

Sergio Fabbri Mara Masini

# phenomena



laboratorio di fisica

Sergio Fabbri Mara Masini

# phoenomena

laboratorio di fisica

SOCIETÀ EDITRICE INTERNAZIONALE  
TORINO

*Coordinamento editoriale:* Anna Maria Battaglini

*Progetto editoriale e redazione:* Claudia Marchis

*Coordinamento tecnico:* Francesco Stacchino

*Progetto grafico:* Studio Balbo-Gozzelino

*Impaginazione:* LIV - Cascine Vica (TO)

*Coordinamento tecnico iconografia:* Mario Macchiorlatti

*Disegni:* Studio Balbo-Gozzelino

*Copertina:* Piergiuseppe Anselmo

Windows e Excel sono marchi registrati dalla Microsoft Corporation

**AZIENDA CON SISTEMA QUALITÀ  
CERTIFICATO DA DNV  
=UNI EN ISO 9001/2000=**

© 2011 by SEI - Società Editrice Internazionale - Torino  
[www.seieditrice.com](http://www.seieditrice.com)

Prima edizione: 2011

Ristampa

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2011		2012		2013		2014		2015	

Tutti i diritti sono riservati. È vietata la riproduzione dell'opera o di parti di essa con qualsiasi mezzo, compresa stampa, copia fotostatica, microfilm e memorizzazione elettronica, se non espressamente autorizzata per iscritto.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633.

Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da AIDRO, Corso di Porta Romana n. 108, Milano 20122, e-mail [segreteria@aidro.org](mailto:segreteria@aidro.org) e sito web [www.aidro.org](http://www.aidro.org)

L'Editore dichiara la propria disponibilità a regolarizzare errori di attribuzione o eventuali omissioni sui detentori di diritto di copyright non potuti reperire.

Bona S.p.A. - Torino

# Indice

## 1 La relazione di laboratorio, 1

1.1 Il materiale, 1 – 1.2 L’aspetto grafico, 1 – 1.3 L’impostazione, 1 – 1.4 Traccia per la relazione di laboratorio, 2

## 2 Il grafico, 3

2.1 Costruzione di un grafico su carta millimetrata, 3 – 2.2 Come è fatto il foglio, 3 – 2.3 Scelta della scala, 4 – 2.4 Collocazione dei punti, 6 – 2.5 Lettura delle coordinate di un punto, 6 – 2.6 Intervalli di indeterminazione, 7

## 3 Il foglio elettronico, 9

3.1 Premessa, 9 – 3.2 Un esempio: il moto rettilineo uniforme, 9 – 3.3 Mini manuale di Excel, 18

## Schede di laboratorio, 20

**Scheda 1** Le misure dirette (**Unità 1**), 20

**Scheda 2** Serie di misure e misure indirette (**Unità 2**), 24

**Scheda 3** La molla e la legge di Hooke (**Unità 3**), 29

**Scheda 4** La regola del parallelogramma (**Unità 4**), 34

**Scheda 5** L’attrito radente statico (**Unità 4**), 38

**Scheda 6** Le leve (**Unità 5**), 40

**Scheda 7** La densità (**Unità 6**), 42

**Scheda 8** Il principio di Archimede (**Unità 6**), 44

**Scheda 9** Il moto rettilineo uniforme (**Unità 7**), 48

**Scheda 10** Il moto rettilineo uniformemente accelerato (**Unità 8**), 54

**Scheda 11** Le proprietà del pendolo semplice (**Unità 9**), 59

**Scheda 12** Il secondo principio della dinamica (relazione forza-accelerazione) (**Unità 10**), 62

**Scheda 13** Il secondo principio della dinamica (relazione massa-accelerazione) (**Unità 10**), 66

**Scheda 14** L’accelerazione di gravità (**Unità 11**), 69

**Scheda 15** Il piano inclinato (**Unità 11**), 72

**Scheda 16** Il lavoro e il teorema delle *forze vive* (**Unità 12**), 74

**Scheda 17** La conservazione dell’energia meccanica (**Unità 13**), 77

**Scheda 18** La conservazione della quantità di moto (**Unità 13**), 81

**Scheda 19** Dal termoscopio al termometro (**Unità 14**), 84

**Scheda 20** La dilatazione termica lineare (**Unità 14**), 87

**Scheda 21** Il calore specifico dei solidi (**Unità 15**), 93

**Scheda 22** I cambiamenti di stato (**Unità 16**), 96

**Scheda 23** La legge di Boyle e Mariotte (**Unità 17**), 99

**Scheda 24** L’equivalenza tra calore e lavoro (**Unità 18**), 104

**Scheda 25** Le cariche elettriche (**Unità 19**), 106

**Scheda 26** Le linee di forza (**Unità 20**), 109

**Scheda 27** Il condensatore (**Unità 20**), 112

**Scheda 28** La prima legge di Ohm (**Unità 21**), 115

**Scheda 29** L’effetto Joule (**Unità 21**), 119

**Scheda 30** Resistori in serie e in parallelo (**Unità 22**), 121

**Scheda 31** La resistività (**Unità 23**), 125

**Scheda 32** I campi magnetici (**Unità 24**), 130

**Scheda 33** Il campo magnetico terrestre (**Unità 25**), 133

**Scheda 34** L’elettrocalamita e il motore elettrico (**Unità 25**), 136

**Scheda 35** Il trasformatore statico (**Unità 26**), 139

**Scheda 36** Le onde meccaniche (**Unità 27**), 142

**Scheda 37** La seconda legge della rifrazione (**Unità 28**), 145

**Scheda 38** L’esperimento di Young (**Unità 28**), 147

**Scheda 39** Le lenti convergenti (**Unità 28**), 150



# La relazione di laboratorio

Nelle schede di laboratorio che seguono trovi i consigli dettagliati relativi alle prove specifiche: oltre ai suggerimenti sulle azioni pratiche da compiere, ci sono anche indicazioni precise su ciò che devi riportare nella tua relazione. Vogliamo, tuttavia, offrirti prima alcuni chiarimenti di carattere generale.

## 1.1 Il materiale

Innanzi tutto, quando sai che l'orario delle lezioni prevede il laboratorio di Fisica, devi accertarti *sempre* di disporre personalmente di:

- un foglio protocollo a quadretti (o eventualmente una scheda già impostata);
- un foglio di carta millimetrata (formato A4);
- riga e/o squadra;
- calcolatrice;
- comune materiale di cancelleria (penne, matite, gomme ecc.);
- quaderno di appunti e libro di testo per la consultazione.

La mancanza di qualcosa tra quanto elencato, e quindi la sua ricerca presso gli altri compagni della classe, costituisce un elemento di disturbo poco apprezzato e da evitare, in considerazione del clima già movimentato che l'attività pratica di per sé comporta.

## 1.2 L'aspetto grafico

Il foglio protocollo a quadretti o la scheda predisposta devono essere organizzati, al fine di agevolarne la correzione, in maniera tale da:

- evidenziare in modo chiaro le varie parti della relazione (intestazione, titolo, obiettivi ecc.), senza paura di lasciare spazi bianchi di separazione;
- seguire un'esposizione coerente e ordinata (per esempio quella che ti presentiamo nella traccia della pagina seguente), evitando, salvo casi particolari, di invertire o sovrapporre fra loro i diversi momenti della prova sperimentale;
- allegare, quando necessario, il foglio di carta millimetrata con una graffetta per evitare che vada perduto, riportando comunque anche lì nome e cognome e titolo della prova;
- lasciare dopo le conclusioni uno spazio sufficiente per il giudizio e la valutazione da parte del tuo insegnante.

## 1.3 L'impostazione

Quando, dopo avere completato il disegno o lo schema riguardanti il dispositivo utilizzato nell'esperimento, ti appresti a sintetizzare i contenuti teorici e a descrivere l'esecuzione della prova, devi assolutamente:

- evitare di effettuare digressioni eccessive o solo marginalmente collegate all'argomento della prova;
- evitare di dare per scontato che chi leggerà la relazione conosce l'argomento trattato, perché questo non ti aiuta a focalizzare gli aspetti di base e talvolta più importanti;
- evitare di scrivere una sorta di tema, soffermandoti su particolari superflui come il tempo meteorologico o una battuta spiritosa del docente;
- evitare di usare la prima persona, ricorrendo di preferenza alla forma impersonale «noi» oppure «si»;
- evitare di perdere di vista l'obiettivo di partenza, in modo tale da stendere una relazione omogenea e organica, anziché una somma di parti tra loro sciolte e collegate casualmente;
- cercare di prestare attenzione alle scelte tecniche effettuate, che sono sempre ben precise e strettamente connesse con l'obiettivo da perseguire;
- mostrare, attraverso un'analisi accurata dei risultati ottenuti, di avere maturato una piena consapevolezza dell'esperimento eseguito nella sua globalità.

Ricorda che il fatto che i risultati sperimentali non siano soddisfacenti, non significa che anche la tua relazione debba essere negativa (puoi comunque dimostrare di avere imparato finalità e procedimento corretti della prova, sapendo valutare criticamente qualunque tipo di risultato, anche se non è in sintonia con gli obiettivi prefissati).

## 1.4 Traccia per la relazione di laboratorio

Prova n° \_\_\_\_\_

Classe \_\_\_\_\_ Sez. \_\_\_\_\_

Nome e Cognome \_\_\_\_\_ Gruppo \_\_\_\_\_

**1. Titolo**


---



---

**2. Obiettivi**


---



---

**3a. Schema e/o disegno****3b. Materiale e strumenti**

1. \_\_\_\_\_

5. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

6. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

7. \_\_\_\_\_

4. \_\_\_\_\_

... \_\_\_\_\_

**4. Contenuti teorici**


---



---

**5. Descrizione della prova**


---



---

**6. Raccolta dei dati**


---



---

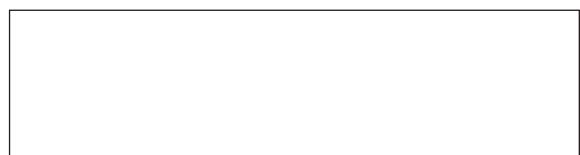


---

Tabella

**7. Elaborazione**

Grafico



Calcoli

---



---



---

**8. Analisi dei risultati e conclusioni**


---



---

# 2 Il grafico

## 2.1 Costruzione di un grafico su carta millimetrata

Spesso dovrà elaborare dei grafici a partire dai dati sperimentali relativi alla prova eseguita in laboratorio.

Perciò, ti diamo qui delle indicazioni per aiutarti ad affrontare le seguenti situazioni:

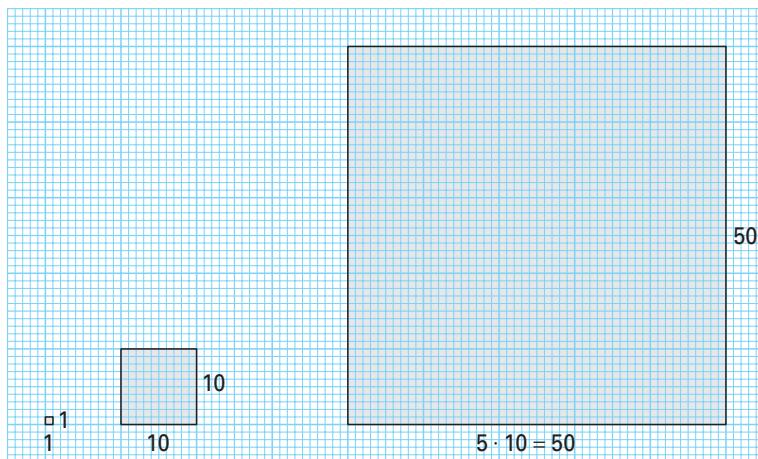
- 1) hai una coppia di valori numerici, come per esempio (3; -2), e devi disegnare il punto corrispondente in un piano cartesiano;
- 2) hai un punto in un particolare piano cartesiano e devi individuare i valori numerici a esso corrispondenti.

Il materiale necessario è costituito dal foglio di carta millimetrata, dalla riga o da una squadra sufficientemente lunghe, dalla matita (perché le linee non vanno tracciate a penna o altro per evitare di dover rifare tutto in caso di errore).

Ti consigliamo di riportare man mano le nostre istruzioni su un foglio di carta millimetrata, in quanto così metterai in pratica direttamente tutte le varie fasi della costruzione grafica e potrai confrontare i tuoi risultati con la figura 2 a pagina 5, che riassume l'intera sequenza.

## 2.2 Come è fatto il foglio

Il piano del foglio di carta millimetrata è suddiviso, tramite linee molto sottili, in quadrettini da 1 mm di lato, quindi 1 mm<sup>2</sup> di superficie (fig. 1).



**Figura 1**

Linee di spessore leggermente maggiore servono per indicare quadretti da 10 mm (che equivalgono a 1 cm) di lato, che servono per agevolare il conteggio dei quadrettini con lato 1 mm. Talvolta, per mezzo di linee ancora più spesse o con trattini a margine, sono indicati anche raggruppamenti costituiti da 5 quadretti grandi da 10 mm di lato.

## 2.3 Scelta della scala

Anziché trattare l'argomento in modo generale, partiamo direttamente da un'ipotetica tabella di dati riguardanti i valori e le incertezze di due grandezze fisiche quali lo spazio  $s$  e il tempo  $t$ .

**Tabella 1**

	$s$ (cm)	$\Delta x(s)$ (cm)	$t$ (s)	$\Delta x(t)$ (s)
1	21,4	0,1	0,24	0,02
2	42,8	0,1	0,46	0,02
3	64,2	0,1	0,70	0,02
4	85,5	0,1	0,92	0,02

a) La prima cosa che devi fare è, ovviamente, disegnare i due assi cartesiani.

- L'asse orizzontale (detto *asse delle ascisse*, indicato in generale come asse  $X$ ) è utilizzato solitamente per la variabile indipendente, cioè quella che può variare senza dipendere da altre grandezze. In questo esempio, la variabile indipendente è il tempo  $t$ , le cui variazioni non sono infatti legate allo spostamento eventuale di un determinato corpo. Dopo il simbolo della grandezza scrivi tra parentesi la sua unità di misura:  $t$  (s).
- L'asse verticale (detto *asse delle ordinate*, indicato in generale come asse  $Y$ ), a sua volta è destinato alla variabile dipendente, quella grandezza che si modifica in conseguenza del variare della prima. Nel nostro caso si tratta dello spazio  $s$ . Dopo il simbolo della grandezza scrivi tra parentesi la sua unità di misura:  $s$  (cm).
- L'intersezione tra i due assi cartesiani viene chiamata origine  $O$ , le cui coordinate sono  $t = 0$  s e  $s = 0$  cm, per cui la si riporta anche come  $O(0; 0)$ .

b) Quindi, devi scegliere su entrambi gli assi cartesiani la *scala*, vale a dire devi stabilire, sia in senso orizzontale sia in senso verticale, quanto vale l'*unità di riferimento* costituita dal millimetro del quadretto (quello più piccolo).

- Le due scale, orizzontale e verticale, sono scelte arbitrariamente e indipendentemente l'una dall'altra, nel senso che il valore corrispondente a 1 mm sull'asse delle ascisse non deve di per sé vincolare il valore numerico relativo a 1 mm preso sull'asse delle ordinate. E questo per due motivi: le due grandezze fisiche in gioco disposte nei due assi sono quasi sempre di natura diversa; inoltre, la filosofia di base da seguire è quella di **riempire il foglio con il disegno del grafico il più estesamente possibile**. In definitiva, devi evitare di tracciare il grafico in una porzione del foglio minima o ridotta, cosa che accade se non scegli oculatamente la scala (vedi i punti successivi).
- Considerati i dati di cui disponiamo (quelli della tab. 1), è conveniente scegliere 1,00 s come valore massimo del tempo  $t$  sull'asse  $X$ , posizionandolo il più a destra possibile, e 100 cm come valore massimo dello spazio  $s$  sull'asse  $Y$ , posizionandolo il più in alto possibile (fig. 2).

c) Dopotiché, per sapere quale valore viene associato a 1 mm del lato del quadrettino relativo all'asse del tempo (orizzontale), che indichiamo con il simbolo  $u(t)$ , devi fare due cose molto semplici:

- contare il numero  $N(t)$  dei quadrettini da 1 mm che ci sono fra l'origine  $O$  e 1,00 s;
- dividere il valore massimo  $t_{max} = 1,00$  s per il numero di quadrettini  $N(t)$  contati prima:

$$u(t) = \frac{\text{valore massimo posizionato sull'asse}}{\text{numero complessivo di quadrettini}} = \frac{t_{max}}{N(t)}$$

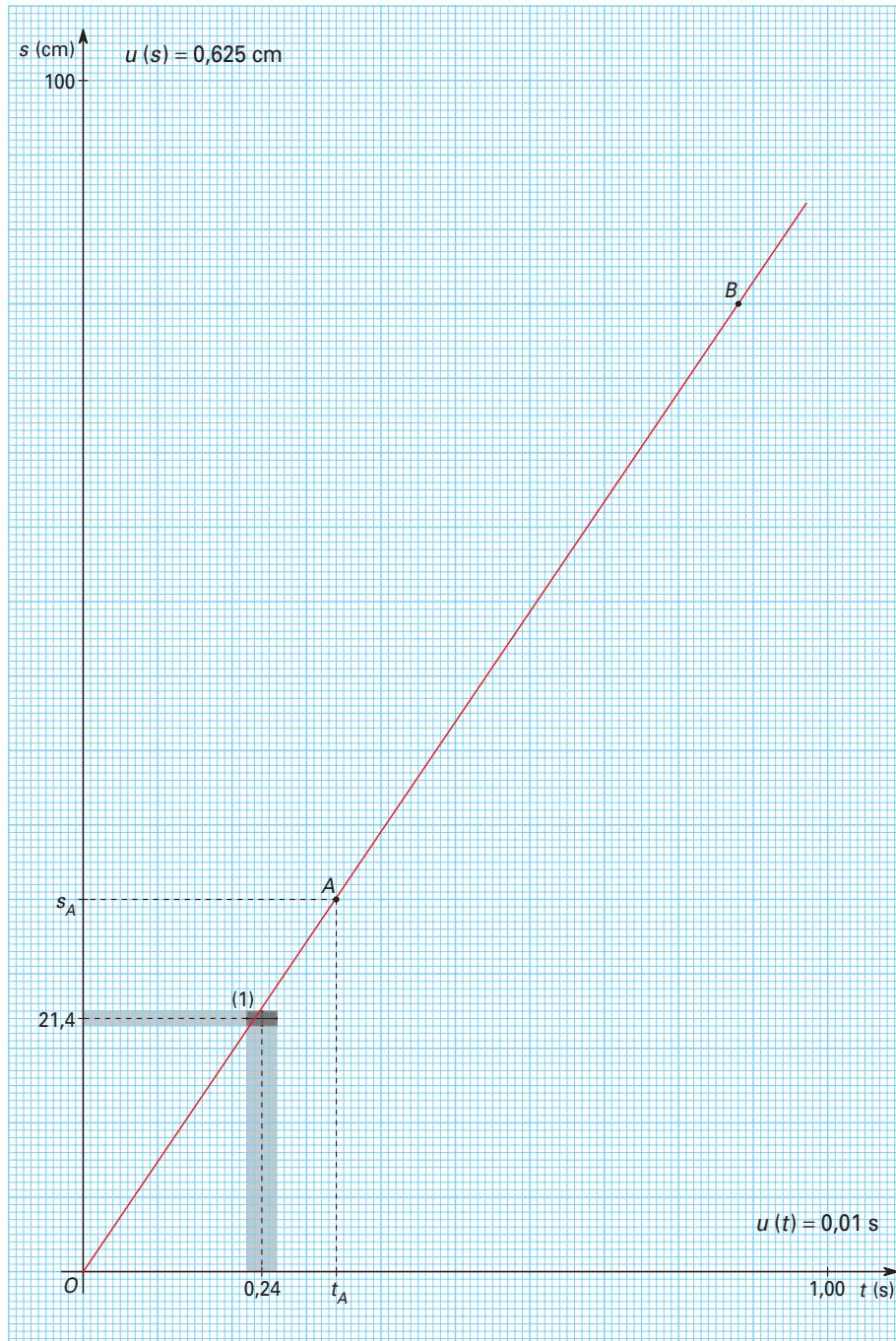
Nel caso di figura 2, trovi:

$$u(t) = \frac{t_{max}}{N(t)} = \frac{1,00}{100} = 0,01 \text{ s}$$

Perciò 1 mm sull'asse orizzontale in questo caso rappresenta 0,01 s.

Ripeti le stesse operazioni relativamente all'asse verticale. Indicando con  $u(s)$  il valore corrispondente a 1 mm secondo l'asse verticale dello spazio  $s$  e con  $N(s)$  il numero di quadretti fino a 100 cm, dovresti trovare (sempre con riferimento alla fig. 2):

$$u(s) = \frac{s_{max}}{N(s)} = \frac{\dots}{\dots} = 0,625 \text{ cm}$$



**Figura 2**

## 2.4 Collocazione dei punti

Fatto questo, il problema diventa il posizionamento nel piano delle varie coppie di valori ( dette anche **coordinate**). Consideriamo la coppia iniziale della tabella 1:

$$t_1 = 0,24 \text{ s}$$

$$s_1 = 21,4 \text{ cm}$$

È sufficiente sapere a quanti quadrettini corrispondono nei rispettivi assi il valore 0,24 s e 21,4 cm. Prima di effettuare il calcolo vero e proprio, considera questo esempio: quante monetine da 20 centesimi di Euro (cioè 0,20 Euro), occorrono per avere 5 Euro? Molto probabilmente, avrai pensato di dividere il valore totale per il valore delle singole monetine... Ed è proprio così!

$$\frac{5 \text{ Euro}}{0,20 \text{ Euro}} = 25 \text{ monetine (da 0,20 Euro)}$$

Torniamo ai dati effettivi.

- d) Per la coordinata del tempo fai la divisione tra il valore da posizionare  $t_1 = 0,24$  s e il valore dell'unità dell'asse del tempo  $u(t) = 0,01$  s:

$$N(t_1) = \frac{t_1}{u(t)} = \frac{0,24}{0,01} = 24 \text{ quadrettini}$$

Quindi conti sull'asse  $t$  il numero di quadrettini  $N(t_1)$  trovato e scrivi in corrispondenza non 24, bensì il valore 0,24 (non c'è bisogno di scrivere anche l'unità di misura).

Procedi analogamente per  $s_1$ :

$$N(s_1) = \frac{s_1}{u(s)} = \frac{21,4}{0,625} = 34,24 \approx 34 \text{ quadrettini}$$

- e) Da 0,24 s traccia a matita la linea tratteggiata perpendicolare all'asse delle ascisse, mentre da 21,4 cm traccia la linea tratteggiata perpendicolare all'asse delle ordinate. L'intersezione delle due rette è il punto cercato, che puoi individuare con (1) sul piano cartesiano di figura 2.

Come esercizio, puoi posizionare nel piano cartesiano appena impostato le altre tre coppie di valori di  $s$  e  $t$  presenti in tabella 1.

## 2.5 Lettura delle coordinate di un punto

Il problema per così dire inverso rispetto a quello fin qui visto consiste nel dover *leggere* dal grafico i valori delle due grandezze riportate sugli assi cartesiani, in corrispondenza di determinati punti (come per esempio il punto A indicato sulla retta di fig. 2).

- a) Dal punto A mandi la perpendicolare all'asse del tempo e indichi con  $t_A$  il punto di intersezione trovato. Applichi lo stesso procedimento per l'asse dello spazio, trovando  $s_A$ .
- b) Conti il numero di quadrettini  $N(t)$  che ci sono tra O e il punto  $t_A$ :

$$N(t) = 34 \text{ quadrettini}$$

- c) Per trovare quale valore in secondi corrisponde a 34 quadrettini, il problema è simile a quello di calcolare quale cifra rappresentano 32 monete da 0,50 Euro ciascuna. Basta fare la moltiplicazione:

$$32 \cdot 0,50 = 16 \text{ Euro}$$

Nel caso del nostro grafico, devi moltiplicare il numero di quadrettini  $N(t)$  per l'unità  $u(t)$ :

$$t_A = N(t) \cdot u(t) = 34 \cdot 0,01 = 0,34 \text{ s}$$

Per trovare invece  $s_A$ :

$$s_A = N(s) \cdot u(s) = 50 \cdot 0,625 = 31,25 \text{ cm}$$

Tenta adesso di leggere sulla figura 2 il valore delle coordinate  $t_B$  ed  $s_B$  dell'altro punto  $B$  riportato sulla retta in alto a destra.

Se fai i calcoli correttamente dovresti trovare:

$$t_B = 0,88 \text{ s} \quad s_B = 81,25 \text{ cm}$$

## 2.6 Intervalli di indeterminazione

Probabilmente sei già a conoscenza che ogni misura fisica comporta l'inevitabile presenza di una *incertezza*. Tale caratteristica si riflette nel grafico e la conseguenza consiste nel fatto che nel piano cartesiano abbiamo non un semplice punto, ma una zona rettangolare (a causa dell'indeterminatezza presente sia sulla  $t$  sia sulla  $s$ ) entro la quale può cadere quella particolare coppia di valori.

Vediamo come si individuano questi **rettangoli di indeterminazione**.

- a) L'incertezza sulla  $t_1$  è data da  $\Delta x(t) = 0,02 \text{ s}$  (vedi tab. 1). Per trovare quanti quadrettini  $n_q(t)$  corrispondono a  $\Delta x(t)$ , devi applicare lo stesso procedimento del punto d della pagina precedente, sostituendo però il valore  $t_1$  con l'incertezza  $\Delta x(t)$ :

$$n_q(t) = \frac{\Delta x(t)}{u(t)} = \frac{0,02}{0,01} = 2 \text{ quadrettini}$$

Ti segnaliamo che quando ti capita di trovare per  $n_q$  un numero non intero (per esempio, da 1,1... in avanti fino a 1,9...), devi comunque arrotondarlo all'intero successivo, in questo caso 2 quadrettini: si tratta di una scelta prudenziale giustificata dalla volontà di essere sicuri che il valore della grandezza cada entro l'intervallo in questione.

- b) Riporta allora 2 quadrettini a sinistra e 2 quadrettini a destra del punto (1), come puoi rilevare nella figura relativa al grafico di riferimento.

