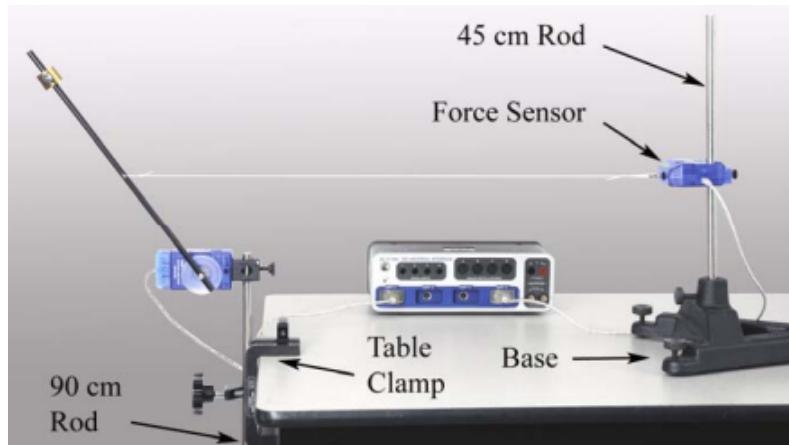


Figura 6: Setup sperimentale

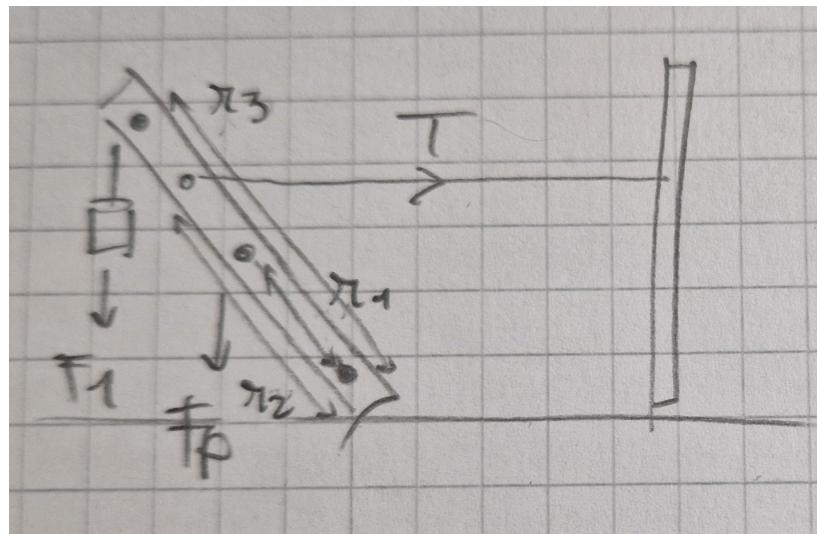


Figura 7: Schema delle forze

Sappiamo che:

$$\sum_i M_i = 0 \quad (7)$$

da cui vale l'identità (si faccia riferimento alla *figura 7*):

$$M_+ = M_- \quad (8)$$

$$\Rightarrow (\vec{F}_1 \cdot \vec{r}_3 + \vec{F}_p \cdot \vec{r}_1) \cdot \cos \theta = \vec{T} \cdot \sin \theta \cdot \vec{r}_2 \quad (9)$$

dove è stata usata la relazione trigonometrica: $\sin(\frac{\pi}{2} - \theta) = \cos \theta$

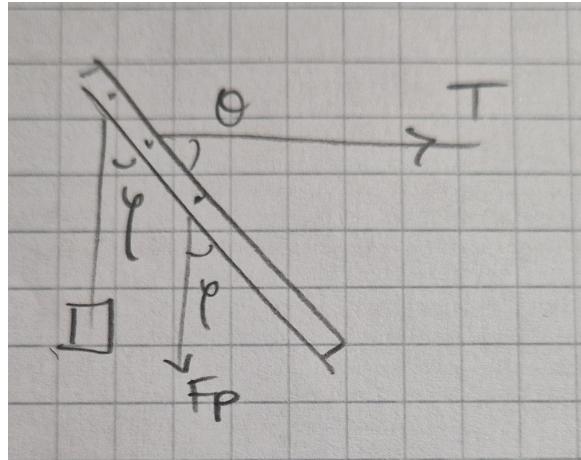


Figura 8: Relazione trigonometrica tra gli angoli

$$\Rightarrow \vec{T} = \frac{\vec{F}_1 \cdot \vec{r}_3 + \vec{F}_p \cdot \vec{r}_1}{\vec{r}_2} \cdot \arctan \theta \quad (10)$$

Verificare tramite il sensore di forza di PASCO che ci sia accordo tra il valore di tensione previsto e quello misurato.

Ripetere l'esperimento variando la massa appesa e la lunghezza dei bracci.

Se avessimo usato l'equilibrio delle forze, come avremmo dovuto procedere? (Suggerimento: pensare alla forza vincolare esercitata dal perno sull'asta)