Analogamente, vediamo che cosa succede per  $\Delta x(s)$ , cioè per l'incertezza su  $s_1$ .

Ti guidiamo ancora noi, perché questo calcolo ha una sua particolarità che vogliamo evidenziare chiaramente.

- c) Calcola il rapporto tra l'incertezza di  $s_1$  e il valore dell'unità di 1 mm secondo l'asse verticale:

$$n_q(s) = \frac{\Delta x(s)}{u(s)} = \frac{0,1}{0,625} = 0,16 \cong 1 \text{ quadrettino}$$

Dunque, se il risultato è inferiore a 1 quadrettino da 1 mm, lo si prende comunque pari a 1. Ciò accade quando l'errore di sensibilità del foglio di carta millimetrata (da questo punto di vista da considerare alla stregua di uno strumento di misura...) è inferiore a quello dello strumento con il quale è stata effettuata la misurazione.

- d) Riporta 1 segmento sotto e 1 sopra rispetto al punto considerato (1) e traccia il contorno dell'intero rettangolo con base 4 segmentini e altezza 2 segmentini (controlla in fig. 2).

Concludiamo con due osservazioni al riguardo:

- non è detto che i rettangoli di indeterminazione di uno stesso grafico siano tutti uguali, in quanto può capitare che l'errore di sensibilità dello strumento o l'incertezza individuata tramite le leggi di propagazione si modifichino man mano che si procede nell'esecuzione dell'esperimento;
- nel caso di grandezze direttamente proporzionali, come nell'esempio fatto, l'obiettivo di una prova viene ritenuto raggiunto in maniera soddisfacente se la retta, passante per l'origine  $O$ , riesce ad attraversare tutti i rettangoli di indeterminazione presenti nel grafico.

Verifica ora ciò che hai veramente appreso, affrontando i seguenti esercizi.

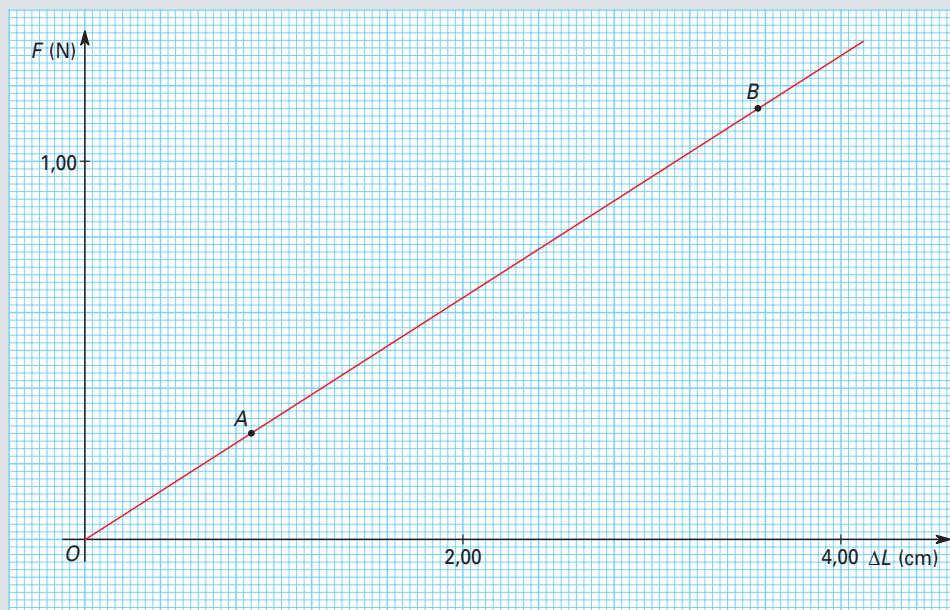
- 1** Costruisci il grafico corrispondente alla seguente tabella di dati (riportando o meno anche i rettangoli di indeterminazione, che qui variano, a seconda delle indicazioni dell'insegnante).

**Tabella 2**

	$F$ (N)	$\Delta x(F)$ (N)	$a$ (m/s <sup>2</sup> )	$\Delta x(a)$ (m/s <sup>2</sup> )
1	0,25	0,01	0,90	0,03
2	0,50	0,01	1,80	0,02
3	0,75	0,01	2,68	0,02
4	1,00	0,02	3,55	0,01

- 2** Osservando il grafico riportato in figura 3, individua le coppie di valori relative ai punti A e B.

$$[(0,88 \text{ cm}; 0,28 \text{ N}); (3,56 \text{ cm}; 1,14 \text{ N})]$$



**Figura 3**

# 3 Il foglio elettronico

## 3.1 Premessa

Basta qualche esperienza in laboratorio per rendersi conto di quanto talvolta siano lunghi e noiosi, ma soprattutto ripetitivi, i calcoli richiesti per l'elaborazione dei dati. Uno studente americano, durante l'elaborazione della tesi ebbe lo stesso problema, ma riuscì a risolverlo in modo geniale creando un programma per il computer: il **foglio elettronico** (*spreadsheet*). In pratica, sul monitor viene visualizzato un foglio suddiviso in settori nel quale ogni rettangolo, detto *cella*, può contenere numeri, lettere oppure formule.

Ciascuna di tali celle, esattamente come accade nel gioco della battaglia navale, è identificata da due coordinate: la colonna (una lettera) e la riga (un valore numerico). C6, per esempio, indica la sesta cella della colonna C.

La caratteristica fondamentale è che le celle sono collegate in modo che la variazione di un dato in una qualsiasi di esse comporti la modifica immediata di tutti i risultati presenti in altre celle, ma legati a quell'elemento. Se in una cella è presente la somma dei dati inseriti in altre sette celle, modificando il contenuto di una di esse anche il totale viene subito aggiornato.

Esistono numerosi programmi che, a partire dall'idea originaria, hanno sviluppato le potenzialità del foglio elettronico. I software più recenti consentono di calcolare istantaneamente il risultato di complesse operazioni e di funzioni matematiche, statistiche, finanziarie. Inoltre, permettono di creare tavole, prospetti statistici, resoconti economici e grafici anche con soluzioni personalizzate dall'utente. Si tratta di strumenti molto flessibili e con un'ampia gamma di potenzialità che possono servire a un'azienda per la gestione della contabilità, a un ente per l'archiviazione dei dati e a uno studente per elaborare i risultati di un esperimento di Fisica.

## 3.2 Un esempio: il moto rettilineo uniforme

Per imparare a utilizzare il foglio elettronico, ci proponiamo di rielaborare al computer i dati raccolti nella tabella 1 riguardante un esperimento di laboratorio relativo al moto rettilineo uniforme, riportata qui sotto.

Per rendere più efficace la simulazione, presentiamo dei dati verosimili, che tuttavia non saranno identici a quelli da te ottenuti nella prova reale.

**Tabella 1**

1 <i>s</i> (cm)	2 <i>t</i> (s)	3 <i>v</i> = <i>s/t</i> (cm/s)
10	0,21	...
20	0,43	...
30	0,64	...
40	0,85	...

Per aiutarti a organizzare il lavoro, ti viene fornito qui sotto uno schema riassuntivo:

- a sinistra troverai le fasi che ti consentono di giungere a calcolare automaticamente la velocità (colonna 3 di tabella 1);
- a destra di ogni azione troverai indicate le competenze informatiche che ti sono necessarie per ottenerlo lo scopo.

Che cosa devi fare	Competenze informatiche necessarie
I. Accedere all'ambiente di lavoro. II. Creare una tabella. III. Determinare automaticamente i valori della velocità (colonna 3). IV. Disegnare il grafico spazio-tempo. V. Uscire dall'ambiente di lavoro.	A. Lanciare il programma. B. Immettere i dati, salvare il foglio di lavoro, copiare i dati. C. Introdurre una formula, utilizzare gli indirizzi relativi, inserire una formula. D. Creare un grafico, visualizzare un'anteprima, stampare su carta la tabella e il grafico. E. Chiudere il programma e salvare il lavoro svolto.

Come programma di riferimento utilizzeremo *Excel* della Microsoft Corporation.

Segnaliamo che le istruzioni del percorso riguardano aspetti fondamentali per cui, salvo alcuni dettagli, risultano applicabili in qualsiasi foglio elettronico compatibile con Windows o versioni aggiornate dello stesso.

## I. Accedere all'ambiente di lavoro

### LANCIARE IL PROGRAMMA

Le modalità per avviare il programma possono variare a seconda dell'installazione effettuata e della versione disponibile.

Ne indichiamo una fra le più generali.

- 1 Posizionati con il mouse sul pulsante  e clicca (con il pulsante sinistro del mouse).  
Si apre un menu.
- 2 Seleziona nel menu la voce Programmi.  
Si apre un altro menu.
- 3 Seleziona Microsoft Excel e clicca.

In questa maniera hai avviato il programma e, dopo una breve apparizione del logo, compare una videata simile a quella mostrata in figura 1 nella pagina seguente. È probabile che la tua schermata presenti delle differenze a causa delle numerose opzioni di cui il programma è dotato.

Confronta la figura 1 con l'immagine che hai sul monitor. Gli unici elementi indispensabili per il tuo lavoro sono la *barra degli strumenti standard* e la *barra della formula*. Se non vi fossero, consulta il *Mini manuale* di Excel, azioni 3 e 4, posto alla fine del percorso guidato.

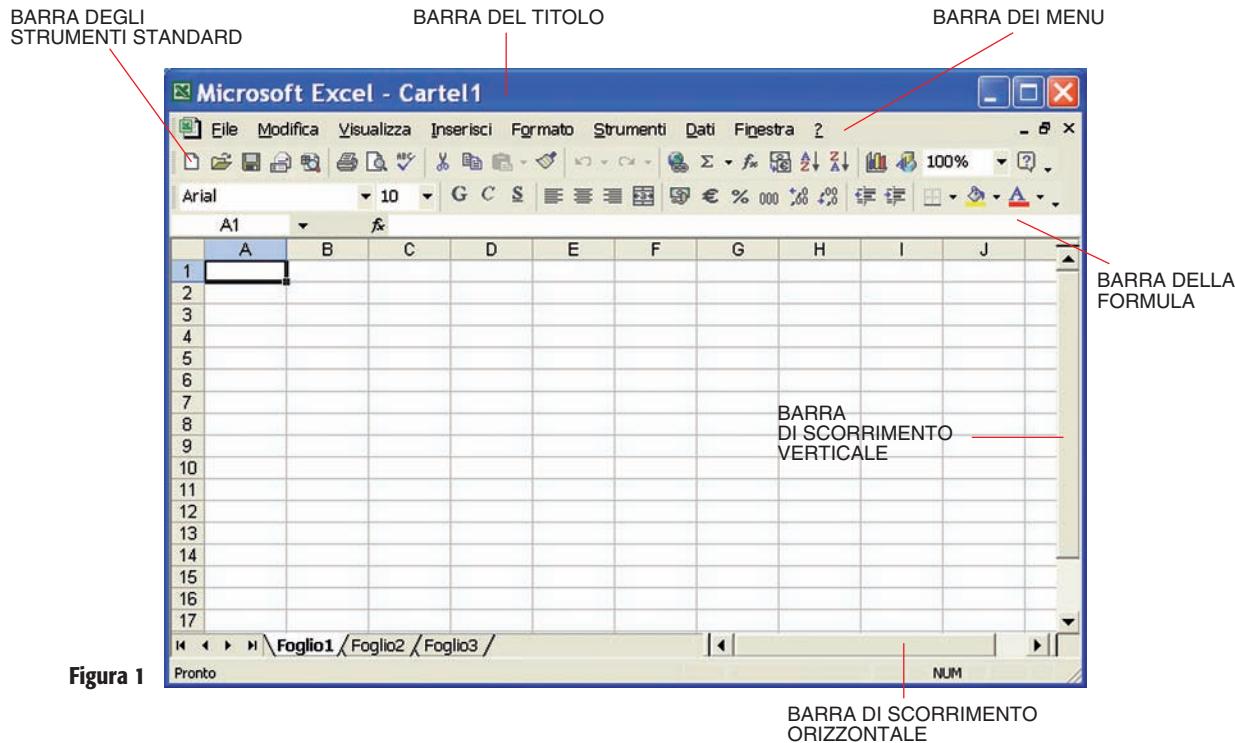


Figura 1

## II. Creare una tabella

### IMMETTERE I DATI

Vogliamo ora riportare i dati dell'esperimento in un'opportuna tabella per compiere su di essi alcune operazioni. Nello schema che stai per creare supponiamo che tu inserisca i dati indicati come nella figura 2, così da poter verificare l'esatto svolgimento delle operazioni in ogni fase.

Microsoft Excel - Cartel1									
File Modifica Visualizza Inserisci Formato Strumenti Dati Finestra ?									
Arial 10 G C S   100% <span style="float: right;">? 100%</span>									
C4	& (cm/s)								
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1									
2									
3	s	t	v=s/t						
4	(cm)	(s)	(cm/s)						
5									
6	10	0,21							
7	20	0,43							
8	30	0,64							
9	40	0,85							
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									

Figura 2

- Posizionati sulla cella A3 e, a partire da essa, scrivi le intestazioni relative alla riga 2 della tabella 1 ( $s, t, \dots$ ) Poi, rispettando le posizioni che vedi nella figura 2, inserisci le unità di misura nella riga 4 e i dati numerici a partire dalla riga 6. Ribadiamo che è importante rispettare le posizioni e limitarsi a introdurre quello che è riportato nella figura 2.

## SALVARE

Sei ancora lontano dalla forma definitiva della tabella, ma è norma di prudenza cominciare a salvare il lavoro per conservare perlomeno questa prima parte.

- 2 In alto, nella barra degli strumenti, clicca sull''icona .  
Si apre la finestra di dialogo Salva con nome.
- 3 Cliccando sulla freccetta a destra della casella Salva in, scegli dove salvare il tuo foglio elettronico.
- 4 Nella casella in basso intestata Nome file digita **Moto 1** e poi clicca su **Salva**.

In questo modo nella cartella da te selezionata viene memorizzata questa prima versione della tabella. Ogni volta che riterrai opportuno salvare, sarà sufficiente cliccare su e la versione del documento sarà istantaneamente aggiornata con le modifiche nel frattempo introdotte.

Se vuoi concludere ora la sessione di lavoro, consulta *Uscire dall'ambiente di lavoro* al termine di questo paragrafo. In alternativa, puoi proseguire.

## III. Determinare automaticamente i valori della velocità

### INTRODURRE UNA FORMULA

Introduciamo la formula per il calcolo della velocità nella casella C6. Excel riconosce una scrittura come **formula** se viene preceduta dal simbolo =.

- 1 Posizionati in C6 e digita = A6/B6 <**Invio**>.  
Nella C6 appare il risultato del rapporto (se l'operazione è stata eseguita correttamente dovrebbe apparire 47,61905).

### INDIRIZZI RELATIVI

Posizionati nella casella C6. Osserva che nella barra della formula appare ancora la scrittura = A6/B6 e non il numero corrispondente.

Se si desidera calcolare il rapporto anche nelle righe successive, occorre ripetere l'introduzione della formula nelle celle C7, C8, C9, ma questo ovviamente risulta noioso. Possiamo tuttavia molto semplicemente copiare la formula. Se non introduciamo alcuna modifica, essa viene copiata con un adeguamento di tutte le celle, per cui risulta:

		C
...	...	...
5	...	...
6	...	= A6/B6
7	...	= A7/B7
8	...	= A8/B8
9	...	= A9/B9
...	...	...

In altri termini, A6 e B6 costituiscono degli **indirizzi relativi**. Questo significa che in fase di copiatura subiscono un aggiornamento e la posizione delle celle viene incrementata continuamente di uno. Eseguiamo allora tale operazione.

### COPIARE UNA FORMULA

- 2 Procedi alla copiatura della formula posizionandoti su C6 e cliccando su nella barra degli strumenti.  
La cella risulta contornata da una linea tratteggiata intermittente.

**3** Occorre procedere alla **selezione** delle celle in cui la formula deve essere copiata. La selezione è una delle operazioni fondamentali. Per effettuarla, basta posizionarsi con il cursore sulla prima cella della zona interessata, che in questo esempio è C7, cliccare con il tasto sinistro e, mantenendolo premuto, trascinare il mouse in modo che la zona prescelta del foglio man mano si evidenzi. Giunti sull'ultima cella, che in questo esempio è C9, e dopo aver controllato che tutte le caselle della zona prescelta risultino evidenziate, si rilascia il tasto (fig. 3).

È questa una tecnica di base, perché sul contenuto delle celle selezionate è possibile eseguire interventi di ogni tipo: calcoli, modifiche, cancellazioni, copie. (Per deselectare, basta cliccare in un punto vuoto del foglio di calcolo). Adesso che la zona C7:C9 è evidenziata, procedi alla copiatura.

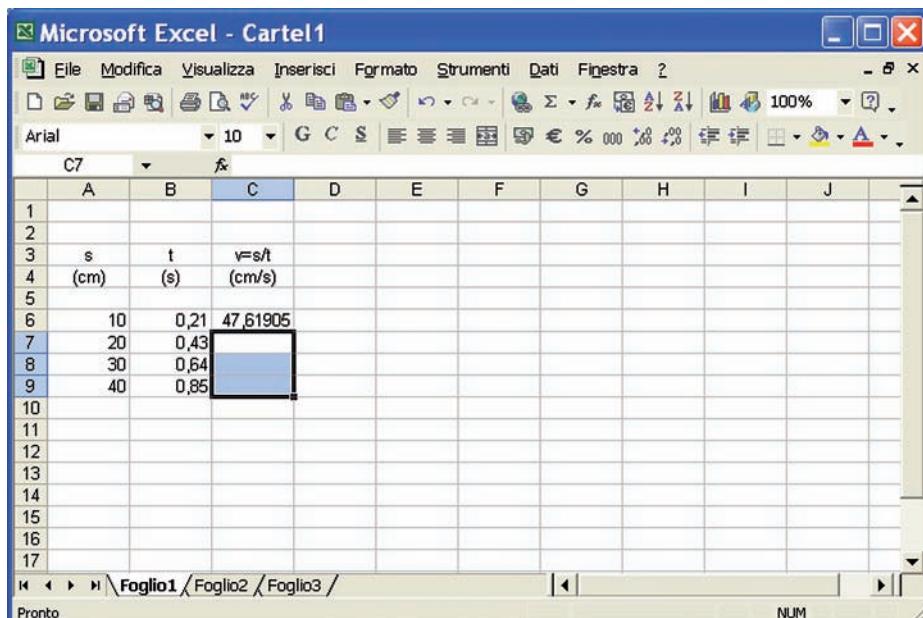


Figura 3

**4** Clicca su .

Nelle caselle compaiono i rapporti cercati. Nelle celle C7, C8, C9 dovrebbero comparire i dati relativi ai valori successivi della velocità con molti decimali. Se vogliamo approssimare ai primi tre, occorre procedere nel seguente modo.

**5** Seleziona C6:C9.

**6** Posizionati nel menu su Formato e clicca.

Si apre un menu.

**7** Clicca su Celle...

Si apre una finestra di dialogo intestata Formato celle. Controlla che sia attiva in alto l'opzione Numero.

**8** All'interno della finestra a scorrimento intitolata Categoria posizionati su Numero e clicca. A destra appare la casella Posizioni decimali.

**9** Utilizzando e fai apparire nella casella il numero 3.

**10** Clicca su .

Come puoi constatare, i decimali delle velocità sono diventati 3 come richiesto.

Se vuoi concludere la sessione di lavoro, dopo aver salvato cliccando su , consulta *Uscire dall'ambiente di lavoro*, al termine di questo paragrafo. In alternativa, puoi proseguire per effettuare la quarta fase.

## IV. Disegnare il grafico spazio-tempo

### CREARE UN GRAFICO

La quarta fase è la logica prosecuzione delle tre fasi precedenti e presuppone quindi che esse siano già state eseguite. Se avevi interrotto la sessione di lavoro, per riprenderla riaprendo la tabella, consulta il *Mini manuale* di Excel, azioni 1 e 2 che trovi alla fine del percorso guidato, altrimenti continua nell'esecuzione. Ci proponiamo ora, utilizzando i dati della tabella salvata con il nome **Moto 1**, di creare un grafico in cui rappresentare  $t$  sull'asse delle ascisse ( $X$ ) e  $s$  sull'asse delle ordinate ( $Y$ ).

Occorre innanzi tutto selezionare i dati da utilizzare nel grafico. Poiché le colonne sono adiacenti, procedi nel seguente modo.

**1** Seleziona nel modo consueto l'intervallo di celle A6:B9.

**2** Posizionati su nella barra degli strumenti e clicca.

Viene visualizzata la prima finestra intitolata Creazione guidata Grafico, simile a quella di figura 4, nella quale sono proposti i tipi più comuni di rappresentazioni grafiche.

L'icona permette di ottenere un grafico relativo alla zona evidenziata.

Dopo aver cliccato su di essa, il programma inizia la visualizzazione di quattro finestre di dialogo, attraverso le quali si procede alla creazione guidata del disegno. Basta seguire semplicemente le indicazioni. Nella casella di riepilogo di sinistra, intitolata Tipo di grafico, sono presenti numerose opzioni. Ogni volta che ne selezioni una, nella casella delle Scelte disponibili viene presentata un'anteprima delle possibili varianti. Prova a esplorarle tenendo conto che, premendo il pulsante in basso per visualizzare, viene mostrato un esempio esplicativo e ingrandito dell'opzione scelta, relativa ai dati del nostro problema.

**3** Seleziona Dispers. (X,Y) e poi, in Scelte disponibili, il tipo evidenziato in figura 4 (sfondo scuro).

**4** Una volta decisa la rappresentazione, clicca su

Viene visualizzata una seconda finestra contenente una bozza del grafico.

Sullo schermo ora c'è la seconda finestra in cui puoi vedere che i dati dello spazio sono sull'asse  $X$  e quelli del tempo sull'asse  $Y$  (fig. 5). Il programma infatti ha effettuato la scelta in base all'ordine con cui si trovano nel foglio elettronico le colonne di spazio e tempo. Ma dato che intendiamo rispettare la convenzione di riportare sull'asse delle ascisse la variabile indipendente (il tempo) e sull'asse delle ordinate la variabile dipendente (lo spazio), ci basta effettuare una piccola modifica per ottenerne ciò che vogliamo.

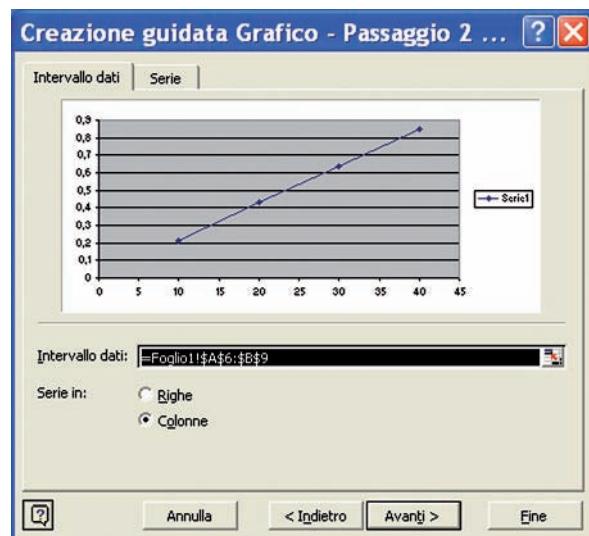
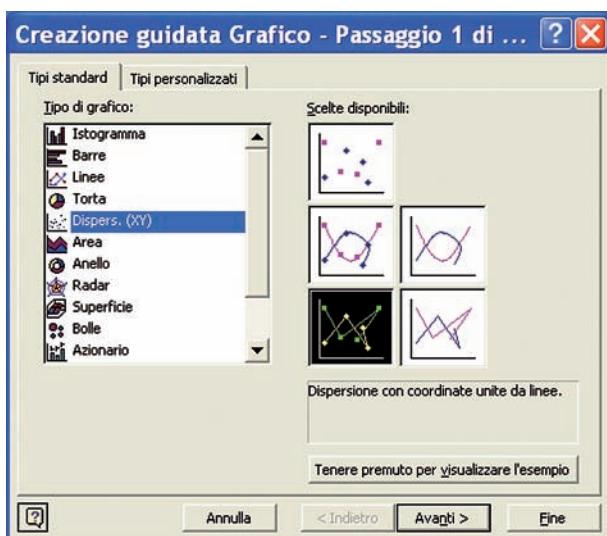


Figura 4

Figura 5

- 5** Clicca sulla lingetta in alto Serie. Compaiono nuove opzioni, come riportato in figura 6.
- 6** Nella casella Valori X modifica entrambe le A con B (evidenzi le A tramite il mouse e quindi le sostituisci con B).
- 7** In Valori Y fai il contrario, cioè sostituisci le B con A.
- 8** Clicca su **Avanti >**.
- Appare la terza finestra (fig. 7). Come puoi constatare, i dati sui due assi sono stati scambiati. Inoltre, sono presenti numerose opzioni che ti consentono di migliorare l'aspetto del grafico. Ogni volta che ne attivi una, puoi osservare il risultato nell'anteprima. Le azioni 9 ÷ 13 sono riferite a tale finestra.
- 9** Innanzi tutto, dopo aver controllato che in alto la voce Titoli sia attiva, clicca nella casella di testo Titolo del grafico e digita: **Moto rettilineo uniforme**; quindi, digita **Tempo** nella casella Asse dei valori (X) e **Spazio** nella casella Asse dei valori (Y).
- 10** Attiva l'opzione Assi e, se non lo sono, seleziona Asse dei valori (X) e Asse dei valori (Y).
- 11** Attiva l'opzione Griglia e seleziona Griglia principale sia in Asse dei valori (X) sia in Asse dei valori (Y).
- 12** Attiva l'opzione Legenda e deselectiona Mostra legenda.
- 13** Quando sei soddisfatto delle caratteristiche dell'anteprima, clicca sul pulsante **Avanti >**. Viene visualizzata l'ultima finestra dell'autocomposizione nella quale trovi due opzioni:
- Crea nuovo foglio: il grafico viene inserito in un nuovo foglio di lavoro intitolato Grafico1 facente parte del documento;
  - Come oggetto in: il grafico viene immesso nello stesso foglio su cui stai lavorando.
- 14** Seleziona la prima fra le due opzioni. Al tuo file viene così aggiunto un nuovo foglio: Grafico1. In altri termini, il documento su cui stai lavorando risulta composto di due pagine denominate Foglio1 e Grafico1. Il grafico si troverà in quella chiamata Grafico1.

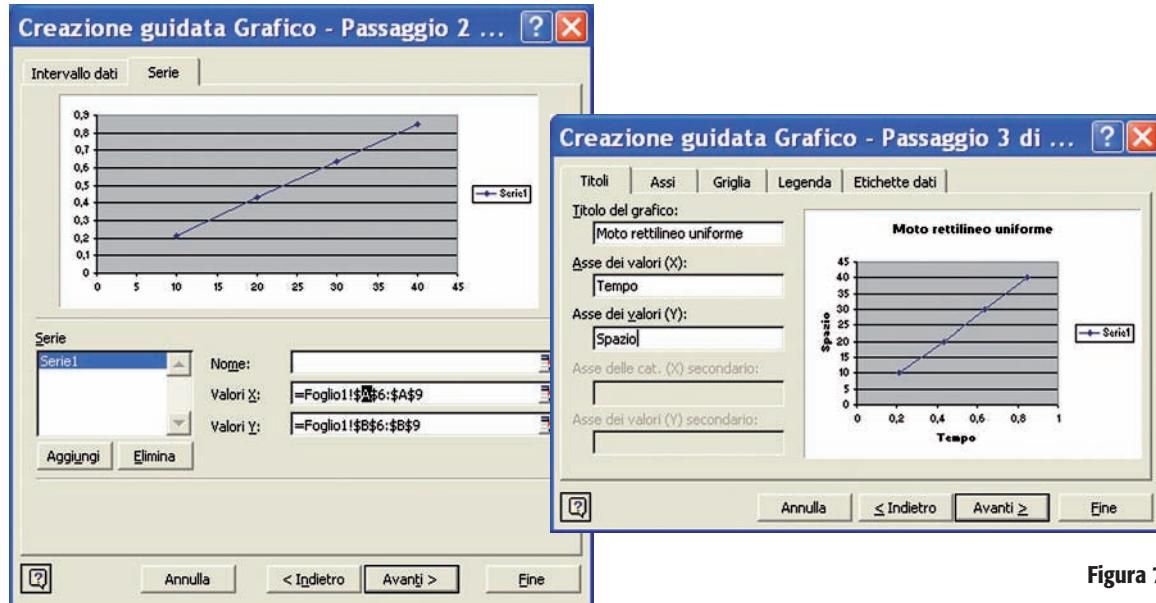
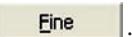


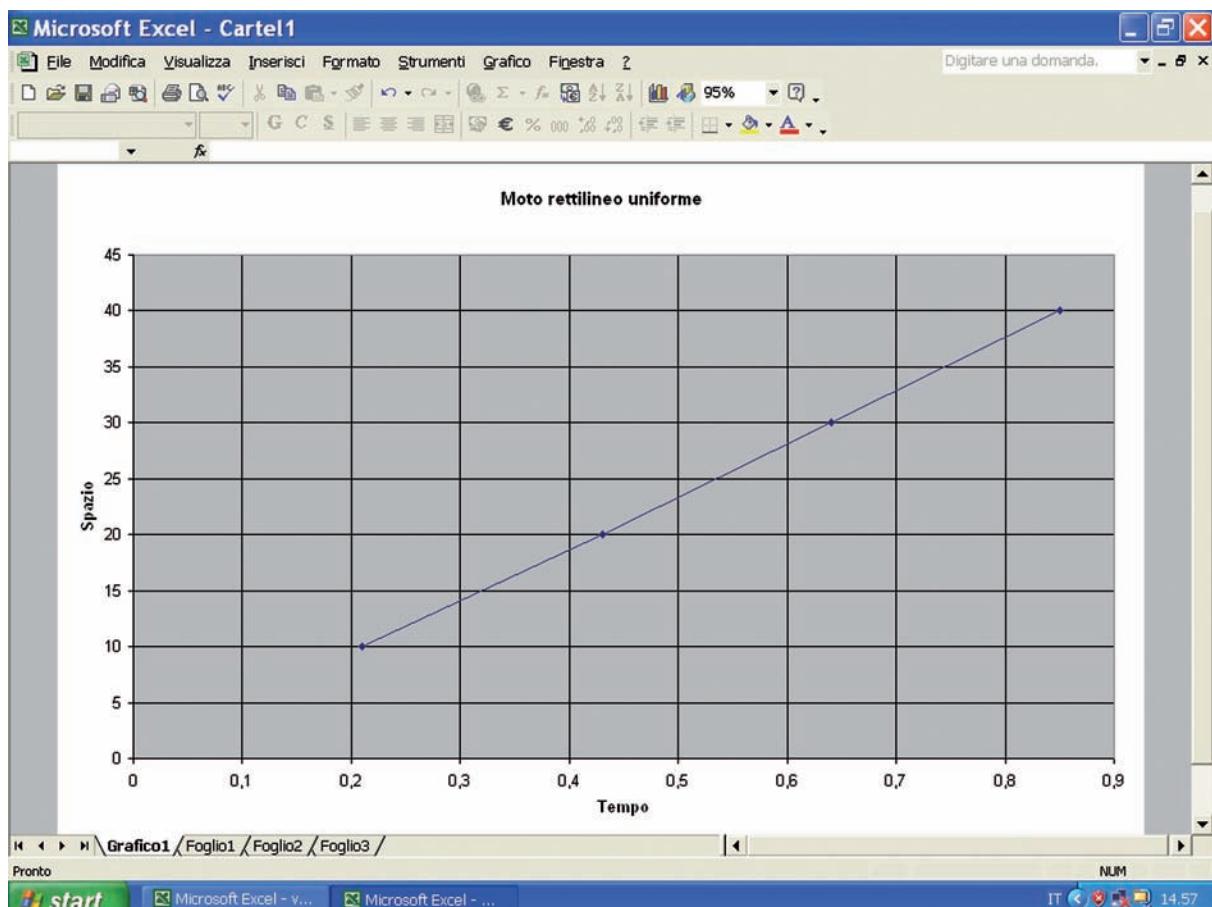
Figura 6

Figura 7

- 15 Clicca su .

In questo modo il grafico è completato. Se hai eseguito correttamente le varie azioni, esso dovrebbe apparire simile a quello di figura 8. In basso a sinistra puoi osservare che appare attiva la lingetta Grafico1.

Per cambiare pagina e tornare alla tabella basta cliccare sulla relativa lingetta (Foglio1).



**Figura 8**

### VISUALIZZARE L'ANTEPRIMA

Il lavoro è terminato. Risulta composto da una tabella (Foglio1) e da un grafico (Grafico1). Per passare da una pagina all'altra, basta cliccare sulle rispettive lingue in basso. Se il documento elaborato ti soddisfa, occorre salvarlo, dopodiché non rimane che trasferirlo su carta.

- 16 In alto, nella barra degli strumenti, clicca sull'icona .

Controlla che la stampante sia collegata, accesa e rifornita di carta. Se vi sono dei problemi, chiedi aiuto all'insegnante.

- 17 Nella barra degli strumenti clicca su .

In questo modo si ottiene una visualizzazione completa di come apparirà il foglio attivo una volta stampato.

- 18 Chiudi l'anteprima di stampa tramite il pulsante  in alto a destra.

## STAMPARE IL GRAFICO

- 19 Posizionati nuovamente nella barra del menu e clicca su File.  
Si apre un menu.

- 20 Posizionati su Stampa... e clicca.  
Si apre una finestra di dialogo che consente di scegliere fra numerose opzioni.  
In particolare, nel riquadro con intestazione Stampa controlla che sia selezionata la voce Fogli attivi.  
Con questo termine viene indicata la pagina del documento in cui stavi lavorando. (Ti segnaliamo che esiste la possibilità di ottenere la stampa della parte del documento evidenziata o dell'intero documento attivando, rispettivamente, le voci Selezione o Tutta la cartella).

- 21 Dopo esserti assicurato che tutte le indicazioni presenti nella finestra di dialogo Stampa corrispondano alle tue esigenze, clicca su .

Seguendo un altro percorso, puoi cliccare direttamente nella barra degli strumenti su . La stampante entrerà in azione stampando il documento.

Per concludere la sessione di lavoro, dopo aver salvato, consulta *Uscire dall'ambiente di lavoro*, qui di seguito.

## V. Uscire dall'ambiente di lavoro

### CHIUDERE IL PROGRAMMA

Per uscire definitivamente dall'ambiente Excel, dopo esserti ricordato di salvare cliccando in alto nella barra degli strumenti su , basta eseguire la seguente azione:

- 1 Clicca su  (quello più in alto a destra).  
Il programma si chiude e ritorna al sistema operativo Windows.

### TERMINARE LA SESSIONE DI LAVORO

Se vuoi smettere di utilizzare il computer e quindi lo vuoi anche spegnere, procedi nel seguente modo:

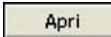
- 2 Estrai il CD-ROM dal lettore o la pen-drive dalla porta USB.  
  
3 Clicca sul pulsante  che si trova in basso a sinistra.  
Si apre il menu.  
  
4 Clicca su Chiudi sessione...  
Si apre una finestra di dialogo intitolata Fine della sessione di lavoro. Vi sono diverse opzioni.  
  
5 Seleziona l'opzione Arresta il sistema.  
  
6 Conferma cliccando sul pulsante .
- 7 Attendi che il computer si spenga da solo oppure che appaia il messaggio che ti autorizza a spegnerlo.

### 3.3 Mini manuale di Excel

#### Azioni

1. Entrare nell'ambiente di lavoro di Excel per iniziare un nuovo documento.
2. Aprire un file di Excel precedentemente salvato.
3. Attivare la barra degli strumenti standard.
4. Attivare la barra della formula.
5. Spostarsi da una cella a un'altra.
6. Scrivere testo o numeri in una cella.
7. Cancellare il contenuto di una cella attiva, cioè durante l'inserimento dei dati.

#### Che cosa fare

- A. Posizionati con il mouse sul pulsante  e clicca.  
Si apre un menu.
  - B. Seleziona nel menu la voce Programmi.  
Si apre un altro menu.
  - C. Seleziona Microsoft Excel e clicca.
  - A. Se hai salvato il lavoro in un CD-ROM o in una pen-drive, inseriscili nel lettore o nella porta USB rispettivamente.
  - B. Posizionati su File e clicca.  
Si apre un altro menu.
  - C. Posizionati su Apri... e clicca.
  - D. Apri la tendina Cerca in: cliccando sul tasto .
  - E. Seleziona la destinazione che ti interessa e clicca.
  - F. Seleziona il file Moto 1 e clicca su .  
Risulta visualizzata la tabella iniziale con l'aggiunta dei risultati inseriti nel corso del lavoro.
  - A. Posizionati sulla voce Visualizza della barra dei menu e clicca.  
Si apre il relativo menu.
  - B. Collocati sulla voce Barre degli strumenti. Si apre automaticamente un menu.
  - C. Seleziona l'opzione Standard, cliccando nel riquadro a sinistra in modo che vi appaia il simbolo di spunta .
  - A. Collocati sulla voce Visualizza della barra dei menu e clicca.  
Si apre il relativo menu.
  - B. Seleziona l'opzione Barra della formula, cliccando nel riquadro a sinistra, in modo che vi appaia il simbolo di spunta .
- Utilizza il cursore azionato dal mouse cliccando sulla cella per renderla attiva, oppure utilizza le frecce direzionali:
- 
- Posizionati sulla cella e scrivi; alla fine dell'inserimento dei dati clicca su <**Invio**> oppure esci dalla cella con le frecce direzionali.
- Utilizza il tasto backspace .

8. Cancellare il contenuto di una cella non attiva.
9. Introdurre una formula in una cella.
10. Introdurre in una formula un *indirizzo relativo*.
11. Introdurre in una formula un *indirizzo assoluto*.  
(Se il contenuto di una cella non deve essere modificato in fase di copiatura della formula, si introduce l'indirizzo assoluto.)
12. Terminare una sessione di lavoro.

Attivila con il cursore del mouse e utilizza il tasto <Canc>.

Rendi attiva la cella con il cursore e fai precedere la scrittura dal simbolo =.

Scrivi il riferimento della cella (esempio G7).

Scrivi il riferimento della cella aggiungendo il simbolo \$ (ad esempio, \$lettera\$numero, per cui la cella G7 diventa \$G\$7)

- A. Clicca sul pulsante  che si trova in basso a sinistra.  
Si apre un menu.
- B. Clicca su Chiudi sessione...  
Si apre una finestra di dialogo intitolata Fine della sessione di lavoro. Vi sono diverse opzioni.
- C. Seleziona l'opzione Arresta il sistema.
- D. Conferma cliccando su .
- E. Attendi che il computer si spenga da solo oppure che appaia il messaggio che ti autorizza a spegnere la macchina.

## Comandi

1. Salvare
2. Copiare
3. Incollare
4. Creare un grafico
5. Otttenere un'anteprima
6. Stampare
7. Visualizzare un aiuto
8. Ridurre a icona il foglio di lavoro
9. Rimpicciolire il foglio di lavoro
10. Ingrandire il foglio di lavoro
11. Chiudere il programma

## Icone



# Le misure dirette

## PREREQUISITI

Per affrontare la prova devi sapere:

- Che cosa significa misura diretta
- Che cos'è e come si scrive una misura
- Come si determina la sensibilità di uno strumento
- Che cos'è l'incertezza
- Come si calcola l'errore relativo

## 1 Titolo

Innanzitutto, si parte dal titolo dell'esperienza, che deve riassumere il senso dell'esperimento. In questo caso, poiché vogliamo fare delle misurazioni per mezzo di un confronto diretto tra alcune grandezze fisiche e le corrispondenti unità di misura, possiamo scrivere: **Misure dirette**.

## 2 Obiettivi

È necessario avere ben chiari gli **obiettivi** della prova di laboratorio ed elencarli.

In questa prova sono:

- a) individuare l'errore di sensibilità degli strumenti utilizzati;
- b) fare delle misurazioni, riportandone le scritture complete;
- c) dire qual è la misura più precisa e perché.

## 3a Schema e/o disegno

Talvolta, per la completezza della relazione, dovrà disegnare il dispositivo sperimentale utilizzato oppure lo schema rappresentativo di un sistema fisico. L'oggetto più significativo per ora è il pendolo semplice, che puoi rappresentare come in figura 1.

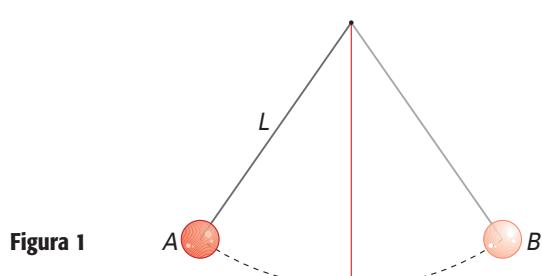


Figura 1

## 3b Materiale e strumenti

È necessario organizzare un elenco del materiale e degli strumenti utilizzati nel corso dell'esperienza. A parte il normale corredo di cancelleria, ora ti occorrerà il seguente materiale:

- foglio di carta formato A4;
- foglio di carta millimetrata;
- pendolo semplice;
- asta millimetrata (o strumento analogo);
- goniometro;
- cronometro.

## 4 Contenuti teorici

I **contenuti teorici**, la cui conoscenza è indispensabile innanzi tutto per capire ed eseguire correttamente la prova, quindi per poterla esporre chiaramente, sono fondamentalmente i concetti di *misura*, di *incertezza* e di *errore relativo*. Inoltre, devi saper rilevare l'errore di sensibilità di uno strumento e saper effettuare la lettura del valore di una grandezza. Ovviamente, parlando nella relazione di questi argomenti, devi cercare di essere molto essenziale.

## 5 Descrizione della prova

A questo punto è richiesta una descrizione delle modalità con le quali è stata eseguita la prova, cercando di evidenziare i contenuti fisici. È necessario eliminare il più possibile gli aspetti puramente descrittivi, di contenuto banale e tecnicamente non pertinente. In definitiva, devi riassumere le istruzioni operative con cui ci apprestiamo a guidarti passo-passo.

Iniziamo finalmente l'esecuzione della prova.

Osserva con attenzione il materiale che ti serve per l'esperienza, cercando di capire utilizzo e funzionalità delle varie componenti dell'attrezzatura. In ogni caso: *non fare nulla*, fino a quando non è conclusa la spiegazione da parte dell'insegnante e ti viene detto esplicitamente di metterti all'opera. Annota gli eventuali dubbi e cerca di chiarirli con il docente *prima* di dare il via alla fase operativa.

### Parte I: misura di un angolo

a) Su un foglio di carta millimetrata traccia due angoli, uno ottuso  $\alpha$  e l'altro acuto  $\beta$ .

b) Prendi il goniometro (fig. 2) e rileva il suo **errore di sensibilità**.

Devi individuare lo zero dello strumento e il primo valore numerico esplicitamente riportato subito dopo lo zero. Quindi, devi contare il numero di divisioni tra lo zero e il valore in questione. Avrai:

$$\text{errore di sensibilità} = \frac{\text{valore letto sulla scala}}{\text{numero divisioni fra } 0 \text{ e valore letto}} = \dots$$

c) Fai coincidere il centro del goniometro con il vertice del primo angolo  $\alpha$  e lo zero con una semiretta, dopodiché conta le divisioni fra lo zero e l'altra semiretta dell'angolo (fig. 2).

Avrai:

$$\begin{aligned} \text{valore della misura} &= (\text{numero divisioni contate}) \cdot \\ &\cdot (\text{errore di sensibilità}) = \dots \end{aligned}$$

d) Ripeti le operazioni per il secondo angolo  $\beta$  e riporta le scritture relative:

$$\alpha = (\dots \pm \dots) \dots \quad \beta = (\dots \pm \dots) \dots$$

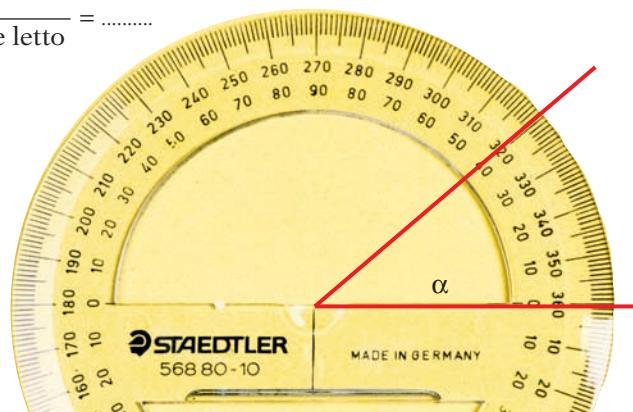


Figura 2

## Parte II: misura di base e altezza di un foglio A4

- a) Prendi un foglio di carta di formato A4. Indicheremo con  $b$  la base e con  $h$  l'altezza.
- b) Prendi un'asta millimetrata sufficientemente lunga (fig. 3) e rileva il suo **errore di sensibilità**. Devi individuare lo zero dello strumento e il primo valore numerico esplicitamente riportato subito dopo lo zero. Quindi devi contare il numero di divisioni tra lo zero e il valore in questione. Avrai:

$$\text{errore di sensibilità} = \frac{\text{valore letto sulla scala}}{\text{numero divisioni fra 0 e valore letto}} = \dots$$

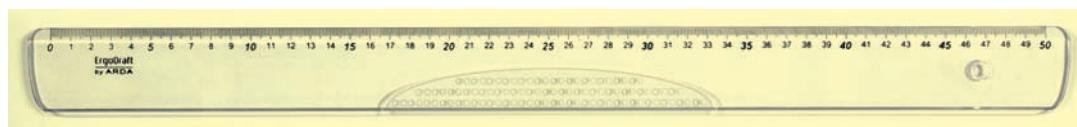


Figura 3

- c) Fai coincidere lo zero dell'asta millimetrata con il bordo del foglio e conta le divisioni fra lo zero e l'altro bordo secondo la base  $b$ . (Se hai già capito qual è il valore della misura, puoi passare direttamente al punto d.) Avrai:

$$\text{valore della misura} = (\text{numero divisioni contate}) \cdot (\text{errore di sensibilità}) = \dots$$

- d) Ripeti le operazioni per l'altezza  $h$  del foglio e riporta le scritture relative:

$$b = (\dots \pm \dots) \dots \quad h = (\dots \pm \dots) \dots$$

## Parte III: misura del tempo di oscillazione di un pendolo

Sul banco hai le parti di un pendolo semplice: base, asta di supporto, morsetti, filo inestensibile, peso. Il montaggio non è difficile (fig. 4). Facciamo ricorso a tale dispositivo in quanto ci offre un esempio di moto periodico (lo approfondiremo durante il corso), cioè un fenomeno che si ripete invariato nel tempo. Tu dovrà misurare l'intervallo di tempo relativo a cinque oscillazioni complete.

- a) Affinché possa essere verificata l'attendibilità della misura che ti appresti a fare, riporta la lunghezza del filo del pendolo, dal punto fisso fino al centro del peso agganciato all'estremità inferiore del filo:

$$L = (\dots \pm \dots) \dots$$

- b) Determina l'**errore di sensibilità** del cronometro (fig. 5). Devi individuare lo zero dello strumento e il primo valore numerico esplicitamente riportato subito dopo lo zero. Quindi devi contare il numero di divisioni tra lo zero e il valore in questione. Avrai:

$$\text{errore di sensibilità} = \frac{\text{valore letto sulla scala}}{\text{numero divisioni fra 0 e valore letto}} = \dots$$

(Prima di usare il cronometro, fai alcune prove che ti consentano di familiarizzare con questo strumento, in modo da effettuare correttamente lo *start*, lo *stop* e l'*azzeramento*).

Un'**oscillazione completa** corrisponde al movimento che porta il pendolo da  $A$  a  $B$  e quindi nuovamente in  $A$  (fig. 4). Devi portare il pendolo in una posizione diversa dalla verticale, con un angolo di apertura non troppo ampio e lasciarlo andare, cercando di non imprimergli nessuna spinta. Dopo alcune oscillazioni, quando ritorna nella posizione iniziale  $A$ , fai partire il cronometro.

Dopo aver fatto scattare il conteggio del tempo, quando il pendolo tornerà la prima volta in  $A$ , cioè *dopo* un'oscillazione completa, dirai «uno». E quindi «due», «tre»... e così via, fino a «cinque», momento nel quale fermerai il cronometro... senza azzerarlo!

- c) Effettua la misurazione dell'intervallo di tempo necessario perché il pendolo compia 5 oscillazioni complete. Potrai leggere direttamente il valore (e saltare al punto e) oppure avrai:

$$\text{valore della misura} = (\text{numero divisioni contate}) \cdot (\text{errore di sensibilità}) = \dots$$

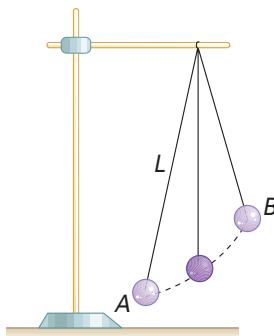


Figura 4



Figura 5

d) Ripeti le operazioni del punto precedente, misurando stavolta l'intervallo di tempo di 10 oscillazioni complete.

e) Alla fine avrai le due misure:

$$t_1 = (\dots \pm \dots) \dots \quad t_2 = (\dots \pm \dots) \dots$$

La parte operativa della prova è in tal modo conclusa.

## 6 Raccolta dei dati

Si tratta di trascrivere i dati raccolti, cosa che in realtà hai già fatto. Tuttavia, quando è possibile si preferisce ordinarli in una tabella. In questo caso ti suggeriamo di organizzare la seguente tabella, nella quale per ora puoi compilare solo le colonne 2 e 3.

**Tabella 1**

1 grandezza	2 $x_M$ (valore misurato)	3 $\Delta x$ (incertezza)	4 $\varepsilon_r$ (errore relativo)
$\alpha$ (°)			
$\beta$ (°)			
$b$ (cm)			
$h$ (cm)			
$t_1$ (s)			
$t_2$ (s)			

## 7 Elaborazione

Terminata la fase esecutiva, sulla base degli obiettivi fissati inizialmente, dobbiamo passare ai calcoli opportuni. In particolare si tratta di determinare gli errori relativi. I calcoli sono in realtà semplici, in quanto basterà dividere le incertezze (ovvero gli errori di sensibilità) per i corrispondenti valori delle misure. Ricordati che il pedice  $M$  sta per «misurato» ed è riferito al valore della grandezza:

$$\text{angolo } \alpha: \quad \varepsilon_r(\alpha) = \Delta x(\alpha)/\alpha_M = \dots \quad \text{lunghezza } h: \quad \varepsilon_r(h) = \Delta x(h)/h_M = \dots$$

$$\text{angolo } \beta: \quad \varepsilon_r(\beta) = \Delta x(\beta)/\beta_M = \dots \quad \text{tempo } t_1: \quad \varepsilon_r(t_1) = \Delta x(t_1)/t_{1M} = \dots$$

$$\text{lunghezza } b: \quad \varepsilon_r(b) = \Delta x(b)/b_M = \dots \quad \text{tempo } t_2: \quad \varepsilon_r(t_2) = \Delta x(t_2)/t_{2M} = \dots$$

Per ogni errore relativo, riportane in tabella il risultato con almeno tre cifre significative (ricorri alla quarta solo nel caso in cui i valori arrotondati apparissero uguali).

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Alla fine, una volta elaborati i dati, bisogna trarre le *conclusioni* in relazione agli obiettivi prefissati. Nella nostra prova vogliamo determinare la misura più precisa. Quindi, una volta osservati i risultati e individuato il valore minore dell'errore relativo, che identifica la misura più precisa, scriverai, per esempio: «I valori trovati per gli errori relativi sono attendibili, in quanto sono tutti più piccoli di 1, così come deve essere, trattandosi del rapporto tra l'incertezza e il valore della misura.

La misura più precisa è la ..., cioè:

$$\dots = (\dots \pm \dots) \dots$$

in quanto è quella che ha l'errore relativo minore».

Così, la prova e la corrispondente relazione sono terminate!

# Serie di misure e misure indirette

## PREREQUISITI

Per affrontare la prova devi sapere:

- Come si scrive una misura
- Che cos'è l'errore relativo
- Come si elabora una serie di misure
- Leggi di propagazione degli errori

## 1 Titolo

Il titolo comprende i due argomenti che riguardano la prova: **Serie di misure e misure indirette**.

## 2 Obiettivi

Gli obiettivi principali sono:

- a) ricavare una serie di misure relativa al periodo  $T$  di un pendolo semplice ed elaborarla, calcolandone il valore medio e l'errore massimo, giungendo infine alla scrittura della misura di  $T$ ;
- b) imparare a utilizzare il calibro;
- c) calcolare il volume  $V$  di un solido regolare (un parallelepipedo) e l'incertezza corrispondente tramite le leggi di propagazione degli errori.

## PARTE I: PERIODO DI UN PENDOLO SEMPLICE

### 3a Schema e/o disegno

Nella figura 1 è riprodotto schematicamente un pendolo semplice.

### 3b Materiale e strumenti

Il materiale utilizzato è il seguente:

- asta di supporto e morsetti;
- pendolo semplice;
- asta millimetrata;
- cronometro al centesimo di secondo.

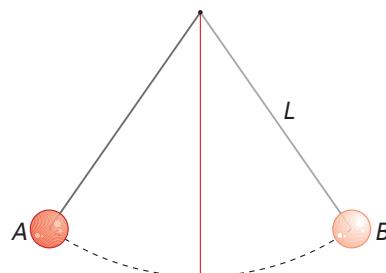


Figura 1

## 4 Contenuti teorici

Gli elementi teorici, che puoi riassumere, cercando di dare all'esposizione un taglio sintetico e personale, sono quelli relativi alle serie di misure, con puntualizzazione del significato del valore medio e dell'errore massimo.

## 5 Descrizione della prova

Per quanto riguarda le modalità di utilizzo del cronometro e la determinazione del periodo del pendolo semplice, facciamo riferimento alla scheda 1. L'unica differenza è che questa volta la misurazione di  $T$  sarà ripetuta più volte, in modo tale da procedere poi all'elaborazione della serie di misure trovata. Ecco le istruzioni da seguire.

- Procedi al montaggio del *pendolo semplice*.
- Rileva la lunghezza  $L$  del filo (fig. 1) con l'asta millimetrata e scrivi correttamente la sua misura prima della tabella 1 al punto 6.
- Misura il tempo  $t$  di 5 oscillazioni complete del pendolo semplice, riportando il suo valore nella colonna 1 della tabella 1 e l'incertezza, cioè l'errore di sensibilità del cronometro,  $\Delta x(t)$  nella colonna 2.
- Ripeti la misurazione del tempo  $t$  (relativo a 5 oscillazioni complete del pendolo semplice) almeno altre 9 volte, in modo tale da avere una serie di 10 misure da riportare nella colonna 1 della tabella 1.

Per quanto tu possa cercare di effettuare scrupolosamente le misure, i risultati da te ottenuti saranno significativamente differenti gli uni dagli altri (per lo meno ben oltre i due millesimi di incertezza della singola misura): non può essere altrimenti. Nota che non c'è bisogno, usando lo stesso cronometro, di ricalcolare ogni volta l'incertezza di  $t$ . Tuttavia, è bene che nella tabella la riporti sempre.

## 6 Raccolta dei dati

I dati relativi al pendolo semplice li puoi ordinare come segue.

$$L = (\dots \pm \dots) \dots$$

**Tabella 1**

1 $t$ (s)	2 $\Delta x (t)$	3 $T$ (s)	4 $\Delta x (T)$
11,24	0,01	2,248	0,002
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...

## 7 Elaborazione

Nella colonna 3 della tabella 1 dovrai riportare dividendoli per 5 i valori di  $t$  che si trovano nella colonna 1, al fine di ottenere il periodo  $T$  del pendolo, vale a dire l'intervallo di tempo di una sola oscillazione. Per quanto riguarda l'incertezza di  $T$ , essa sarà data da  $\Delta x(T)$  diviso per il numero totale delle oscillazioni e va a occupare le celle della colonna 4.

Se, per esempio, facendo ricorso a un cronometro al centesimo di secondo, per cui  $\Delta x(t) = 0,01$  s, trovi che il tempo complessivo di 5 oscillazioni vale  $t_1 = 11,24$  s, avrai allora come valore del periodo  $T_1$ :

$$T_1 = \frac{t_1}{5} = \frac{11,24}{5} = 2,248 \text{ s}$$

e, per la corrispondente incertezza:

$$\Delta x(T) = \frac{\Delta x(t)}{5} = \frac{0,01}{5} = 0,002 \text{ s}$$

Questo perché in teoria l'errore di sensibilità (0,01 s) si distribuisce su tutte e cinque le oscillazioni complete. Ma ti sembra plausibile che si abbia un'incertezza davvero così piccola (due millesimi di secondo!) per la singola misura? Riflettendo sul procedimento piuttosto approssimativo che hai dovuto seguire per determinare il periodo  $T$ , facendo partire e arrestando il cronometro *a occhio*, constaterai che il risultato finale, ottenuto dopo avere elaborato la serie di misure, sarà notevolmente diverso, con un intervallo di indeterminazione ben più ampio.

Una volta completata la tabella 1 con i valori del periodo  $T$ , ottenuto dividendo per 5 i tempi complessivi  $t$ , si tratterà di calcolare il valore medio relativo ai dati della colonna 3 e il corrispondente errore massimo:

$$T_M = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{5} = \dots \quad \Delta x(T) = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} = \dots$$

Dopo avere arrotondato, se necessario, l'errore massimo (per eccesso alla prima cifra significativa) e il valore medio (fino alla cifra corrispondente a quella che rappresenta l'errore massimo), scrivi la misura del periodo  $T$  del pendolo semplice:

$$T = (\dots \pm \dots) \dots$$

che porrai bene in evidenza.

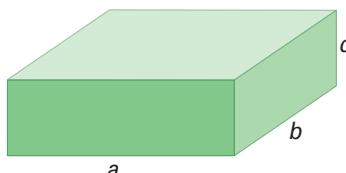
## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

In questa relazione, a causa della tipologia della prova nella quale mancano dei riferimenti con cui confrontare i risultati raggiunti, le conclusioni sono limitate.

Per la serie di misure relativa al periodo  $T$ , puoi cercare di valutare l'entità dell'errore massimo in rapporto all'incertezza delle singole misure, commentandone la discrepanza.

## PARTE II: USO DEL CALIBRO A CURSOR E VOLUME DI UN PARALLELEPIPEDO

### 3a Schema e/o disegno



**Figura 2**

### 3b Materiale e strumenti

Il materiale utilizzato è il seguente:

- solidi di forma regolare (parallelepipedi);
- calibro ventesimale.

## 4 Contenuti teorici

I contenuti teorici riguardano le caratteristiche principali del *calibro* (per le quali dovrà fare riferimento a quanto ti verrà presentato qui di seguito), le misure indirette e le leggi di propagazione degli errori.

### Funzionamento del calibro

Passiamo adesso a una rapida spiegazione del funzionamento del **calibro** (fig. 3).

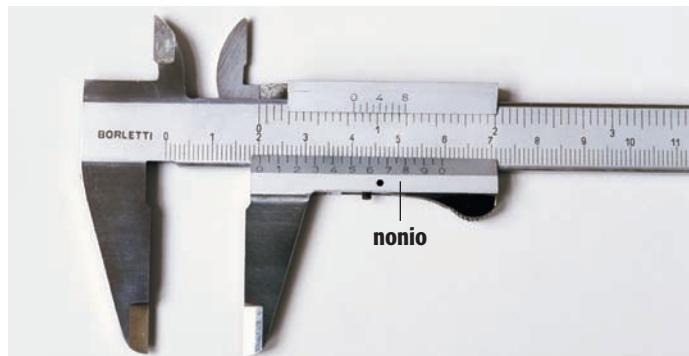
La parte mobile del calibro è chiamata **nonio**. Grazie a essa è possibile riuscire a portare l'errore di sensibilità dello strumento fino a un ventesimo di millimetro:  $\Delta x = 0,05 \text{ mm}$ . (Infatti,  $\frac{1}{20}$  di mm corrisponde a 0,05 mm).

Puoi notare che, chiudendo il calibro, vale a dire allineando lo zero del nonio con lo zero della scala principale, le venti divisioni del nonio coprono 39 mm, anziché 40 mm. Questo vuol dire che la divisione che si trova fra 0 e 1 nel nonio risulta spostata all'indietro di  $\frac{1}{20}$  di millimetro rispetto alla divisione della scala principale subito sopra di essa.

Le due divisioni sembrano sovrapposte, ma non lo sono: se guardi le tacche successive, gli scostamenti (che sono di  $\frac{2}{20}$  di mm,  $\frac{3}{20}$  di mm, ecc.) cominciano a notarsi meglio.

Come si fa una lettura sul calibro? Sempre con riferimento alla figura 3, si va a leggere su quale valore nella scala principale si è posizionato lo zero del nonio. Nel nostro caso, più di **20 mm**: quindi il valore della misura sarà qualcosa del tipo **20,... mm**. Come facciamo a capire quale frazione di millimetro aggiungere? È semplice. Andiamo a rilevare quale divisione del nonio si sovrappone esattamente a una delle divisioni sulla scala principale. In figura, questo accade per la tacca del nonio con valore 3. Dunque la misurazione sarà:

$$L = (20,30 \pm 0,05) \text{ mm}$$



**Figura 3**

## 5 Descrizione della prova

Dopo aver misurato con il calibro ventesimale i tre spigoli di un parallelepipedo, ne calcolerai il volume e il corrispondente errore di propagazione.

Prima di passare però a effettuare le misurazioni relative ai tre spigoli del parallelepipedo che ti è stato consegnato, ti conviene fare delle prove, mettendo il nonio del calibro in posizioni casuali (vedi **help 1**). Sottoponi quindi la tua lettura alla verifica del docente o di un compagno.

Esegui la misurazione degli spigoli del parallelepipedo, riportando le misure delle tre lunghezze  $a$ ,  $b$  e  $c$  in modo completo, cioè come quella di  $L$  nell'esempio precedente, e scrivendole chiaramente al punto 6.

## 6 Raccolta dei dati

Dati relativi al solido regolare:

$$a = (\dots \pm \dots) \dots \quad b = (\dots \pm \dots) \dots \quad c = (\dots \pm \dots) \dots$$

## 7 Elaborazione

Per quanto riguarda la misura del volume del solido:

- Calcola il volume:

$$V_M = a_M \cdot b_M \cdot c_M = \dots$$

- Calcola gli errori relativi dei tre spigoli:

$$\varepsilon_r(a) = \frac{\Delta x(a)}{a_M} = \dots \quad \varepsilon_r(b) = \frac{\Delta x(b)}{b_M} = \dots \quad \varepsilon_r(c) = \frac{\Delta x(c)}{c_M} = \dots$$

- Trova l'errore relativo del volume, utilizzando la legge di propagazione degli errori per il prodotto:

$$\varepsilon_r(V) = \varepsilon_r(a) + \varepsilon_r(b) + \varepsilon_r(c) = \dots$$

- Determina l'incertezza del volume con la formula inversa:

$$\Delta x(V) = \varepsilon_r(V) \cdot V_M = \dots$$

- Arrotonda l'incertezza e quindi il valore della grandezza e scrivi, se è il caso cambiando unità di misura (portandoti da mm<sup>3</sup> a cm<sup>3</sup>):

$$V = (\dots \pm \dots) \dots$$

Anche tale risultato lo metterai bene in evidenza.

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Per la misura indiretta del volume  $V$ , puoi paragonare la sua incertezza con quelle di partenza relative agli spigoli del parallelepipedo: è aumentata, è diventata cioè più grave? Da quale errore di sensibilità è stato maggiormente influenzato il volume, da quello su  $a$ , su  $b$  o su  $c$ ?

### help 1

Se per caso hai dei dubbi, controlla le divisioni immediatamente a sinistra e a destra di quella che hai scelto tu. Se la lettura è corretta, vedrai la divisione di sinistra del nonio leggermente avanti rispetto alla divisione più vicina nella scala principale e quella di destra del nonio leggermente indietro rispetto alla divisione più vicina nella scala principale.

# 3

# La molla e la legge di Hooke

## PREREQUISITI

Per affrontare la prova devi sapere:

- Definizione di forza
- Unità di misura della forza
- Che cos'è il dinamometro
- Come si rappresenta la legge di Hooke nel grafico forza-allungamento
- Che cos'è la costante elastica di una molla

## 1 Titolo

Il titolo di questa relazione, che riguarda una prova finalizzata alla conferma della legge nota a priori del comportamento elastico di una molla, è: **Verifica della legge di Hooke**.

## 2 Obiettivi

Lo scopo essenziale è:

- capire come si comporta una molla sottoposta a una forza esterna, cioè determinarne la costante elastica.

Inoltre, vogliamo anche:

- verificare esplicitamente la diretta proporzionalità tra forza applicata e allungamento;
- posizionare nel grafico forza-allungamento i punti sperimentali;
- tracciare la retta rappresentativa della legge di Hooke.

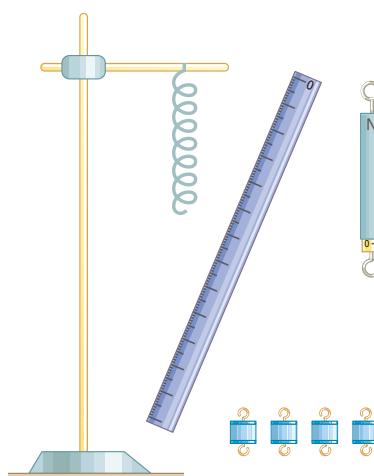
## 3a Schema e/o disegno

Il dispositivo standard è quello illustrato in figura 1.

## 3b Materiale e strumenti

Il materiale utilizzato è il seguente (fig. 1):

- asta di supporto;
- molla;
- asta millimetrata;
- pesetti;
- dinamometro o bilancia.



**Figura 1**

## 4 Contenuti teorici

Le conoscenze teoriche che devi mettere a punto sono nello specifico la definizione, la misurazione e l'unità di misura della forza, l'andamento del grafico forza-allungamento per una molla che si comporti in modo elastico e, ovviamente, l'enunciato e l'interpretazione della legge di Hooke, con particolare riferimento alla diretta proporzionalità.

## 5 Descrizione della prova

A questo punto devi ripercorrere in maniera sintetica le varie tappe operative che ti hanno portato al completamento della prova, nella cui esecuzione ci accingiamo a guidarti punto per punto.

In generale, per l'esecuzione di questa prova sperimentale si ha a disposizione il materiale per ciascun gruppo di lavoro, per cui in ogni tavolo gli studenti possono operare autonomamente. Nella fase esecutiva è opportuno che tu e i tuoi compagni vi alterniate nei vari compiti, ripetendo magari più volte una stessa misurazione, in modo tale che ognuno prenda confidenza con tutti gli aspetti della prova.

Iniziamo l'esecuzione della prova.

- Monta il supporto necessario (come in figura 1) e appendi la molla.
- Posiziona l'asta millimetrata verticalmente e regola l'altezza della molla in modo tale che lo zero coincida con l'estremo superiore fisso della molla.
- Misura la lunghezza a riposo  $L_0$  della molla, leggendo il valore sull'asta millimetrata in corrispondenza dell'estremo inferiore (fig. 2).
- Prendi uno dei pesetti a disposizione e appendilo alla molla, accompagnandolo verso il basso fino alla posizione di equilibrio, senza cioè lasciarlo andare bruscamente.
- Una volta lasciato il peso e aspettato che la molla termini le eventuali oscillazioni verticali, passa a misurare la nuova lunghezza della molla  $L_1$  (o la nuova posizione nell'asta millimetrata, a seconda della scelta fatta), con riferimento evidentemente all'estremo inferiore della molla e non del pesetto (fig. 3).
- Ripeti la misurazione tante volte quanti sono i pesetti in dotazione (in genere da sei a otto), compilando la colonna 2 della tabella 1 riportata nella pagina seguente.
- Misura la forza applicata man mano alla molla tramite i pesetti adoperati: ti basterà appendere sull'asta di supporto al posto della molla il dinamometro (fig. 4), azzerarlo (posizionando la parte mobile in modo tale che si trovi in corrispondenza dello zero), agganciare prima un solo pesetto, poi due, e così via, rilevarne la misura e riportare i valori nella colonna 5 della tabella 1.
- Nella colonna 6 riporta l'errore di sensibilità del dinamometro (l'incertezza delle forze applicate).

In alternativa, puoi avere a disposizione invece una bilancia per la misurazione delle masse dei pesetti. In tal caso, dopo avere determinato le masse di uno, due, tre ecc. pesetti, dovrai individuare le forze, calcolando i rispettivi pesi così come indicato nella rubrica **help 1** che trovi in fondo alla scheda.

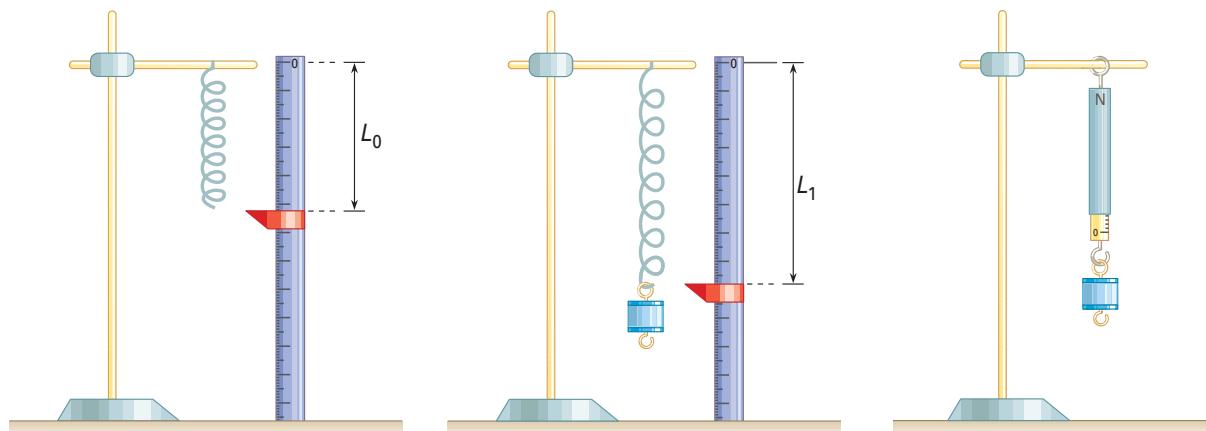


Figura 2

Figura 3

Figura 4

## 6 Raccolta dei dati

Per non appesantire la tabella, all'esterno di essa riporta chiaramente l'errore di sensibilità dell'asta millimetrata, che costituisce l'incertezza di  $L_0$ ,  $L_1$ ,  $L_2$  e così via:

$$\Delta x(L) = 0,001 \text{ m}$$

**Tabella 1**

1	2	3	4	5	6	7	8
$L_0$ (m)	$L$ (m)	$\Delta L = L - L_0$ (m)	$\Delta x(\Delta L)$ (m)	(F) (N)	$\Delta x(F)$ (N)	$K = \frac{F}{\Delta L}$ (N/m)	$\Delta x(K)$ (N/m)
0,300	0,315	0,015	0,002	0,49	0,01	33	5
0,300	...	...	0,002	...	...	...	...
0,300	...	...	0,002	...	...	...	...
0,300	...	...	0,002	...	...	...	...
0,300	...	...	0,002	...	...	...	...
0,300	...	...	0,002	...	...	...	...

Nella tabella abbiamo introdotto degli ipotetici valori (che ovviamente non è detto che corrispondano ai tuoi), per poter illustrare i calcoli da eseguire.

## 7 Elaborazione

### I calcoli

Nella colonna 3 sono riportati gli allungamenti  $\Delta L$  della molla:

$$\Delta L_1 = L_1 - L_0 = 0,315 - 0,300 = 0,015 \text{ m}$$

Presta attenzione a non confondere il simbolo  $\Delta$  della variazione (in questo caso di lunghezza) con quello dell'incertezza.

La colonna 7 contiene il valore calcolato della costante elastica ottenuta con i dati raccolti:

$$K = \frac{F}{\Delta L} = \frac{0,49}{0,015} = 32,66667 \cong 33 \text{ N/m}$$

Nelle righe successive vanno ripetute tali elaborazioni.

(Nel caso l'insegnante richieda la determinazione delle incertezze della costante elastica  $K$  tramite le leggi di propagazione degli errori, per la qual cosa occorre completare le colonne 4 e 8, puoi riguardare i procedimenti necessari rispettivamente nelle rubriche [help 2](#) ed [help 3](#)).

### Il grafico

Passiamo ora alle indicazioni per tracciare il grafico. Sulla carta millimetrata riporta l'asse delle  $X$  per gli allungamenti (colonna 3 della tabella) e l'asse delle  $Y$  per le forze applicate (colonna 5), scegliendo le scale che ti consentono di occupare il più possibile il foglio a disposizione. Dopodiché, individua il punto relativo a una determinata coppia di valori (per esempio:  $\Delta L = 0,015 \text{ m}$  ed  $F = 0,49 \text{ N}$ ). Fatto ciò, devi premurarti di riportare anche gli intervalli di indeterminazione dei due valori, uno lungo l'asse  $X$  e l'altro lungo l'asse  $Y$  (fig. 5).

Riportati tutti gli intervalli di indeterminazione, la retta che dobbiamo tracciare difficilmente passerà esattamente per i centri degli stessi intervalli. Ma non è necessario: il risultato della prova sarà buono se

riusciamo a trovarne una che attraversi comunque tutti i rettangoli, confermando l'ipotesi della diretta proporzionalità fra forza applicata e allungamento e, in definitiva, della validità della legge di Hooke. Dovresti trovare qualcosa di simile a quanto illustrato nella figura 5.

Facciamo passare la retta per l'origine in quanto, quando la forza applicata alla molla è zero, anche l'allungamento vale zero.

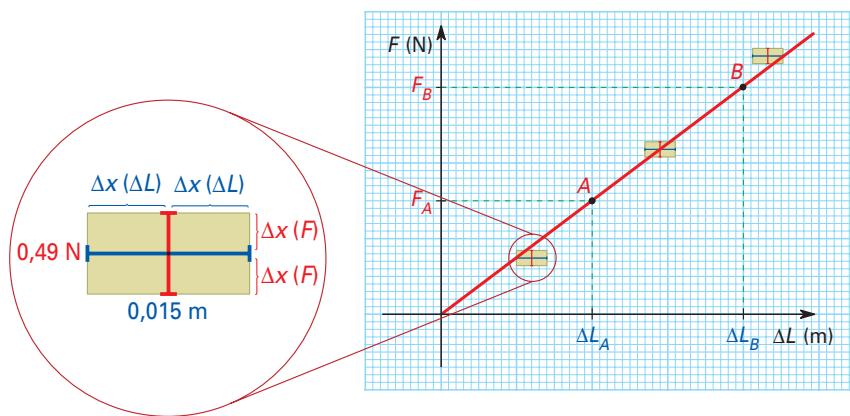


Figura 5

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Se sei riuscito a trovare una retta che, partendo dall'origine degli assi, attraversa tutti gli intervalli sperimentali, allora puoi concludere di avere verificato la legge di Hooke: effettivamente forza applicata e allungamento della molla sono direttamente proporzionali. La costanza del loro rapporto, cioè della costante elastica  $K$ , dovrebbe costituirne un'ulteriore conferma.

In caso contrario, se cioè non hai trovato la retta desiderata, allora devi cercare di dire quali problemi si sono verificati durante la prova.

Alla base di un insuccesso della prova, potrebbero esserci i seguenti motivi:

- la molla era danneggiata, per cui non ha più un comportamento veramente elastico;
- la taratura del dinamometro non era ottimale;
- le misurazioni degli allungamenti presentavano incertezze che in realtà superavano la sensibilità dell'asta millimetrata.

Ricorda che non è ammissibile elencare nei punti di cui sopra l'ipotesi che tu abbia commesso degli *sbagli* nell'eseguire la prova oppure nell'elaborazione dei dati: questa è una circostanza che dovresti cercare di evitare e che non ha nulla a che vedere con le *incertezze* delle misure!

## Risultato complessivo

In generale, al termine di una relazione si devono fornire uno o più risultati numerici, che dipendono dagli obiettivi fissati. Nel nostro caso, i risultati potrebbero essere:

- La misura della costante elastica, individuata elaborando come serie di misure i valori della colonna 7 della tabella 1, calcolandone in altre parole il valore medio, l'errore massimo e scrivendo:

$$K = (\dots \pm \dots) \text{ N/m}$$

- La misura della costante elastica in base alla pendenza della retta del grafico, tramite l'individuazione dei valori e delle rispettive incertezze di  $F$  e di  $\Delta L$  in corrispondenza a due punti  $A$  e  $B$ , scelti sulla retta e diversi da quelli sperimentali (vedi figura 5):

$$K = \frac{F_B - F_A}{\Delta L_B - \Delta L_A} = \dots \text{ N/m}$$

$$\Delta x(K) = \left[ \frac{\Delta x(F_B) + \Delta x(F_A)}{F_B - F_A} + \frac{\Delta x(\Delta L_B) + \Delta x(\Delta L_A)}{\Delta L_B - \Delta L_A} \right] \cdot K = \dots \text{ N/m}$$

**help 1**

Se devi trasformare una certa massa (in grammi) nel peso corrispondente (in newton), dovrà:

- convertirla in kilogrammi, dividendola per 1000;
- moltiplicare il valore della massa in kilogrammi per 9,81 (m/s<sup>2</sup>).

Se per esempio 1 pesetto ha una massa di 50 g, allora, essendo  $50 \text{ g} = \frac{50}{1000} = 0,050 \text{ kg}$ , avrai:

$$F = 0,050 \cdot 9,81 \cong 0,49 \text{ N}$$

**help 2**

Quando calcoli  $\Delta L_1 = L_1 - L_0$  tieni presente che la sua incertezza è data dalla somma delle incertezze di  $L_0$  e di  $L_1$ , vale a dire gli errori di sensibilità individuati sull'asta millimetrata (che di solito è 1 mm):

$$\Delta x(\Delta L_1) = \Delta x(L_1) + \Delta x(L_0) = 0,001 + 0,001 = 0,002 \text{ m}$$

**help 3**

Se vuoi trovare l'incertezza di  $K$ , essendo la costante elastica data dal rapporto fra  $F$  e  $\Delta L$ , devi seguire questi passaggi:

**1.** Calcoli l'errore relativo di  $K$ , che è la somma degli errori relativi di  $F$  e di  $\Delta L$ :

$$\varepsilon_r(K) = \varepsilon_r(F) + \varepsilon_r(\Delta L) = \frac{\Delta x(F)}{F} + \frac{\Delta x(\Delta L)}{\Delta L} = \frac{0,01}{0,49} + \frac{0,002}{0,015} \cong 0,02041 + 0,13333 = 0,15374$$

**2.** Trovi l'incertezza di  $K$  tramite la formula inversa:

$$\Delta x(K) = \varepsilon_r(K) \cdot K = 0,15374 \cdot 32,66667 = 5,02217 \cong 5 \text{ N/m}$$

**3.** Arrotondi il valore di  $K$ , in base all'incertezza corrispondente:

$$K = 32,66667 \cong 33 \text{ N/m}$$

# 4 La regola del parallelogramma

## PREREQUISITI

Per affrontare la prova devi sapere:

- Definizione di vettore
- Regola del parallelogramma
- Come si utilizza un dinamometro
- Unità di misura della forza

## 1 Titolo

Il titolo di questa relazione, che riguarda un aspetto fondamentale delle grandezze vettoriali è: **Verifica del carattere vettoriale delle forze**.

## 2 Obiettivi

Lo scopo essenziale è quello di verificare che due vettori (forze) componendosi fra loro in una somma determinano un vettore risultante del quale modulo, direzione e verso sono definiti mediante la cosiddetta **regola del parallelogramma**.

## 3a Schema e/o disegno

Il dispositivo standard è quello rappresentato in figura 1.

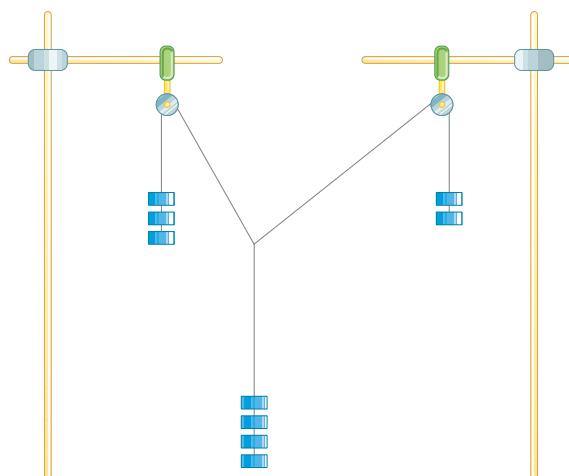


Figura 1

### 3b Materiale e strumenti

Il materiale utilizzato è il seguente:

- aste di supporto;
- carrucole;
- piano verticale;
- filo;
- pesetti;
- dinamometro;
- goniometro.

Il materiale ora descritto può essere nei primi tre elementi sostituito con un disco verticale dotato di carrucole mobili poste ai bordi oppure con il tavolino di Varignon a configurazione orizzontale, come rappresentato in figura 2. Lo svolgimento della prova comunque non cambia.

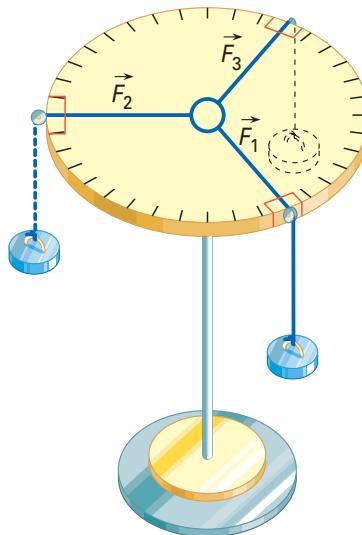


Figura 2

### 4 Contenuti teorici

Qui puoi riassumere le caratteristiche fondamentali dei vettori, cioè che li contraddistingue dalle grandezze scalari, soffermandoti in particolare su come si effettua la somma tra due o più vettori. Quindi, con riferimento alle forze, puoi suggerire per quali motivi esse inducano il sospetto di essere dei vettori, da cui il tentativo di vedere se ubbidiscono o no alla regola del parallelogramma.

### 5 Descrizione della prova

Per realizzare il nostro obiettivo, vedremo se due forze  $\vec{F}_1$  ed  $\vec{F}_2$ , dirette in modo tale da formare fra loro un certo angolo  $\alpha$ , vengono equilibrate da una forza  $\vec{F}_3$  agente dalla parte opposta rispetto all'angolo  $\alpha$  (fig. 3). Se questo accade, vuol dire che  $\vec{F}_1$  ed  $\vec{F}_2$  si compongono in modo tale da formare una risultante  $\vec{F}_{\text{tot}}$  uguale e opposta per le condizioni di equilibrio alla  $\vec{F}_3$ , che annulla la  $\vec{F}_3$ . Se allora, ribaltando quest'ultima (indicando con  $-\vec{F}_3$  tale vettore) e componendo  $\vec{F}_1$  ed  $\vec{F}_2$  secondo la regola del parallelogramma in modo da individuare  $\vec{F}_{\text{tot}}$ , troviamo che entro i limiti sperimentali  $\vec{F}_{\text{tot}}$  ed  $-\vec{F}_3$  si sovrappongono, avremo dimostrato che le forze sono dei vettori che ubbidiscono alla regola del parallelogramma. Realizziamo le forze  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  ed  $\vec{F}_3$  tramite dei pesi opportuni.

Iniziamo l'esecuzione della prova.

- a) Monta i supporti necessari per posizionare le carrucole, come illustrato in figura 1.
- b) Lega l'estremità di un filo al centro di un secondo filo e fai tre occhielli alle tre estremità libere.
- c) Appendi i pesetti negli occhielli, che saranno in numero inferiore nei due fili laterali e superiore in quello centrale.
- d) Poiché non è detto che, con i pesetti a disposizione e in una determinata posizione delle carrucole, trovi facilmente l'equilibrio fra le tre forze, dovrà regolare il numero dei pesetti e la posizione reciproca delle carrucole in modo tale che alla fine il sistema di pesi resti immobile.

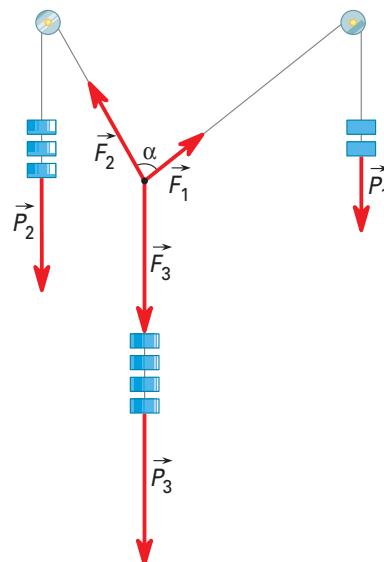


Figura 3

Grazie ai fili e alle carruccole, la direzione dei pesi laterali verticali viene modificata, per cui le due forze  $\vec{F}_1$  ed  $\vec{F}_2$  saranno disposte come riportato in figura 4.

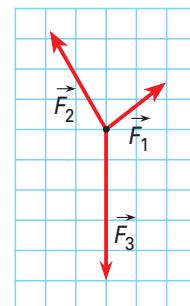
e) A questo punto disponi dietro il supporto un piano verticale con un foglio di carta millimetrata fissata con delle puntine da disegno.

f) Su questo foglio, aiutandoti con le squadre, traccia il punto centrale di applicazione delle tre forze e la direzione dei tre vettori.

(Se l'ultima operazione non è di agevole realizzazione, una volta segnato a matita il punto di concorrenza centrale, ti basterà tracciare il più possibile lontano da esso almeno un altro punto per ognuna delle tre rette d'azione e quindi controllare, scostandoti dal foglio, l'allineamento dei punti con la direzione delle forze determinata dai fili).

g) Misura i valori della forza peso dei vari gruppi di pesetti tramite il dinamometro e riportali ordinatamente come indicato al paragrafo successivo.

In questo modo la fase propriamente sperimentale è conclusa e puoi passare all'elaborazione di quanto hai raccolto. (Se hai tempo, puoi verificare che, disponendo i pesetti in maniera tale che il rapporto  $F_1/F_2/F_3$  rispetti la proporzione 3/4/5, l'angolo tra le forze  $\vec{F}_1$  ed  $\vec{F}_2$  è di  $90^\circ$ ).



**Figura 4**

## 6 Raccolta dei dati

Scriverai semplicemente, ricordandoti come vanno riportati i risultati delle misurazioni:

$$F_1 = (\dots \pm \dots) \dots \quad F_2 = (\dots \pm \dots) \dots \quad F_3 = (\dots \pm \dots) \dots$$

## 7 Elaborazione

A causa della relativa difficoltà di uno sviluppo completo e rigoroso nell'elaborazione matematica dei dati, in questa sede opteremo per un approccio puramente grafico al problema, senza tuttavia perdere in efficacia e comprensione delle finalità della prova.

### Il grafico

Tracciate le tre rette rappresentanti le tre direzioni delle forze, devi riportare in scala, a partire dal comune punto  $O$  di applicazione, i valori dei tre moduli delle forze, in modo da rappresentare coerentemente sul foglio i tre vettori.

Supponiamo che per una delle forze abbiamo misurato il modulo  $F_1 = (0,50 \pm 0,02)$  N. A ogni millimetro della carta devi attribuire un valore in newton, in modo tale da capire con quanti millimetri occorre rappresentare il modulo della forza e la sua incertezza. Effettua vari tentativi, affinché il disegno occupi il più possibile lo spazio del foglio. Se, per esempio, scegli la corrispondenza:

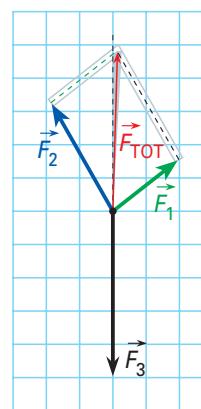
$$1 \text{ mm} \Rightarrow 0,004 \text{ N}$$

avrai:

$$F_1 \Rightarrow \frac{0,50}{0,004} = 125 \text{ mm}$$

In definitiva il modulo di  $\vec{F}_1$  deve essere lungo 125 mm. Lo stesso procedimento si applica per le altre due forze  $\vec{F}_2$  ed  $\vec{F}_3$ . Dopodiché, tracci il vettore  $-\vec{F}_3$  opposto a  $\vec{F}_3$  e sommi  $\vec{F}_1$  ed  $\vec{F}_2$  vettorialmente, cioè secondo la regola del parallelogramma, individuando così  $\vec{F}_{\text{TOT}}$  (fig. 5).

(Per una valutazione approssimativa delle incertezze, puoi leggere l'**help 1** che segue).



**Figura 5**

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Se non hai tenuto conto per niente delle incertezze, dirai che la verifica ha avuto successo o meno a seconda della vicinanza fra la forza  $-\vec{F}_3$  e la risultante  $\vec{F}_{\text{tot}}$ . Nell'eventualità che i due vettori non siano sovrapposti, puoi valutare con il goniometro il valore dell'angolo tra  $-\vec{F}_3$  ed  $\vec{F}_{\text{tot}}$ , che dovrà essere di pochi gradi. Tieni presente che lo scostamento sarà tanto più evidente, quanto più esteso sarà il tuo disegno.

I fattori che possono avere condizionato la prova sono:

- errori nella determinazione delle direzioni delle tre forze (errori di parallasse dovuti alla distanza del filo dal piano del foglio);
- fenomeni di attrito in corrispondenza delle carrucole;
- ...

Se, al contrario, hai preso in considerazione l'incertezza sulle forze, la prova risulterà soddisfacente nel caso in cui  $-\vec{F}_3$  cade dentro l'area di fluttuazione di  $\vec{F}_{\text{tot}}$ . Non dimenticare, comunque, che abbiamo trascurato le incertezze sugli angoli.

### help 1

Un modo per tener conto in qualche modo delle incertezze nelle misure, consiste nel rappresentare graficamente anche gli intervalli di indeterminazione dei moduli delle forze. Analogamente a prima:

$$\Delta x(F_1) \Rightarrow \frac{0,02}{0,004} = 5 \text{ mm}$$

Combinando il valore più piccolo  $\vec{F}_1$  con il più grande di  $\vec{F}_2$ , trovi il vettore  $\vec{F}_{\text{tot}}$  più a sinistra; e viceversa per il vettore  $\vec{F}_{\text{tot}}$  più a destra (vedi area evidenziata nella fig. 5).

# L'attrito radente statico

## PREREQUISITI

Per affrontare la prova devi sapere:

- Unità di misura della forza e qual è il suo strumento di misura (dinamometro)
- Significato di forza peso
- Caratteristiche dell'attrito radente

## 1 Titolo

Il titolo della prova è: **Misurazione del coefficiente d'attrito statico**.

## 2 Obiettivi

La finalità della prova consiste nel pervenire al valore del coefficiente d'attrito radente statico tra due materiali (quello del ripiano del banco di lavoro e dei parallelepipedi a disposizione) e nel valutare in che modo esso cambia al cambiare della superficie di contatto e del peso del parallelepipedo.

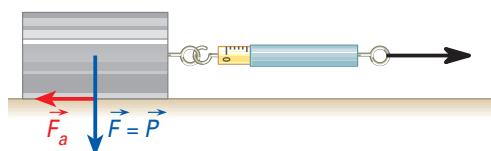
## 3a Schema e/o disegno

Il disegno serve solo per mostrare come sono disposte la forza peso, la forza d'attrito e in quale maniera si deve utilizzare il dinamometro (vedi figura).

## 3b Materiale e strumenti

Il materiale e gli strumenti per eseguire la prova sono:

- ripiano orizzontale (tavolo da lavoro);
- parallelepipedi di acciaio;
- filo inestensibile;
- dinamometri di varie portate.



**Figura 1**

## 4 Contenuti teorici

Puoi parlare brevemente del concetto di attrito radente statico, delle cause e degli effetti di tale fenomeno. Poi passi alla definizione matematica del coefficiente d'attrito statico attraverso la quale viene determinato:  $K = \frac{F_a}{F}$ , in cui  $F_a$  è il modulo della forza d'attrito radente statico che si oppone al movimento del corpo, inizialmente fermo, ed  $F$  il modulo della forza che agisce perpendicolarmente sulla superficie di contatto (che nel nostro caso coincide con il peso del parallelepipedo).

## 5 Descrizione della prova

- a) Con un dinamometro di portata sufficiente, misura il modulo della forza peso  $F$  del parallelepipedo.
- b) Facendo l'ipotesi che il ripiano del tavolo di lavoro sia orizzontale, appoggia sopra il parallelepipedo e legalo lateralmente con il filo inestensibile (a meno che non ci sia la possibilità di avvitare un gancetto sulle varie facce di area diversa del solido, cosa che renderebbe più agevole l'operazione).
- c) Disponi orizzontalmente il dinamometro e azzera lo zero.
- d) Quindi lega il suo gancio al filo inestensibile e con molta gradualità inizia a tirare, tenendo il dinamometro tramite l'anello e facendo in modo che resti parallelo al ripiano orizzontale. Il parallelepipedo resterà fermo fino a quando la forza agente non sarà sufficiente a farlo spostare.
- e) Non appena il parallelepipedo si sposta, leggi il valore indicato dal dinamometro: questo darà anche la forza d'attrito radente statico  $F_a$  che è stata equilibrata per mettere in movimento il corpo.
- f) È il caso, evidentemente, di ripetere alcune volte le rilevazioni ed esaminare quei valori di  $F_a$  più attendibili.
- g) Infine, calcola il coefficiente d'attrito statico  $K$  con la formula vista in precedenza.

(È consigliabile ripetere quanto descritto qui sopra appoggiando lo stesso parallelepipedo su facce diverse, quindi utilizzando un secondo parallelepipedo e, in ultimo, mettendo i due corpi uno sull'altro).

## 6 Raccolta dei dati

Si possono impostare tre tabelle come la tabella 1, ognuna per le situazioni indicate poco fa, analoghe fra loro.

**Tabella 1**

1	2	3	4	5	6	7
faccia	$F$ (N)	$\Delta x(F)$ (N)	$F_a$ (N)	$\Delta x(F_a)$ (N)	$K$	$\Delta x(K)$
A	3,4	0,2	0,50	0,02	0,15	0,02
B	...	...	...	...	...	...
C	...	...	...	...	...	...

## 7 Elaborazione

Il calcolo di  $K$  è piuttosto semplice, in quanto basta effettuare la divisione tra  $F_a$  ed  $F$ :

$$K = \frac{F_a}{F} = \frac{0,50}{3,4} = \dots$$

Se hai necessità di determinare, tramite le leggi di propagazione degli errori, l'incertezza di  $K$ , vedi [help 1](#).

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Dato che difficilmente ci sono dei valori con cui confrontare i risultati ottenuti, può essere utile trarre le valutazioni conclusive rispondendo ad alcune domande quali:

- Si modifica il coefficiente d'attrito statico se, usando lo stesso parallelepipedo (per cui resta invariato il peso, cioè la forza perpendicolare alla superficie di contatto), cambia la superficie di appoggio?
- Si modifica il coefficiente d'attrito statico se, a parità di superficie di appoggio e di materiali in gioco, cambia il peso del parallelepipedo?

### help 1

Per trovare eventualmente l'incertezza, puoi procedere direttamente così:

$$\Delta x(K) = \left[ \frac{\Delta x(F_a)}{F_a} + \frac{\Delta x(F)}{F} \right] \cdot K$$

# 6 Le leve

## PREREQUISITI

Per affrontare la prova devi sapere:

- Unità di misura di forza e suo strumento di misura (dinamometro)
- Definizione e unità di misura del momento di una forza
- Classificazione delle leve

## 1 Titolo

Il procedimento che qui proponiamo, con le opportune variazioni, è valido per tutti e tre i generi di leve. Se ci soffermiamo in particolare sul secondo, avremo come titolo: **La leva di secondo genere**.

## 2 Obiettivi

La prova ha come scopo quello di verificare l'uguaglianza dei momenti della forza motrice e della resistenza rispetto al fulcro in condizioni di equilibrio della leva.

## 3a Schema e/o disegno

Il disegno riportato in figura 1 si riferisce alla leva di secondo genere, ma basta modificare la posizione reciproca di forza motrice, fulcro e resistenza, per poter avere gli altri due generi.

## 3b Materiale e strumenti

Bisogna disporre del seguente materiale:

- aste di supporto;
- leva metallica (con fori equidistanti);
- pesetti (da 50 g);
- dinamometro.

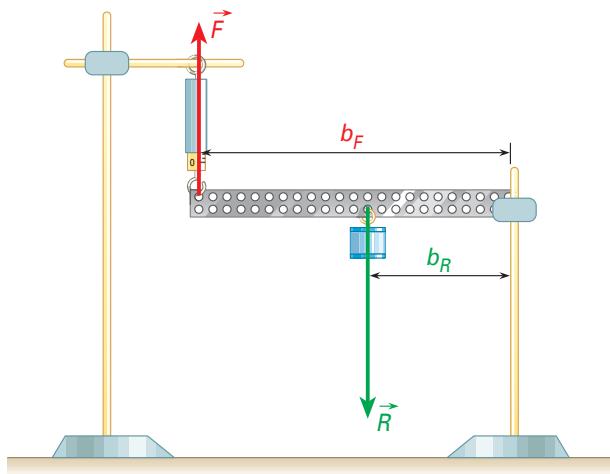


Figura 1

## 4 Contenuti teorici

Ipotizzando che sia noto e consolidato il concetto di forza, in questa parte devi riprendere la definizione di momento di una forza rispetto a un punto e quindi descrivere il genere di leva preso in esame, dicendo se è vantaggiosa, svantaggiosa o indifferente. Infine, riporti la condizione di equilibrio legata all'uguaglianza dei momenti della forza motrice e della resistenza rispetto al fulcro della leva.

## 5 Descrizione della prova

- a) Monta la leva come riportato nella figura, facendo in modo che il fulcro sia fissato sul foro che si trova a un'estremità della leva e la forza motrice venga applicata tramite il dinamometro al foro della leva che si trova all'estremità opposta: è importante assicurarsi che l'azzeramento del dinamometro sia effettuato accuratamente e che la leva risulti in posizione orizzontale.
- b) Il braccio  $b_F$  della forza motrice  $\vec{F}$  rimane fisso durante la prova; invece, spostando i pesetti (che rappresentano la resistenza) a partire per esempio dalla posizione centrale della leva via via verso il fulcro, il braccio  $b_R$  della resistenza  $\vec{R}$  (il cui modulo è costante) diventa sempre più piccolo. In corrispondenza di ogni posizione dei pesetti (resistenza), con la leva in posizione orizzontale, leggi il valore della forza motrice sul dinamometro e calcola i due momenti all'equilibrio:

$$M_F = F \cdot b_F \quad M_R = R \cdot b_R$$

per controllare se sono uguali.

## 6 Raccolta dei dati

La tabella può essere organizzata come segue.

**Tabella 1**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$R$ (N)	$\Delta x(R)$ (N)	$b_R$ (m)	$\Delta x(b_R)$ (m)	$F$ (N)	$\Delta x(F)$ (N)	$b_F$ (m)	$\Delta x(b_F)$ (m)	$M_R = R \cdot b_R$ (N · m)	$\Delta x(M_R)$ (N · m)	$M_F = F \cdot b_F$ (N · m)	$\Delta x(M_F)$ (N · m)
0,50	0,01	0,180	0,001	0,25	0,01	0,360	0,001	0,090	0,003	0,090	0,004
0,50	0,01	0,160	0,001	0,23	0,01	0,360	0,001	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Le prime otto colonne sono quelle relative ai dati, mentre le successive riguardano la loro elaborazione.

## 7 Elaborazione

Si calcolano i due momenti:

$$M_F = F \cdot b_F = 0,25 \cdot 0,360 = \dots \quad M_R = R \cdot b_R = 0,50 \cdot 0,180 = \dots$$

(Per determinare le incertezze, nel caso ciò fosse richiesto, puoi fare riferimento all'[help 1](#)).

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Ovviamente i valori dei momenti della forza motrice e della resistenza devono essere il più vicino possibile (nel caso di calcolo delle incertezze dei momenti, i rispettivi intervalli di indeterminazione dovranno verificare la compatibilità, cioè dovranno presentare una parte in comune).

Tra i motivi che possono condizionare la prova si ricorda:

- l'approssimazione nella misura dei bracci, che al ruotare della leva possono non risultare perfettamente perpendicolari alla direzione delle forze.

### help 1

Per trovare l'incertezza di momenti puoi procedere come segue:

$$\Delta x(M_F) = \left[ \frac{\Delta x(F)}{F} + \frac{\Delta x(b_F)}{b_F} \right] \cdot M_F$$

Scriverai una formula analoga per  $\Delta x(M_R)$ .

# La densità

**PREREQUISITI** Per affrontare la prova devi sapere:

- Definizione operativa di massa
- Unità di misura della massa nel SI

## 1 Titolo

Se si pensa di effettuare la prova con un solo tipo di sostanza, possiamo intitolarla: **Misurazione della densità di una sostanza**.

## 2 Obiettivi

La prova consente di misurare due grandezze (la massa e il volume), di calcolare una grandezza derivata (la densità), ed eventualmente di tracciare il grafico relativo alla dipendenza della massa dal volume della sostanza (proporzionalità diretta).

## 3a Schema e/o disegno

Il disegno può essere relativo alla schematizzazione della situazione generica durante le varie misurazioni (vedi figura 1).

## 3b Materiale e strumenti

Hai necessità di poche cose:

- fluido qualunque (anche acqua) oppure elementi solidi dello stesso materiale e di diverso volume;
- contenitore (nel caso di fluido);
- bilancia (elettronica o a bracci uguali);
- cilindro graduato.



Figura 1

## 4 Contenuti teorici

Dopo aver parlato della definizione operativa della massa, puoi dire che cos'è la densità e quali informazioni ci dà sulle caratteristiche di una determinata sostanza.

## 5 Descrizione della prova

- a) Ipotizzando di operare con un fluido (anche l'acqua!), come prima cosa metti il contenitore sulla bilancia, rilevandone la massa; se vi è una funzione di tara automatica, la puoi utilizzare per semplificare i calcoli.
- b) Versa una quantità a scelta di acqua nel cilindro graduato, leggendo sulla scala il volume e sulla bilancia il valore della massa. La densità verrà determinata tramite la formula:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

- c) Dopo aver riempito la prima riga delle prime quattro colonne della tabella, ripeti le rilevazioni aumentando la quantità di acqua un certo numero di volte.

## 6 Raccolta dei dati

Il dato relativo alla massa  $m_c$  del contenitore può essere scritto a parte, essendo costante, mentre in tabella metti il volume  $V$  e la massa totale  $m_{TOT}$  del contenitore con l'acqua e le incertezze (vedi **help 1**).

$$m_c = (349,6 \pm 0,1) \text{ g}$$

**Tabella 1**

1	2	3	4	5	6	7
$V$ (cm <sup>3</sup> )	$\Delta x(V)$ (cm <sup>3</sup> )	$m_{TOT}$ (g)	$m_A = m_{TOT} - m_c$ (g)	$\Delta x(m_A)$ (g)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\Delta x(\rho)$ (g/cm <sup>3</sup> )
25	1	374,2	24,6	0,2	0,98	0,05
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...

## 7 Elaborazione

Dapprima trovi la massa  $m_A$  dell'acqua:

$$m_A = m_{TOT} - m_c = \dots$$

Quindi calcoli la densità:

$$\rho = \frac{m_A}{V} = \dots$$

Una volta calcolata la densità in g/cm<sup>3</sup>, passi a scrivere il medesimo valore in kg/m<sup>3</sup>. (Nella rubrica **help 2** viene riportato come si determina l'incertezza.)

Terminata l'elaborazione numerica, è utile stendere il grafico per mostrare la diretta proporzionalità tra volume e massa, mettendo  $V$  sull'asse delle ascisse ed  $m$  su quello delle ordinate. I punti del grafico possono essere riportati con i relativi intervalli di indeterminazione rettangolari.

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

È lecito affermare di aver effettuato una prova soddisfacente se:

- i valori trovati di  $\rho$  sono vicini a quelli tabulati per il materiale utilizzato (nel caso dell'acqua in condizioni standard: 1000 kg/m<sup>3</sup>);
- riesci a tracciare una retta passante per l'origine degli assi che attraversa tutti i rettangoli di indeterminazione (per la qual cosa constati che massa e volume sono direttamente proporzionali).

### help 1

Si fa notare che, pur essendo l'errore di sensibilità della bilancia di 0,1 g nel dato campione di  $m_c$ , poiché la massa dell'acqua  $m_A$  è stata ottenuta come differenza di due quantità, la sua incertezza è:  $0,1 + 0,1 = 0,2$  g.

### help 2

Volendo pervenire all'incertezza della densità, applichi direttamente la formula:

$$\Delta x(\rho) = \left[ \frac{\Delta x(m_A)}{m_A} + \frac{\Delta x(V)}{V} \right] \cdot \rho$$

# Il principio di Archimede

## PREREQUISITI

Per affrontare la prova devi sapere:

- Che cos'è la forza peso e qual è la sua unità di misura
- Come si utilizza il dinamometro
- Definizione e unità di misura della densità
- Definizione e unità di misura della pressione
- Enunciato del principio di Archimede

## 1 Titolo

L'argomento di questa prova di laboratorio riguarda un importante fenomeno fisico, noto fino dall'antichità ed espresso dal principio di Archimede. Poiché si affronta l'esperienza con l'intento di valutarne la validità, puoi scrivere come titolo: **Verifica del principio di Archimede**.

## 2 Obiettivi

Lo scopo che vogliamo realizzare consiste quindi nel vedere se la spinta che un fluido esercita su un corpo in esso immerso coincide con il peso del liquido spostato, per lo meno entro i limiti sperimentali, che potranno essere valutati eventualmente – ma questo non è indispensabile – tramite le leggi di propagazione degli errori.

## 3a Schema e/o disegno

In questo caso si possono realizzare due disegni che mostrino, in sequenza, i momenti fondamentali della fase operativa (fig. 1).

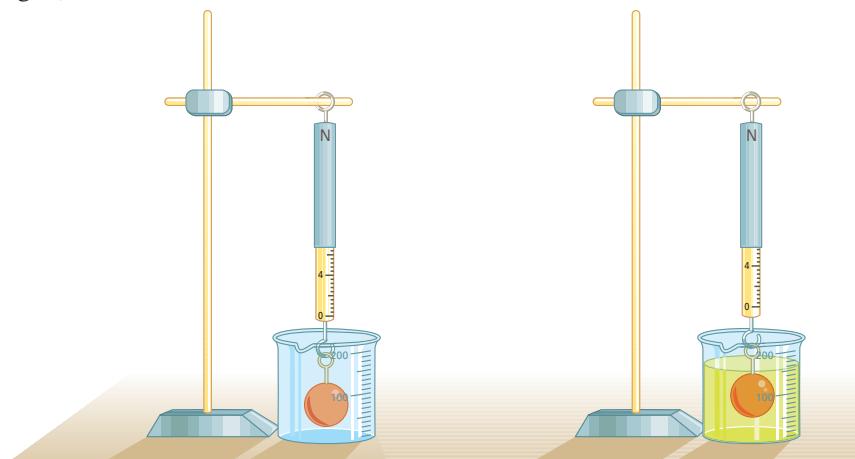


Figura 1

## **3b Materiali e strumenti**

Il materiale e gli strumenti necessari in questa prova sono:

- asta di supporto;
  - corpi di vari materiali e diverse dimensioni, possibilmente dotati di gancio;
  - liquido (o vari tipi di liquidi);
  - dinamometro;
  - contenitore graduato (becker).

## **4 Contenuti teorici**

Riassumi brevemente il contenuto del principio di Archimede, descrivendo esaurientemente le grandezze fisiche e le rispettive unità di misura che entrano in gioco. Tutto ciò ti serve per dare chiarezza alle azioni che ti appresti a compiere, oltre che a rendere maggiormente comprensibile la relazione.

## **5 Descrizione della prova**

La descrizione dell'esperimento consiste nell'illustrazione delle modalità operative che hai seguito, sottolineando in particolare attraverso quale via tenti di determinare il valore della spinta di Archimede  $S_A$  agente sul corpo di forma irregolare, al fine di confrontarla con il prodotto  $\rho \cdot V \cdot g$ .

Per capire come devi agire, le tappe operative della prova sono le seguenti:

- calcolare la spinta  $S_4$  come:

$$S_A = P_1 - P_2$$

peso oggetto  
in aria                      peso oggetto  
                                  in acqua

- calcolare il volume  $V$  del solido come:

A questo punto, ascoltate le indicazioni degli insegnanti, puoi iniziare l'esecuzione della prova.

- a) Dopo aver montato l'asta di supporto (che in linea di massima è il semplice dispositivo illustrato in figura 1, che probabilmente hai già utilizzato), fissa verticalmente un dinamometro della portata opportuna e assicurati che la parte mobile sia disposta in basso esattamente in corrispondenza dello 0 (questa operazione si chiama azzeramento).

b) Appendi all'estremità del dinamometro l'oggetto sul quale vuoi verificare per primo la spinta idrostatica e rilevane la forza peso  $P_1$ , riportando correttamente la relativa scrittura. Nell'esempio utilizzato da noi per impostare la tabella 1 che trovi al punto 6 (colonna 1), avremmo dovuto riportare:

$$P_1 = (6.80 \pm 0.05) \text{ N}$$

ipotizzando un errore di sensibilità del dinamometro pari a 0,05 N.

- c) Prendi il contenitore graduato (becker) e versaci dentro una quantità d'acqua sufficiente a consentire l'immersione totale degli oggetti scelti. Sulla scala indicata nel vetro, vai a leggere il volume di acqua presente: ovviamente, l'acqua va versata in modo tale che il suo livello raggiunga un valore comodo da rilevare. Nel nostro esempio (colonna 5 di tabella 1):

$$V_1 = (750 \pm 1) \text{ cm}^3 = (0,750 \pm 0,001) \text{ dm}^3$$

I valori dei volumi sono riportati direttamente in  $\text{m}^3$ : basta aggiungere  $10^{-3}$  in testa alla colonna (vedi [help 1](#)).

- d) Abbassa l'asta di supporto che sorregge il dinamometro con il corpo appeso, in modo tale da immergere completamente nel liquido il corpo, lasciando fuori l'anello di aggancio del dinamometro. A questo punto effettua due letture:

- il valore della forza peso indicata adesso dal dinamometro, che sarà inferiore a quella precedente;
  - il valore del volume occupato dall'acqua con il corpo immerso.

Ad esempio, faremo delle letture rispettivamente del tipo:

$$P_2 = (5,90 \pm 0,05) \text{ N} \quad V_2 = (838 \pm 1) \text{ cm}^3 = (0,838 \pm 0,001) \text{ dm}^3$$

Tali valori vanno inseriti rispettivamente nelle caselle delle colonne 2 e 6 della solita tabella.

e) Ripeti l'operazione con gli altri corpi solidi a disposizione, completando le colonne 1, 2, 5 e 6.

## 6 Raccolta dei dati

Qui sotto trovi la tabella nella quale inserire i dati (colonne 1, 2, 5 e 6). Per non renderla troppo pesante, abbiamo evitato di inserire gli errori di sensibilità degli strumenti per i due pesi  $P_1$  e  $P_2$  e per i due volumi  $V_1$  e  $V_2$ , che comunque devi annotare scrupolosamente.

Inoltre, tieni presente che dati impliciti noti sono anche:

- la densità dell'acqua:  $\rho = (1000 \pm 1) \text{ kg/m}^3$ ;
- l'accelerazione di gravità:  $g = (9,81 \pm 0,01) \text{ m/s}^2$ .

**Tabella 1**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_1$ (N)	$P_2$ (N)	$S_A = P_1 - P_2$ (N)	$\Delta x(S_A)$ (N)	$V_1$ $\cdot 10^{-3} (\text{m}^3)$	$V_2$ $\cdot 10^{-3} (\text{m}^3)$	$V = V_2 - V_1$ $\cdot 10^{-3} (\text{m}^3)$	$\Delta x(V)$ $\cdot 10^{-3} (\text{m}^3)$	$\rho V g$ (N)	$\Delta x(\rho V g)$ (N)
6,80	5,90	0,9	0,1	0,750	0,838	0,088	0,002	0,86	0,03
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

## 7 Elaborazione

L'elaborazione dei dati comprende il completamento delle colonne 3, 7 e 9. Il calcolo di  $S_A$  e di  $V$  non è un problema, trattandosi di semplici sottrazioni.

Dopodiché, passi al calcolo del prodotto  $\rho V g$  (colonna 9). Dunque, riprendendo i dati riportati a mo' di esempio,abbiamo:

$$\rho V g = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,088 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1000 \cdot 0,088 \cdot \frac{1}{1000} \cdot 9,81 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0,86328 \text{ N}$$

Puoi arrotondare il risultato prendendo due cifre significative (tante quante sono quelle del valore che ne ha di meno fra  $\rho$ ,  $V$  e  $g$  che abbiamo moltiplicato, vale a dire  $0,088 \text{ dm}^3$ ) e scrivere perciò:  $\rho V g = 0,86 \text{ N}$ . Quanto appena visto, dovrai ripeterlo per ognuno dei corpi solidi che hai a disposizione.

Nel caso l'insegnante richieda la determinazione delle incertezze di  $S_A$  e di  $V$ , nonché del prodotto  $\rho V g$ , tramite le leggi di propagazione degli errori, puoi rivedere i procedimenti necessari nella rubrica **help 2** per completare le colonne 4 e 8, quindi l'**help 3** per la 10.

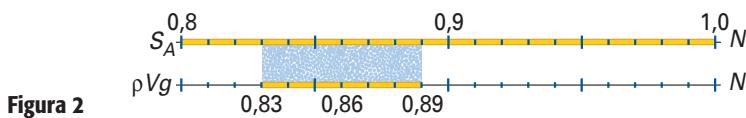
## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Se non hai calcolato la propagazione degli errori per  $\rho V g$ , allora valuterai la riuscita della prova in base alla prossimità tra i valori di  $S_A$  e quelli di  $\rho V g$ . Un modo può essere quello di calcolare lo scostamento in percentuale di  $\rho V g$  rispetto a  $S_A$ :

$$\frac{S_A - \rho V g}{S_A} \cdot 100 = \frac{0,9 - 0,86}{0,9} \cdot 100 = 4,4\%$$

valutando il risultato positivo quando, per esempio, in base alla possibilità di fare misurazioni accurate, esso è inferiore al 5% o anche di più.

Se, al contrario, hai dovuto calcolare anche le incertezze di  $\rho Vg$ , allora la valutazione dei risultati è più semplice, in quanto si tratterà di controllare la **compatibilità** fra i due intervalli di indeterminazione, quello di  $S_A$  e quello di  $\rho Vg$ , verificando che si sovrappongano almeno parzialmente, abbiano cioè dei valori in comune. Con i nostri esempi numerici:



**Figura 2**

Per cui scriverai: «La prova è/non è riuscita in quanto gli intervalli di indeterminazione...». In caso di riscontro negativo, dovrà cercare di individuarne le cause, che possono concentrarsi nei momenti in cui sono state effettuate le letture dei valori delle grandezze fisiche in gioco.

### help 1

Molto probabilmente l'unità di misura che troverai indicata nel becker è in  $\text{cm}^3$ . Ti ricordiamo comunque che 1 litro (l) equivale a  $1 \text{ dm}^3$  e che  $1 \text{ dm}^3$  equivale a  $1000 \text{ cm}^3$ , cioè a  $10^3 \text{ cm}^3$ .

Soffermati un attimo sulle equivalenze riportate sotto, in modo da leggere correttamente il volume:

$$1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3 = 10^3 \text{ cm}^3 \quad 1 \text{ cm}^3 = 10^{-3} \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ l} \quad 1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$$

### help 2

Per calcolare le incertezze di  $S_A$  e  $V$ , cioè  $\Delta x(S_A)$  e  $\Delta x(V)$ , da mettere nelle colonne 4 e 8, ricorda che nella differenza, così come nella somma, per trovare l'incertezza si devono sommare le incertezze degli addendi:

$$\Delta x(S_A) = \Delta x(P_1) + \Delta x(P_2) = 0,05 + 0,05 = \dots \text{ N}$$

$$\Delta x(V) = \Delta x(V_1) + \Delta x(V_2) = 0,001 + 0,001 = \dots \text{ dm}^3$$

### help 3

Per trovare l'incertezza di  $\rho Vg$ , da inserire nella colonna 10 della tabella, dovrà procedere così:

1. calcolare gli errori relativi delle tre grandezze  $\rho$ ,  $V$  e  $g$  (ipotizzando, come da relative misure, per la densità un'incertezza di  $1 \text{ kg/m}^3$  e per l'accelerazione di gravità  $0,01 \text{ m/s}^2$ ):

$$\epsilon_r(\rho) = \frac{\Delta x(\rho)}{\rho_M} = \dots \quad \epsilon_r(V) = \frac{\Delta x(V)}{V_M} = \dots \quad \epsilon_r(g) = \frac{\Delta x(g)}{g_M} = \dots$$

2. trovare l'errore relativo del prodotto:

$$\epsilon_r(\rho Vg) = \epsilon_r(\rho) + \epsilon_r(V) + \epsilon_r(g) = \dots$$

3. determinare la sua incertezza:

$$\Delta x(\rho Vg) = \epsilon_r(\rho Vg) \cdot \rho Vg = \dots$$

4. arrotondare coerentemente incertezza e valore della misura e scrivere:

$$\rho Vg = (\dots \pm \dots) \dots$$

# Il moto rettilineo uniforme

## PREREQUISITI

Per affrontare la prova devi sapere:

- Definizione di velocità
- Unità di misura della velocità
- Come si rappresenta il moto rettilineo uniforme nel piano cartesiano spazio-tempo
- Come si elabora una serie di misure (valore medio ed errore massimo)

## 1 Titolo

Il titolo di questa relazione, riguardando lo studio del moto con velocità costante, è **Moto rettilineo uniforme**.

## 2 Obiettivi

Lo scopo essenziale è:

- misurare la velocità di un corpo che si muove di moto rettilineo uniforme.

Inoltre, vogliamo anche:

- verificare esplicitamente la diretta proporzionalità tra spazio percorso e intervallo di tempo;
- costruire il grafico spazio-tempo con i punti sperimentali;
- tracciare la retta rappresentativa del moto.

## 3a Schema e/o disegno

Il dispositivo standard è quello illustrato in figura 1 (ne esistono anche altri, ma i principi di funzionamento restano i medesimi).

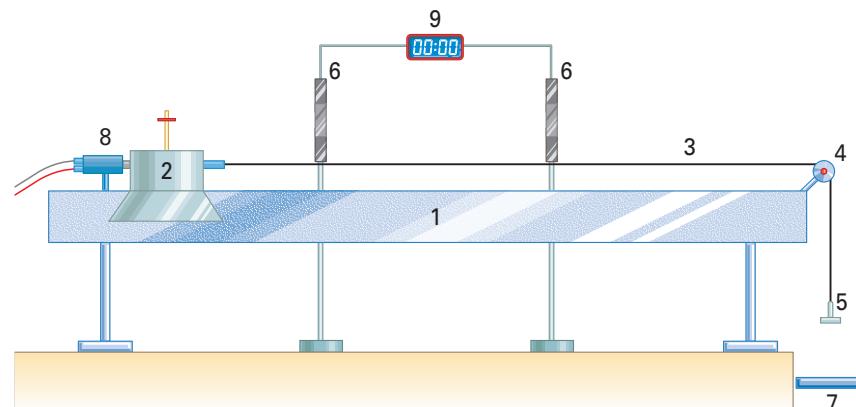


Figura 1

### 3b Materiale e strumenti

Il materiale utilizzato è il seguente (vedi figura 1):

- guidovia a cuscino d'aria (1);
- carrello (2);
- filo inestensibile (3);
- carrucola (4);
- portapesi e pesetti (5);
- fotocellule (6);
- piattello (7);
- elettrocalamita (8);
- timer (9);
- compressore;
- asta millimetrata.

### 4 Contenuti teorici

Dovrai descrivere le caratteristiche del moto rettilineo uniforme, con particolare riferimento alla definizione e all'unità di misura della velocità, alla legge oraria del moto e all'andamento del grafico spazio-tempo.

### 5 Descrizione della prova

Molto probabilmente questa prova di laboratorio, a causa della relativa complessità del dispositivo sperimentale, verrà eseguita al banco dagli insegnanti. Tuttavia, è possibile che tu venga chiamato a operare per ripetere alcune fasi, per effettuare delle misurazioni o per illustrare le caratteristiche dell'esperimento come momento di verifica. Quindi, è molto importante che tu prenda pieno possesso di tutti i principali dettagli dell'esecuzione: alla fine devi sapere **in che maniera le scelte operative corrispondono agli obiettivi e alle esigenze teoriche**.

Fondamentalmente non faremo altro che misurare gli intervalli di tempo corrispondenti allo spazio percorso dal carrello tra le due fotocellule, modificandolo di volta in volta a piacere, per poi calcolare la velocità secondo la nota formula:

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

Se il moto è effettivamente uniforme, i valori di tale grandezza dovranno essere molto vicini fra loro.

Iniziamo l'esecuzione della prova.

#### Fase di preparazione

##### a) Controllo della guidovia

Accendi il compressore, disponi il carrello sulla guidovia (che deve essere perfettamente orizzontale) e constata che possa muoversi scivolando praticamente senza attrito.

##### b) Utilizzo dei pesetti

Per realizzare spinte uguali sul carrello, in modo da effettuare delle misurazioni confrontabili fra loro, devi ricorrere a un numero fisso di pesetti sul portapesi i quali, tramite un filo inestensibile e una carrucola, esercitano un'azione costante sul carrello.

##### c) Realizzazione del moto uniforme

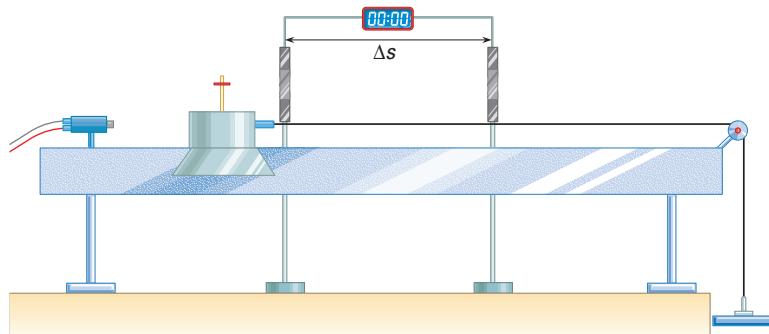
Disponi il carrello in modo tale che l'elettrocalamita lo tenga bloccato. Quando disattivi l'elettrocalamita, aprendo il circuito elettrico con un interruttore, il carrello è libero di muoversi sotto l'azione dei pesetti. Tuttavia, se tu lasciassi proseguire il moto in questo modo, il carrello aumenterebbe la sua velocità per tutto il tragitto. Allora è necessario che tu disponga un piattello che, dopo un breve tratto iniziale, blocchi la discesa dei pesetti: da questo momento in avanti il carrello non subisce più nessuna spinta e la velocità smette di aumentare e resta costante. La parte di moto che ti interessa è proprio quella che si realizza quando i pesetti hanno toccato il piattello e il carrello si muove di moto rettilineo uniforme.

##### d) Modifica della velocità

Puoi modificare la velocità regolando il numero di pesetti sul portapesi all'estremità del filo inestensibile.

*e) Posizionamento delle fotocellule*

Per essere sicuro che il moto avvenga a velocità costante, devi porre la prima fotocellula, quella che dà inizio al conteggio del tempo da parte del timer, in maniera che si trovi ancora davanti al carrello **una volta che il portapesi ha toccato il piattello** (fig. 2).



**Figura 2**

Indica con  $s_0$  la posizione della prima fotocellula rilevata sull'asta millimetrata e scrivi il suo valore nella colonna 1 della tabella proposta al punto 6.

Nelle fasi successive, dovrai invece modificare la posizione della seconda fotocellula, che ha la funzione di fermare il conteggio del tempo, per incrementare gli spazi percorsi dal carrello. Indica la sua posizione con  $s$  e riportala nella colonna 2 della tabella 1.

(Per rilevare le posizioni delle fotocellule fai riferimento all'asta millimetrata che di solito è fissata sulla parte inferiore della guidovia.)

La distanza tra le due fotocellule, cioè  $\Delta s = s - s_0$  (da mettere nella colonna 3), è lo spazio percorso dal carrello, in relazione al quale andrai a leggere sul timer il corrispondente intervallo di tempo  $\Delta t$ , riportandolo nella colonna 5. Quindi, per trovare la velocità ti basterà fare il rapporto  $v = \Delta s / \Delta t$ .

(Per l'incertezza  $\Delta x(\Delta s)$ , da trascrivere nella colonna 4, vedi l'**help 1**).

*f) Ultimi controlli*

Prima di cominciare con la rilevazione dei dati, assicurati che:

- l'elettrocalamita blocca il carrello;
- il filo inestensibile sia correttamente inserito nella scanalatura della carrucola;
- il timer risulti azzerato;
- il compressore sia acceso.

### Fase di esecuzione

Ora puoi iniziare l'esperimento vero e proprio, dopo avere preparato una tabella analoga a quella qui proposta nella pagina seguente.

- a) Apri il circuito dell'elettrocalamita: il carrello parte e attraversa entrambe le fotocellule.
  - b) Dopo aver fermato il carrello alla fine del percorso, leggi il valore dell'intervallo di tempo intercorso nel passaggio tra le due fotocellule e azzera il timer.
  - c) Chiudi il circuito dell'elettrocalamita e rimetti il carrello nella posizione di partenza.
  - d) Lasciando invariata la posizione delle fotocellule, ripeti la prova altre due volte per verificare la validità del valore di  $\Delta t$  (vedi l'**help 2** per l'elaborazione di questi dati), che va poi scritto nella colonna 5, mentre il corrispondente errore di sensibilità va nella colonna 6.
  - e) Una volta completata questa fase, sposta la seconda fotocellula, misura la nuova  $s$  e ripeti il procedimento dall'istruzione c) alla d).
- Al fine di poter facilitare le osservazioni, ti consigliamo di raddoppiare, triplicare, quadruplicare ecc. i valori di  $\Delta s$ , anziché prendere valori del tutto a caso (scelta che comunque non condiziona la riuscita della prova).
- f) Replica i passaggi dell'istruzione precedente il numero di volte necessario, che dipenderà da quante rilevazioni di  $v$  ti è stato chiesto di effettuare.

Le operazioni sono così terminate.

## 6 Raccolta dei dati

Per non appesantire la tabella, scrivi a parte in modo chiaro l'errore di sensibilità dell'asta millimetrata che incide su  $s_0$  ed  $s$ :

$$\Delta s(s) = 0,001 \text{ m}$$

**Tabella 1**

1	2	3	4	5	6	7	8
$s_0$ (m)	$s$ (m)	$\Delta s$ (m)	$\Delta x(\Delta s)$ (m)	$\Delta t$ (s)	$\Delta x(\Delta t)$ (s)	$v = \Delta s / \Delta t$ (m/s)	$\Delta x(v)$ (m/s)
0,125	0,325	0,200	0,002	0,35	0,01	0,57	0,03
0,125	...	...	0,002	...	...	...	...
0,125	...	...	0,002	...	...	...	...
0,125	...	...	0,002	...	...	...	...
0,125	...	...	0,002	...	...	...	...

Per poter illustrare i calcoli che devi eseguire, nella tabella qui sopra abbiamo riportato nella prima riga dei valori come esempio (valori che ovviamente non corrisponderanno ai tuoi).

## 7 Elaborazione

### I calcoli

La colonna 7, la penultima, contiene il valore della velocità calcolato con la prima serie di dati:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{0,200}{0,35} = 0,57143 \approx 0,57 \text{ m/s}$$

Nel caso l'insegnante ti richieda il calcolo dell'incertezza della velocità  $v$  tramite le leggi di propagazione degli errori, più avanti nell'[help 3](#) troverai il procedimento da seguire per completare anche la colonna 8.

Una volta completata la tabella, è possibile elaborare i valori delle velocità da te trovati (riportati tutti nella colonna 7 della tabella 1) come una **serie di misure**, per cui devi trovare (vedi [help 2](#)) il **valore medio, l'errore massimo** e scrivere la misura:

$$v = (\dots \pm \dots) \text{ m/s}$$

In alternativa, o a completamento, dovrai procedere alla realizzazione di una elaborazione grafica.

### Il grafico

Passiamo ora alle indicazioni sulla stesura del grafico. Una volta che in base alla scala da te definita sull'asse delle  $X$  per gli intervalli di tempo  $\Delta t$  (colonna 5 della tabella 1) e sull'asse delle  $Y$  per le distanze percorse  $\Delta s$  (colonna 3), hai individuato il punto relativo a una determinata coppia di valori, devi premurarti di riportare anche i rispettivi intervalli di indeterminazione (fig. 3).

Quindi, nel foglio di carta millimetrata avrai dei piccoli rettangoli che rappresentano tutte le possibili coppie di valori di  $\Delta s$  e di  $\Delta t$ .

Per esempio, se desideriamo riportare 0,35 s sull'asse delle  $X$  e 0,200 m sull'asse delle  $Y$ , avremo una situazione analoga a quella rappresentata in figura 3. Il rettangolo (ingrandito) con sfondo in colore è quello che corrisponde al nostro punto sperimentale.

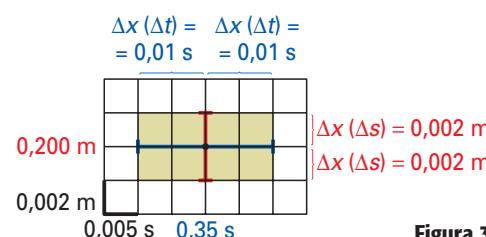
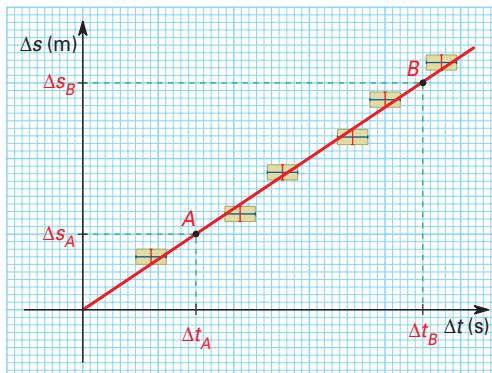


Figura 3

Di conseguenza, la retta che alla fine dobbiamo tracciare, difficilmente passerà per tutti i centri degli intervalli di indeterminazione; tuttavia, sarà un buon risultato se riusciamo a individuarne una che, partendo dall'origine degli assi, in qualche modo attraversa tutti gli intervalli sperimentali. Così verrebbe confermata l'ipotesi della diretta proporzionalità fra spazio effettivamente percorso e intervallo di tempo nel moto uniforme. Approssimativamente, dovresti trovare qualcosa di simile a quanto illustrato nella figura 4.



**Figura 4**

Per determinare la velocità del moto in base alla pendenza della retta tracciata, dobbiamo individuare su di essa due punti *A* e *B*, diversi dai centri degli intervalli di indeterminazione (come in figura 4), rilevare i corrispondenti valori  $\Delta s_A$  e  $\Delta t_A$ , quindi  $\Delta s_B$  e  $\Delta t_B$ , e calcolare la velocità così:

$$v = \frac{\Delta s_B - \Delta s_A}{\Delta t_B - \Delta t_A} = \dots \text{ m/s}$$

(Per l'incertezza di  $v$  in questo caso, vedi l'[help 4](#)).

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

In generale, al termine di una relazione si devono fornire uno o più risultati, che possono dipendere dagli obiettivi iniziali.

Se riesci a trovare una retta che, oltre a passare per l'origine degli assi, attraversa tutti i rettangoli sperimentali, allora puoi concludere di aver verificato che spazio percorso e intervallo di tempo sono direttamente proporzionali. Ma questo significa che il loro rapporto non cambia e quindi la velocità è costante: si tratta effettivamente di un moto rettilineo uniforme.

In caso contrario, se cioè non riesci a trovare una retta con queste caratteristiche, allora devi cercare di dire quali problemi si sono verificati durante la prova.

Alla base di un insuccesso della prova, potrebbero esserci i seguenti motivi:

- la guidovia non era perfettamente orizzontale;
- l'attrito fra guidovia e carrello non è stato sufficientemente ridotto;
- il timer collegato alle fotocellule ha avuto un cattivo funzionamento;
- la massa del filo o l'attrito della carrucola non sono trascurabili.

Sottolineiamo che non è ammissibile elencare nei punti di cui sopra l'ipotesi che *tu* abbia commesso degli errori nell'elaborazione dei dati, perché questa è una circostanza che in teoria deve essere assolutamente evitata.

**help 1**

Quando calcoli  $\Delta s$ , tieni presente che la sua incertezza è data dalla somma delle incertezze di  $s$  e di  $s_0$ , cioè l'errore di sensibilità dell'asta millimetrata (che di solito è 1 mm):

$$\Delta x(\Delta s) = \Delta x(s) + \Delta x(s_0) = 0,001 + 0,001 = 0,002 \text{ m}$$

**help 2**

Se supponiamo di avere ottenuto i valori 0,35 s, 0,34 s, 0,36 s, allora possiamo considerare le misure accettabili, in quanto quelle fluttuazioni rientrano nei limiti dell'errore di sensibilità del timer (in questo caso 0,01 s), e scrivere perciò:

$$\Delta t = (0,35 \pm 0,01) \text{ s}$$

Se, invece, dopo prove ripetute continuiamo a ottenere valori più dispersi, quali 0,35 s, 0,39 s, 0,37 s, in tal caso dovremo prendere come valore della misura il valore medio e come incertezza l'errore massimo:

$$\Delta t_M = \frac{0,35 + 0,39 + 0,37}{3} = 0,37 \text{ s} \quad \Delta x(\Delta t) = \frac{0,39 - 0,35}{2} = 0,02 \text{ s}$$

Per cui avremo:  $\Delta t = (0,37 \pm 0,02) \text{ s}$ .

**help 3**

Se ti viene chiesto di calcolare anche l'incertezza di  $v$ , per completare anche l'ultima colonna della tabella 1, allora devi applicare le leggi di propagazione degli errori e individuare la scrittura corretta della misura.

Vediamo come si calcola l'incertezza per la prima riga di dati della nostra tabella.

L'errore relativo è:

$$\varepsilon_r(v) = \varepsilon_r(\Delta s) + \varepsilon_r(\Delta t) = \frac{\Delta x(\Delta s)}{\Delta s} + \frac{\Delta x(\Delta t)}{\Delta t} = \frac{0,002}{0,200} + \frac{0,01}{0,35} \cong 0,01 + 0,02857 = 0,03857$$

La velocità definita in precedenza era  $v = 0,57143 \text{ m/s}$ . L'incertezza di  $v$  sarà:

$$\Delta x(v) = \varepsilon_r(v) \cdot v = 0,03857 \cdot 0,57143 = 0,02204 \cong 0,03 \text{ m/s}$$

Arrotondati correttamente l'incertezza e il valore della misura, abbiamo la scrittura:

$$v = (0,57 \pm 0,03) \text{ m/s}$$

**help 4**

Il calcolo dell'incertezza della velocità determinata attraverso la retta del grafico è il seguente (in cui le incertezze di  $\Delta s_A$  e  $\Delta s_B$ , così come di  $\Delta t_A$  e  $\Delta t_B$ , sono quelle corrispondenti a 1 mm della carta millimetrata):

$$\Delta x(v) = \left[ \frac{\Delta x(\Delta s_B) + \Delta x(\Delta s_A)}{\Delta s_B - \Delta s_A} + \frac{\Delta x(\Delta t_B) + \Delta x(\Delta t_A)}{\Delta t_B - \Delta t_A} \right] v = \left[ \frac{0,002 + 0,002}{\Delta s_B - \Delta s_A} + \frac{0,005 + 0,005}{\Delta t_B - \Delta t_A} \right] v = \dots$$

# Il moto rettilineo uniformemente accelerato

## PREREQUISITI

Per affrontare la prova devi sapere:

- Definizione di accelerazione e sua unità di misura
- Legge oraria del moto uniformemente accelerato e formula inversa per trovare  $a$
- Come si rappresenta un moto con accelerazione costante nel grafico spazio-tempo
- Come si elabora una serie di misure (valore medio ed errore massimo)

## 1 Titolo

Il titolo di questa relazione, riguardando la prova sullo studio del moto con accelerazione costante, è:  
**Moto rettilineo uniformemente accelerato.**

## 2 Obiettivi

Lo scopo essenziale è:

- misurare l'accelerazione di un corpo che si muove di moto rettilineo uniformemente accelerato.

Inoltre, vogliamo anche:

- verificare la proporzionalità quadratica tra spazio percorso e intervallo di tempo;
- tracciare il tratto di parabola rappresentativa del moto nel grafico spazio-tempo con i punti sperimentali;
- costruire eventualmente il grafico ( $s; t^2$ ) al fine di ricavare da esso l'accelerazione.

## 3a Schema e/o disegno

Il dispositivo è identico a quello illustrato nella *Scheda 9*, con la sola – ma importante! – differenza che non c'è il piattello (fig. 1).

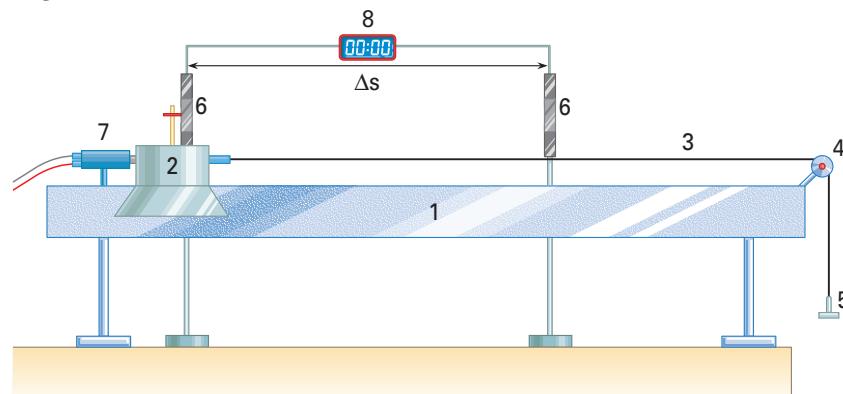


Figura 1

### 3b Materiale e strumenti

Il materiale utilizzato è il seguente (fig. 1):

- guidovia a cuscino d'aria (1);
- carrello (2);
- filo inestensibile (3);
- carrucola (4);
- portapesi e pesetti (5);
- fotocellule (6);
- elettrocalamita (7);
- timer (8);
- compressore;
- asta millimetrata.

### 4 Contenuti teorici

Il moto rettilineo uniformemente accelerato avviene con accelerazione costante, per cui sarà opportuno introdurre la definizione di tale grandezza fisica, la sua unità di misura e come interviene nella legge oraria che lega lo spazio percorso all'intervallo di tempo, nel caso più semplice di partenza da fermo.

### 5 Descrizione della prova

Rispetto alla prova di laboratorio sul moto rettilineo uniforme, è necessario capire che cosa cambia nella disposizione dell'apparato sperimentale e quali sono le conseguenze di tali cambiamenti. Il fatto che non ci sia più il piattello a bloccare la discesa dei pesetti che trascinano il carrello, determina un progressivo aumento della sua velocità, come si può constatare anche visivamente.

Modificando a piacere di volta in volta lo spazio percorso dal carrello tra le due fotocellule, misureremo gli intervalli di tempo corrispondenti e calcoleremo l'accelerazione con la formula:

$$a = \frac{2 \cdot \Delta s}{t^2}$$

Se il moto avviene con accelerazione uniforme, dovremmo trovare valori molto vicini fra loro, pur modificando lo spazio considerato. (Tra poco capirai perché nella formula compare  $\Delta s$  anziché soltanto  $s$ , come forse sei abituato.)

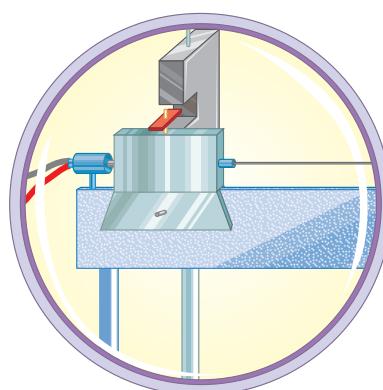
Iniziamo l'esecuzione della prova.

#### Fase di preparazione

La tabella da predisporre la trovi come al solito al punto 6. La fase di preparazione è come quella descritta nel moto uniforme, però con un paio di differenze fondamentali.

- Non c'è il piattello: ovviamente in questo caso la sua assenza fa sì che la spinta dei pesetti agisca sull'intero percorso, in particolare tra una fotocellula e l'altra.
- Bisogna posizionare la prima fotocellula, quella che dà l'avvio al timer, in modo tale che il conteggio del tempo cominci *non appena il carrello, lasciato libero dall'elettrocalamita, inizia a muoversi* (fig. 2). Questa è la condizione necessaria affinché si possa considerare valida la legge oraria utilizzata che, come ricorderai, vale per  $v_0 = 0$ . La posizione  $s_0$  (che rimarrà invariata) della fotocellula in questione devi scrivere prima della tabella 1.

Niente cambia, invece, circa la seconda fotocellula, quella che arresta il conteggio del tempo. La sua posizione è  $s$  e va riportata nella colonna 1 della tabella. La distanza tra le due fotocellule, cioè  $\Delta s = s - s_0$ , è lo spazio percorso dal carrello (colonna 2). Il relativo intervallo di tempo, che indichiamo per semplicità con  $t$ , va posto nella colonna 4. (Per l'incertezza  $\Delta x(\Delta s)$ , da trascrivere nella colonna 3, vedi l'**help 1**).



**Figura 2** Dettaglio della situazione iniziale: appena il carrello viene lasciato libero dalla elettrocalamita, la prima fotocellula fa partire istantaneamente il conteggio del tempo.

## Fase di esecuzione

Ora puoi metterti all'opera.

- Apri il circuito dell'elettrocalamita: il carrello parte e attraversa entrambe le fotocellule.
- Leggi il valore dell'intervallo di tempo  $t$ , dopo averlo trascritto, azzera il timer.
- Chiudi il circuito dell'elettrocalamita e rimetti il carrello nella posizione di partenza.
- Lasciando invariata la posizione delle fotocellule, ripeti la prova altre due volte per verificare la validità del valore di  $t$  da mettere nella colonna 4, mentre è opportuno che prendi nota dell'errore di sensibilità  $\Delta x(t)$  del timer.
- Una volta completata questa fase, sposta la seconda fotocellula, misura la nuova  $s$  e ripeti il procedimento dall'istruzione a) alla d).

Se la lunghezza della guidovia lo consente, per rendere i dati più chiari, ti consigliamo di prendere dei valori di  $\Delta s$  quattro, nove, sedici ecc. volte rispetto a quello iniziale, anziché casuali. (In ogni caso, questo aspetto non è condizionante per la riuscita della prova.)

- Ripeti l'istruzione precedente e) il numero di volte necessario, che dipenderà da quante rilevazioni dell'accelerazione ti è stato chiesto di effettuare.

Nell'eventualità che tu debba fare la prova con valori di  $a$  diversi, ti basta regolare il numero di pesetti sul portapesi collocato all'estremità del filo inestensibile.

Le operazioni sono così terminate.

## 6 Raccolta dei dati

Dati preliminari:

- posizione della prima fotocellula:  $s_0 = (0,125 \pm 0,001) \text{ m}$
- errore di sensibilità del timer:  $\Delta x(t) = 0,01 \text{ s}$

**Tabella 1**

1	2	3	4	5	6	7	8
$s$ (m)	$\Delta s$ (m)	$\Delta x(\Delta s)$ (m)	$t$ (s)	$t^2$ (s <sup>2</sup> )	$\Delta x(t^2)$ (s <sup>2</sup> )	$a = 2 \cdot \Delta s/t^2$ (m/s <sup>2</sup> )	$\Delta x(a)$ (m/s <sup>2</sup> )
0,325	0,200	0,002	0,77	0,59	0,02	0,67	0,03
...	...	0,002	...	...	...	...	...
...	...	0,002	...	...	...	...	...
...	...	0,002	...	...	...	...	...
...	...	0,002	...	...	...	...	...

Nella tabella abbiamo inserito dei dati campione.

## 7 Elaborazione

### I calcoli

Le colonne 5 e 6 della tabella servono esclusivamente se devi tracciare il grafico ( $s; t^2$ ), altrimenti puoi farne a meno. Ricordati solo che  $t^2 = t \cdot t$ :

$$t^2 = 0,77 \cdot 0,77 = 0,5929 \approx 0,59 \text{ s}^2$$

(Vedi **help 2** per l'incertezza di  $t^2$ ).

La penultima colonna, cioè la 7, è finalizzata alla determinazione dell'accelerazione:

$$a = \frac{2 \cdot \Delta s}{t^2} = \frac{2 \cdot 0,200}{0,77^2} = \frac{0,400}{0,5929} = 0,67465 \approx 0,67 \text{ m/s}^2$$

(Nell'eventualità che tu debba calcolare per la colonna 8 l'incertezza di  $a$  attraverso le leggi di propagazione degli errori, trovi nell'[help 3](#) il procedimento da seguire.)

Una volta completata la tabella, puoi elaborare i valori delle accelerazioni da te riportati nella colonna 7, come una **serie di misure**: devi cioè trovare il **valore medio** e l'**errore massimo** (vedi [help 4](#)) dei dati della colonna in questione e, infine, scrivere la misura:

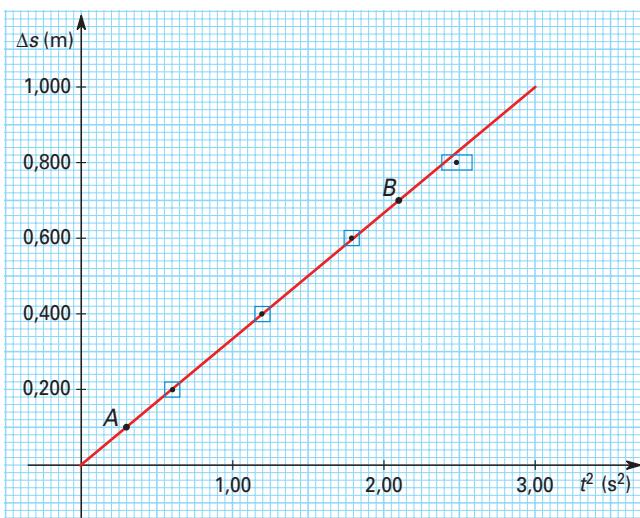
$$a = (\dots \pm \dots) \text{ m/s}^2$$

In alternativa, o a completamento, procederai a un'elaborazione grafica.

## Il grafico

Il grafico che devi senz'altro tracciare, anche se ha carattere principalmente qualitativo, è quello ( $\Delta s$ ,  $t$ ) per verificare se hai ottenuto, secondo le previsioni, effettivamente un tratto di parabola.

Quindi, se devi pervenire alla misura di  $a$  anche tramite l'elaborazione grafica, riporta sull'asse delle ascisse i valori di  $t^2$  (colonna 5 della tabella 1), mentre sull'asse delle ordinate metti  $\Delta s$  (colonna 2). Individuati sul piano cartesiano i punti corrispondenti alle varie coppie di valori e indicati i rispettivi intervalli di indeterminazione, cerca di disegnare la retta in maniera tale che attraversi possibilmente tutti gli intervalli (fig. 3). Se questo accade, allora hai trovato che  $s$  è proporzionale al quadrato del tempo e che l'accelerazione è costante.



**Figura 3**

A questo punto, per determinare l'accelerazione relativa al moto del carrello tramite la pendenza della retta, è necessario scegliere su di essa due punti  $A$  e  $B$ , non coincidenti con i centri degli intervalli di indeterminazione (fig. 3), rilevare  $t_A^2$  sull'asse  $X$  e  $\Delta s_A$  sull'asse  $Y$ , allo stesso modo  $t_B^2$  e  $\Delta s_B$ , e procedere al calcolo:

$$a = 2 \cdot \frac{\Delta s_B - \Delta s_A}{t_B^2 - t_A^2} = \dots \text{ m/s}^2$$

(Per l'incertezza di  $a$ , in questo caso, vedi l'[help 5](#)).

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Se i valori delle accelerazioni trovate sono fra loro "ragionevolmente" vicini, oppure, se hai individuato una retta nel grafico ( $s$ ;  $t^2$ ) che, oltre a passare per l'origine degli assi, attraversa tutti i rettangoli sperimentali, allora puoi concludere di avere verificato che spazio percorso e intervallo di tempo sono legati da una proporzionalità quadratica, cosa che comporta la costanza dell'accelerazione: il moto è rettilineo uniformemente accelerato.

Se, invece, i dati delle accelerazioni sono molto diversi gli uni dagli altri, o se la retta non passa per tutti gli intervalli, ne consegue che si possono essere verificati i seguenti problemi:

- la guidovia non era perfettamente orizzontale;
- l'attrito fra guidovia e carrello non è stato sufficientemente ridotto;
- ...

**help 1**

L'incertezza di  $\Delta s$  è data dalla somma delle incertezze di  $s$  e di  $s_0$ , cioè l'errore di sensibilità dell'asta millimetrata (che di solito è 1 mm):

$$\Delta x(\Delta s) = \Delta x(s) + \Delta x(s_0) = 0,001 + 0,001 = 0,002 \text{ m}$$

**help 2**

L'incertezza di  $t^2$  è:

$$\Delta x(t^2) = \epsilon_r(t^2) \cdot t^2 = 2 \cdot \epsilon_r(t) \cdot t^2 = 2 \cdot \frac{\Delta x(t)}{t} \cdot t^2 = 2 \cdot \Delta x(t) \cdot t = 2 \cdot 0,01 \cdot 0,77 = 0,0154 \cong 0,02 \text{ s}^2$$

**help 3**

Per completare l'ultima colonna della tabella 1, ecco la traccia sintetica per trovare l'incertezza di  $a$ :

$$\begin{aligned}\Delta x(a) &= [\epsilon_r(\Delta s) + \epsilon_r(t^2)] \cdot a = [\epsilon_r(\Delta s) + 2 \cdot \epsilon_r(t)] \cdot a = \left[ \frac{\Delta x(\Delta s)}{\Delta s} + 2 \cdot \frac{\Delta x(t)}{t} \right] a = \\ &= \left[ \frac{0,002}{0,200} + 2 \cdot \frac{0,01}{0,77} \right] 0,67465 = [0,01 + 0,02597] \cdot 0,67465 = \\ &= 0,03597 \cdot 0,67465 = 0,02427 \cong 0,03 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

Per cui:

$$a = (0,67 \pm 0,03) \text{ m/s}^2$$

**help 4**

Supponendo di avere trovato  $0,67 \text{ m/s}^2$ ,  $0,66 \text{ m/s}^2$ ,  $0,63 \text{ m/s}^2$ ,  $0,63 \text{ m/s}^2$ , dovrai determinare il valore medio e l'errore massimo:

$$a = \frac{0,67 + 0,66 + 0,63 + 0,63}{4} = 0,6475 \cong 0,65 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta x(a) = \frac{0,67 - 0,63}{2} = 0,02 \text{ m/s}^2$$

Per cui avrai:  $a = (0,65 \pm 0,02) \text{ m/s}^2$ .

**help 5**

Il calcolo dell'incertezza dell'accelerazione determinata attraverso la retta del grafico è il seguente (dove le incertezze di  $\Delta s_A$  e  $\Delta s_B$ , così come di  $t_A^2$  e  $t_B^2$ , sono quelle corrispondenti a 1 mm della carta millimetrata):

$$\Delta x(a) = \left[ \frac{\Delta x(\Delta s_B) + \Delta x(\Delta s_A)}{\Delta s_B - \Delta s_A} + \frac{\Delta x(t_B^2) + \Delta x(t_A^2)}{t_B^2 - t_A^2} \right] \cdot a = \dots$$

Ricordati che nel grafico leggi direttamente  $t^2$  e  $\Delta x(t^2)$ ; di conseguenza, non devi elevarli nuovamente al quadrato!

# Le proprietà del pendolo semplice

## PREREQUISITI

Per affrontare la prova devi sapere:

- Effettuare misurazioni dirette di lunghezze, masse, angoli e tempi
- Quali sono le caratteristiche del moto armonico
- Come si misura il periodo del pendolo semplice
- Come si elabora una serie di misure (valore medio ed errore massimo)

## 1 Titolo

Dato che vogliamo studiare il comportamento del pendolo semplice, il titolo della prova è: **Le proprietà del pendolo semplice**.

## 2 Obiettivi

Vogliamo vedere se, e secondo quale tipo di legge, il periodo  $T$  del pendolo semplice dipende da:

- angolo di oscillazione  $\alpha$ ;
- massa del pendolo  $m$ ;
- lunghezza del filo  $L$ .

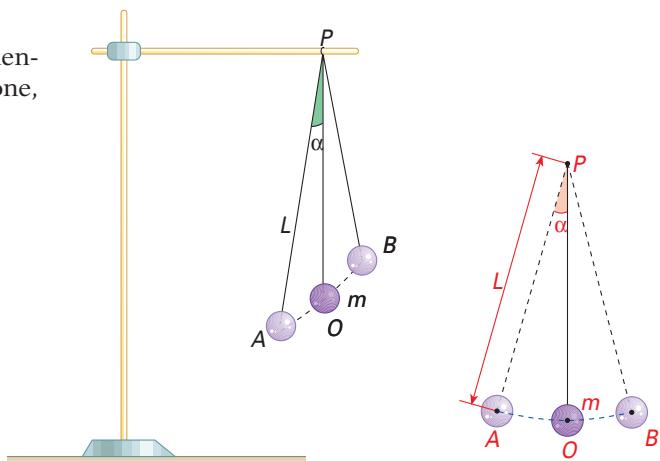
## 3a Schema e/o disegno

Basta tracciare uno schizzo del pendolo semplice, evidenziando il punto fisso, il centro e gli estremi dell'oscillazione, la lunghezza del filo, l'angolo e la massa.

## 3b Materiale e strumenti

Il materiale utilizzato è quello che segue:

- asta di supporto e morsetti;
- filo inestensibile;
- pesi;
- asta millimetrata;
- bilancia;
- goniometro;
- cronometro.



**Figura 1**

## 4 Contenuti teorici

Questo esperimento lo affrontiamo non tanto nello spirito di verificare una legge già nota, quanto di andare alla *scoperta* di ciò che caratterizza il comportamento di un pendolo semplice. Quindi, è sufficiente a questo punto dire in che cosa consista un pendolo semplice e che cos'è il moto armonico, dato che per piccole oscillazioni il pendolo si muove secondo tale moto.

## 5-6-7 Descrizione della prova, raccolta dei dati, elaborazione

Per quanto riguarda le modalità di misurazione del periodo  $T$ , ti rimandiamo alla *Parte III* della prova di laboratorio relativa alla *Scheda 1*. Qui, facendo variare a turno una sola fra le tre grandezze (angolo di oscillazione, massa del pendolo e lunghezza del filo) che presumibilmente possono influenzare il periodo  $T$ , misureremo ogni volta l'intervallo di tempo  $t$  necessario al completamento di cinque oscillazioni (che diviso per 5 ci darà  $T$ ) e poi analizzeremo i risultati ottenuti.

(Per la determinazione dell'incertezza di  $T$  vedi **help 1** in fondo alla scheda).

### Parte I: variazione dell'angolo di oscillazione

Fissata la lunghezza del filo:  $L = (\dots \pm \dots)$

e fissata la massa del pendolo:  $m = (\dots \pm \dots)$

misura il tempo di 5 oscillazioni complete e modifica quattro volte l'angolo di oscillazione, compilando la seguente tabella, in cui il periodo è  $T = t/5$ :

**Tabella 1**

	1 $\alpha$ (°)	2 $\Delta x(\alpha)$ (°)	3 $t$ (s)	4 $\Delta x(t)$ (s)	5 $T$ (s)	6 $\Delta x(T)$ (s)
I	...	...	...	...	...	...
II	...	...	...	...	...	...
III	...	...	...	...	...	...
IV	...	...	...	...	...	...

#### Rispondi alle seguenti domande:

- Il periodo  $T$  può essere considerato "ragionevolmente" costante?

.....

- A che cosa può essere dovuto il fatto che i tempi siano (molto/un po') diversi tra loro?

.....

- Scrivi la misura di  $T$  nell'eventualità che sia possibile considerare una serie di misure i dati della colonna 5:

.....

### Parte II: variazione della massa

Fissata la lunghezza del filo:  $L = (\dots \pm \dots)$

e fissato l'angolo di oscillazione:  $\alpha = (\dots \pm \dots)$

misura il tempo di 5 oscillazioni complete e modifica quattro volte la massa del pendolo, compilando la seguente tabella, in cui il periodo è  $T = t/5$ :

**Tabella 2**

	1 $m$ (g)	2 $\Delta x(m)$ (g)	3 $t$ (s)	4 $\Delta x(t)$ (s)	5 $T$ (s)	6 $\Delta x(T)$ (s)
I	...	...	...	...	...	...
II	...	...	...	...	...	...
III	...	...	...	...	...	...
IV	...	...	...	...	...	...

#### Rispondi alle seguenti domande:

- Il periodo  $T$  può essere considerato "ragionevolmente" costante?

.....

- A che cosa può essere dovuto il fatto che i tempi siano (molto/un po') diversi tra loro?  
.....
- Scrivi la misura di  $T$  nell'eventualità che sia possibile considerare una serie di misure i dati della colonna 5:  
.....
- Che cosa ricavi dal confronto con i valori di  $T$  trovati nella *Parte I*?  
.....

### Parte III: variazione della lunghezza

Fissata la massa del pendolo:  $m = (\dots \pm \dots)$

e fissato l'angolo di oscillazione:  $\alpha = (\dots \pm \dots)$

misura il tempo di 5 oscillazioni complete e modifica quattro volte la lunghezza del filo, compilando la seguente tabella, in cui il periodo è  $T = t/5$ :

**Tabella 3**

	1 $L$ (m)	2 $\Delta x(L)$ (m)	3 $t$ (s)	4 $\Delta x(t)$ (s)	5 $T$ (s)	6 $\Delta x(T)$ (s)
I	...	...	...	...	...	...
II	...	...	...	...	...	...
III	...	...	...	...	...	...
IV	...	...	...	...	...	...

#### Rispondi alle seguenti domande:

- Il periodo  $T$  può essere considerato "ragionevolmente" costante?  
.....
- A che cosa può essere dovuto il fatto che i tempi siano (molto/un po') diversi tra loro?  
.....
- Scrivi la misura di  $T$  nell'eventualità che sia possibile considerare una serie di misure i dati della colonna 5:  
.....

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

- Il periodo  $T$  del pendolo semplice:
  - **non dipende** da .....
  - **dipende** da .....
- Quale tra le seguenti leggi può essere approssimativamente valida (sulla Terra) per il pendolo semplice? (Rispondi fornendo la motivazione).
  - a)  $T \cong 2 \cdot \sqrt{\alpha}$
  - b)  $T \cong 2 \cdot \sqrt{m}$
  - c)  $T \cong 2 \cdot \sqrt{L}$
  - d) Nessuna
- Affinché il periodo  $T$  divenga il **doppio**, che cosa deve accadere? (Fai un esempio numerico).  
.....
- Affinché il periodo  $T$  divenga la **metà**, che cosa deve accadere? (Fai un esempio numerico).  
.....

### help 1

Ti ricordiamo che l'incertezza di  $T$  la ottieni dividendo per 5 la sensibilità del cronometro: in teoria, misurando l'intervallo di tempo di 5 oscillazioni anziché di una soltanto, si suddivide l'incertezza dovuta all'errore di sensibilità del cronometro su tutte e 5 le oscillazioni:

$$\Delta x(T) = \Delta x(t)/5\dots$$

# Il secondo principio della dinamica (relazione forza-accelerazione)

**PREREQUISITI**

Per affrontare la prova devi sapere:

- Che cosa sono e come si misurano la forza, l'accelerazione e la massa
- Legge oraria del moto uniformemente accelerato e formula inversa per trovare l'accelerazione
- Quali sono le conseguenze della proporzionalità diretta e inversa
- Enunciato del secondo principio della dinamica

## 1 Titolo

Attraverso varie modalità, ci occuperemo sostanzialmente della **Verifica del secondo principio della dinamica**.

## 2 Obiettivi

L'obiettivo principale, come enuncia lo stesso titolo, è:

- ottenere la conferma sperimentale della validità del secondo principio della dinamica.

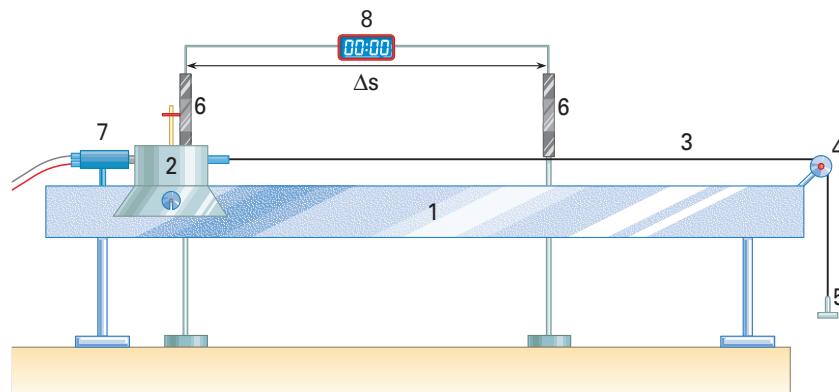
E tale scopo lo possiamo perseguire verificando che:

- il rapporto tra forza e accelerazione è costante (tale costante è la massa del sistema);
- la rappresentazione grafica dell'accelerazione in funzione della forza è una retta.

Un ulteriore sviluppo, che però è bene affrontare in una prova successiva, consiste nel verificare che massa e accelerazione, se la forza è costante, sono inversamente proporzionali, per cui il loro grafico risulta un ramo di iperbole.

## 3a Schema e/o disegno

Il dispositivo è lo stesso utilizzato nella prova della *Scheda 10*, che riproduciamo nuovamente in figura 1.



**Figura 1**

## 3b Materiale e strumenti

Il materiale e gli strumenti di cui abbiamo bisogno sono:

- guidovia a cuscino d'aria (1);
- carrello (2);
- filo inestensibile (3);
- carrucola (4);
- portapesi e pesetti (5);
- fotocellule (6);
- elettrocalamita (7);
- timer (8);
- compressore;
- asta millimetrata;
- dinamometro.

## 4 Contenuti teorici

L'enunciato del secondo principio della dinamica è la base teorica di questa esperienza di laboratorio, per cui si tratta di mostrare come, a partire dalla conoscenza delle due grandezze forza e accelerazione già note, viene verificata la loro diretta proporzionalità e, quindi, viene definita in modo completo una *nuova* grandezza, cioè la massa, che conoscevamo soltanto da un punto di vista operativo.

## 5 Descrizione della prova

Questa volta fissiamo lo spazio  $\Delta s$  che il carrello percorre tra le due fotocellule. Ciò che invece modifichiamo di volta in volta è il numero dei pesetti, allo scopo di modificare il valore della forza applicata. A questo punto, misurati gli intervalli di tempo impiegati a percorrere  $\Delta s$ , calcoliamo l'accelerazione con la formula ormai nota  $a = 2 \cdot \Delta s/t^2$  e, infine, il rapporto:

$$m = \frac{F}{a} = \dots$$

Se tutto procede come dovrebbe, troveremo che il valore di tale rapporto (che è la massa del nostro sistema formato dal carrello e dai pesi), rimane pressoché costante.

La prova è la seguente.

### Fase di preparazione

Questa fase coincide con quella relativa alla prova sul moto rettilineo uniformemente accelerato (vedi *Scheda 10*). Le differenze caratterizzanti sono due.

- La distanza tra le fotocellule viene scelta una volta per tutte. Non ti conviene metterle troppo vicine l'una all'altra, affinché la misurazione di  $a$  sia più attendibile. Misuri perciò:

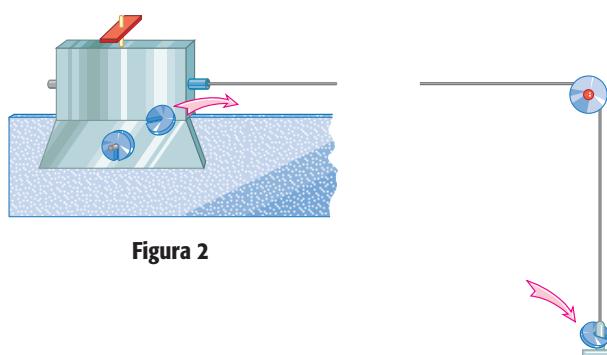
$$\Delta s = s - s_0$$

che scriverai fuori dalla tabella.

(Per l'incertezza  $\Delta x(\Delta s)$ , necessaria per la scrittura della misura di  $\Delta s$ , vedi l'**help 1** della *Scheda 9*.)

- Tramite il dinamometro, misura la forza-peso del portapesi da solo, quindi con un pesetto, poi con due ecc., fino al numero massimo di pesetti che pensi di usare, riportando i dati con i corrispondenti errori di sensibilità nelle colonne 1 e 2 della tabella 1 di pagina seguente.

- Prima di iniziare, disporrai negli appositi sostegni del carrello tutti i pesetti previsti (fig. 2). Prelevandoli uno alla volta dal carrello e mettendoli nel portapesi, otterrai un aumento progressivo della forza applicata. Ricordati che non puoi prendere altri pesi dall'esterno, perché in questo caso verrebbe meno il requisito fondamentale per il quale **la massa del sistema studiato deve restare costante**.



**Figura 2**

## Fase di esecuzione

- Apri il circuito dell'elettrocalamita: il carrello parte e attraversa entrambe le fotocellule.
- Leggi il valore dell'intervallo di tempo sul timer.
- Chiudi il circuito dell'elettrocalamita e rimetti il carrello nella posizione di partenza.
- Lasciando invariata la posizione delle fotocellule, ripeti la prova altre due volte per verificare la validità del valore di  $t$  da mettere nella colonna 3. (Se dovessi ottenere dati sensibilmente diversi fra loro, riconsidera l'**help 2** della Scheda 9.)
- Una volta completata questa fase, sposta un peso dal carrello al portapesi e ripeti il procedimento dall'istruzione a) alla d).

È consigliabile fare in modo che la forza applicata tramite i pesi raddoppi, triplichi ecc., in maniera da poter vedere subito a occhio come nel frattempo si comporta l'accelerazione.

- Ripeti l'istruzione precedente il numero di volte necessario, che dipenderà dal numero dei pesetti disposti inizialmente sul carrello.

La fase esecutiva è così conclusa.

## 6 Raccolta dei dati

Dati preliminari:

- distanza tra le fotocellule:  $\Delta s = (0,800 \pm 0,002) \text{ m}$
- sensibilità del timer:  $\Delta x(t) = 0,01 \text{ s}$

**Tabella 1**

1	2	3	4	5	6	7	8	9
$F$ (N)	$\Delta x(F)$ (N)	$t$ (s)	$t^2$ (s <sup>2</sup> )	$\Delta x(t^2)$ (s <sup>2</sup> )	$a = 2 \cdot \Delta s/t^2$ (m/s <sup>2</sup> )	$\Delta x(a)$ (m/s <sup>2</sup> )	$F/a = m$ (kg)	$\Delta x(m)$ (kg)
0,10	0,01	2,38	5,66	0,05	0,282	0,003	0,35	0,04
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...

Nella tabella compaiono alcuni dati come esempio per i calcoli.

## 7 Elaborazione

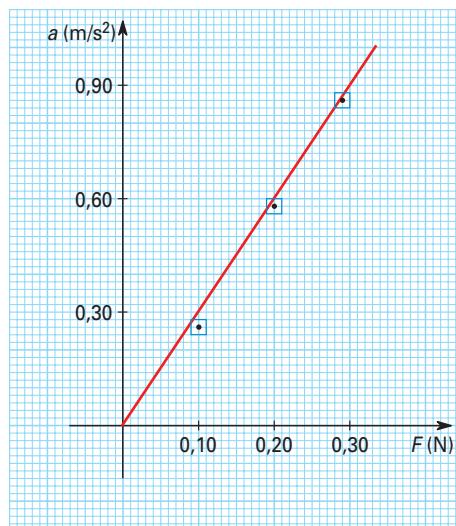
### I calcoli

I procedimenti per la scrittura di  $\Delta s$  e per completare le colonne 4 e 6 (con eventualmente la 5 e la 7, riguardanti le incertezze), li abbiamo visti in dettaglio nella Scheda 10. Invece, nella colonna 8 metti i risultati del rapporto fra la forza applicata e l'accelerazione del carrello:

$$m = \frac{F}{a} = \frac{0,10}{0,282} = 0,35461 \text{ kg} \approx 0,35 \text{ kg}$$

(Non dovresti trovarlo difficile, comunque il procedimento per calcolare l'incertezza  $\Delta x(m)$  si trova più avanti nell'**help 1**.)

Fatto ciò, disegna il grafico accelerazione-forza (fig. 3).



**Figura 3**

## Il grafico

Riporta sull'asse delle  $X$  i valori delle forze misurate con il dinamometro e su quello delle  $Y$  le corrispondenti accelerazioni. Individuati sul piano cartesiano i punti di tutte le coppie di valori e disegnati i rispettivi intervalli di indeterminazione, traccia la retta. Se attraversa ciascuno degli intervalli (fig. 3), allora hai trovato che  $a$  è proporzionale a  $F$ .

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Se i valori del rapporto  $F/a$  sono fra loro abbastanza vicini (ovvero, se nel grafico hai trovato una retta che, oltre a passare per l'origine degli assi, attraversa tutti gli intervalli sperimentali), allora puoi concludere di avere verificato il secondo principio della dinamica, in quanto esso in sostanza afferma che la forza applicata a un sistema e l'accelerazione che questo manifesta sono direttamente proporzionali. Se, invece, i dati sono significativamente diversi fra loro (o se la retta non passa per tutti gli intervalli), allora potrebbero essersi verificati i seguenti problemi:

- la guidovia non era perfettamente orizzontale;
- l'attrito fra guidovia e carrello è risultato condizionante, soprattutto nella fase iniziale nella quale il carrello era caricato con un rilevante numero di pesi.

### help 1

L'incertezza del rapporto  $F/a$ , cioè della massa, è la seguente:

$$\Delta x(m) = [\varepsilon_r(F) + \varepsilon_r(a)] \cdot m = \left[ \frac{\Delta x(F)}{F} + \frac{\Delta x(a)}{a} \right] \cdot m = \left[ \frac{0,01}{0,10} + \frac{0,003}{0,282} \right] \cdot 0,35461 = \\ = [0,1 + 0,01064] \cdot 0,35461 = 0,11064 \cdot 0,35461 = 0,03923 \cong 0,04 \text{ kg}$$

Per cui:

$$m = (0,35 \pm 0,04) \text{ kg}$$

# Il secondo principio della dinamica (relazione massa-accelerazione)

**PREREQUISITI**

Per affrontare la prova devi sapere:

- Definizione di massa e sua unità di misura
- Definizione e unità di misura di forza e accelerazione
- Legge oraria del moto rettilineo uniformemente accelerato
- Enunciato del secondo principio della dinamica

## 1 Titolo

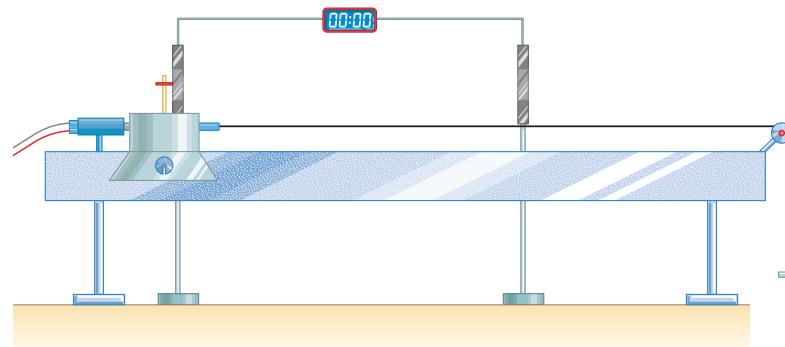
La prova costituisce un completamento della parte trattata nella *Scheda 12*, quindi il titolo può essere esplicitato come segue: **Il secondo principio della dinamica: relazione tra massa e accelerazione.**

## 2 Obiettivi

Avendo a questo punto probabilmente già visto in quale maniera cambia l'accelerazione, con massa del corpo costante, al cambiare della forza applicata, si vuole adesso vedere che cosa accade all'accelerazione quando, lasciando invariata la forza che agisce sul corpo, la massa di quest'ultimo si modifica. Oltre a mettere così in luce tutti gli aspetti del secondo principio, questo approccio sperimentale è utile e proficuo per consolidare, o magari affrontare concretamente per la prima volta, le conoscenze e le competenze collegate alla proporzionalità inversa.

## 3a Schema e/o disegno

Lo schema (vedi figura 1) è del tutto simile a quello della prova in cui si è verificata la diretta proporzionalità tra  $F$  e  $a$  (con  $m$  costante).



**Figura 1**

### 3b Materiale e strumenti

Il materiale e gli strumenti per eseguire la prova sono:

- guidovia a cuscino d'aria (completa dei vari componenti);
- pesetti;
- timer;
- asta millimetrata;
- bilancia e dinamometro.

### 4 Contenuti teorici

Se questa prova è la seconda sull'argomento esaminato, allora l'esposizione dei concetti teorici può essere limitata al solo elemento di novità, costituito dall'analisi dell'andamento dell'accelerazione in funzione della massa. Puoi accennare alla proporzionalità inversa, secondo la relazione deducibile dall'espressione matematica del secondo principio:

$$a = \frac{F}{m}$$

e illustrarne le conseguenze, magari anche a livello grafico, per avere elementi utili per le considerazioni finali.

### 5 Descrizione della prova

- Misura con un dinamometro la forza applicata dai pesetti (che resteranno invariati durante la prova).
- Disponi la prima fotocellula subito a ridosso del carrello affinché il conteggio del tempo inizi non appena parte il carrello stesso: in tal caso è possibile calcolare l'accelerazione come  $a = 2 \cdot \Delta s/t^2$ . Dopo avere posizionato la seconda fotocellula a una certa distanza dall'altra, misura la distanza tra di esse, che ti darà lo spazio percorso  $\Delta s$  (che rimarrà costante).
- A carrello scarico, apri il circuito dell'elettroncalamita e, dopo il suo passaggio oltre la fotocellula più lontana, leggi l'intervallo di tempo sul timer.
- Ripeti la misurazione, aggiungendo ogni volta al carrello almeno due pesetti (uno da 25 g per lato), per cui la massa  $m$  del sistema aumenta.

N.B. Ricorda che nella massa del sistema vanno inclusi anche i pesetti che trascinano il carrello e il suo carico!

### 6 Raccolta dei dati

Fuori dalla tabella riporta i dati che non cambiano, cioè la forza  $F$  dovuta ai pesetti e la distanza  $\Delta s$  percorsa dal carrello:

$$F = (0,25 \pm 0,01) \text{ m}$$

$$\Delta s = (0,800 \pm 0,002) \text{ m}$$

**Tabella 1**

1	2	3	4	5	6	7
<b><math>m</math> (kg)</b>	<b><math>\Delta x(m)</math> (kg)</b>	<b><math>t</math> (s)</b>	<b><math>\Delta x(t)</math> (s)</b>	<b><math>a = 2 \cdot \Delta s/t^2</math> (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b><math>m \cdot a</math> (N)</b>	<b><math>\Delta x(m \cdot a)</math> (N)</b>
0,225	0,001	1,20	0,01	1,11	0,250	0,006
0,275	0,001	1,33	0,01	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...

## 7 Elaborazione

Il calcoli prevedono la determinazione dell'accelerazione  $a$  con la formula indicata nella prima riga della colonna 5 (per vedere come essa diminuisca all'aumentare di  $m$ ) e del prodotto  $m \cdot a$ , che dovrebbe rimanere costante, se è vero che accelerazione e massa sono inversamente proporzionali:

$$a = \frac{2 \cdot \Delta s}{t^2} = \frac{2 \cdot 0,800}{1,20^2} = \dots \quad m \cdot a = 0,225 \cdot 1,11 = \dots$$

Evidentemente, il valore di  $m \cdot a$  sarà molto vicino a quello di  $F$  misurato con il dinamometro... (Se necessario, è possibile calcolare l'incertezza seguendo i suggerimenti dell'**help 1**.)

Nell'eventualità che le misurazioni siano almeno quattro, diventa interessante tracciare il grafico ( $m, a$ ), mettendo la massa  $m$  sull'asse  $X$  e l'accelerazione sull'asse  $Y$ . Ottieni in tal modo come curva un ramo di iperbole.

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Si valuta se massa e accelerazione sono inversamente proporzionali, verificando la prossimità fra loro dei prodotti  $m \cdot a$  della colonna 6 e l'andamento secondo un ramo di iperbole del grafico. Analogamente all'altra prova sul secondo principio della dinamica, i fattori che possono condizionare la riuscita della verifica sperimentale sono:

- l'attrito;
- una pendenza non rilevata della guidovia.

### help 1

L'incertezza del prodotto  $m \cdot a$  (senza passare attraverso quello dell'accelerazione) può essere trovata direttamente tramite la formula:

$$\Delta x(m \cdot a) = \left[ \frac{\Delta x(m)}{m} + \frac{\Delta x(\Delta s)}{\Delta s} + 2 \cdot \frac{\Delta x(t)}{t} \right] \cdot (m \cdot a)$$

**PREREQUISITI**

Per affrontare la prova devi sapere:

- Definizione e unità di misura dell'accelerazione
- Legge oraria del moto uniformemente accelerato e formula inversa per trovare l'accelerazione
- Che cos'è l'accelerazione di gravità  $g$
- Come si misura sperimentalmente l'accelerazione

## 1 Titolo

Considerato lo scopo che vogliamo raggiungere, possiamo intitolare la prova: **L'accelerazione di gravità**.

## 2 Obiettivi

L'obiettivo consiste nel calcolare il valore della  $g$ , confrontandolo con quello teorico; sappiamo che, pur essendo variabile, al livello del mare esso è  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

Disponendo di corpi di massa diversa, si potrebbe eventualmente verificare che, nonostante non si possa eliminare l'influenza dell'aria, l'accelerazione di gravità sostanzialmente resta invariata.

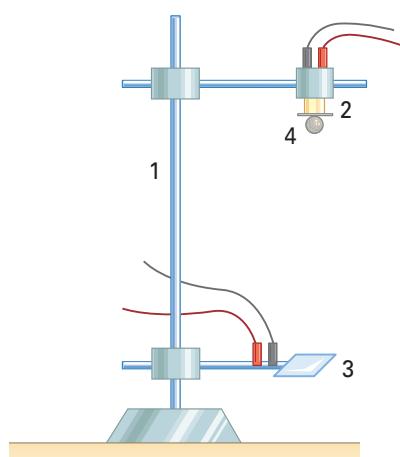
## 3a Schema e/o disegno

I componenti e gli strumenti necessari sono schematicamente rappresentati in figura 1.

## 3b Materiale e strumenti

Il materiale utilizzato è il seguente:

- asta di supporto (1);
- elettrocalamita (2);
- bandierina (o fotocellula) (3);
- sfere di acciaio (4);
- asta millimetrata;
- timer.



**Figura 1**

## 4 Contenuti teorici

Le conoscenze preliminari con le quali affronti questo semplice esperimento riguardano, oltre il concetto di accelerazione, il fatto che in assenza di aria un corpo lasciato cadere liberamente, cioè senza spinte, si muove verticalmente di moto rettilineo con accelerazione costante (e non, come si è portati a credere istintivamente, con velocità costante). Non solo. Il valore di questa accelerazione, detta **accelerazione di gravità**, è stranamente uguale per tutti i corpi che cadono, indipendentemente dalla loro massa e dimensione, a condizione di escludere l'attrito dell'aria.

## 5 Descrizione della prova

La prova che stiamo per iniziare non è dissimile, dal punto di vista dei calcoli, da quella trattata nella *Scheda 10*, in cui abbiamo misurato l'accelerazione in un moto rettilineo uniformemente accelerato. Una volta rilevati spazi percorsi e relativi intervalli di tempo, dobbiamo calcolare l'accelerazione (in questo caso è però la  $g$ ) con la formula ormai nota:

$$g = \frac{2 \cdot \Delta s}{t^2}$$

La differenza consiste solo nella posizione verticale del dispositivo e nel meccanismo di rilevazione degli intervalli di tempo. Modificheremo l'altezza dalla quale facciamo cadere la sfera metallica e leggeremo il tempo sul timer. Quindi, calcolando l'accelerazione, dovremmo trovare nelle varie situazioni dei valori vicini a  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

Mettiamoci all'opera.

Sull'asta di supporto sono fissate con dei morsetti l'elettrocalamita, che trattiene la sfera inizialmente ferma, e la bandierina. Entrambe sono collegate al timer. Quando si fa scattare l'interruttore del circuito, la corrente elettrica non attraversa più l'elettrocalamita e la sfera cade. Contemporaneamente, si avvia il conteggio del timer (fig. 2). Cadendo, la sfera di acciaio urta contro una bandierina metallica (oppure passa attraverso una fotocellula), che arresta il conteggio del tempo.

Lo spazio percorso dalla sfera è  $\Delta s = s - s_0$ , essendo  $s$  la posizione, letta sull'asta millimetrata, della sfera a contatto con l'elettrocalamita ed  $s_0$  la posizione della bandierina. Quest'ultimo valore è fisso, per cui puoi scriverlo fuori dalla tabella in cui collocherai gli altri valori (tabella 1 a pagina seguente). Invece, riporta  $s$  nella colonna 1 della tabella 1 e  $t$  nella colonna 4. L'incertezza  $\Delta x(t)$ , determinata dall'errore di sensibilità del timer, poiché non cambia, mettila anch'essa all'esterno della tabella.

(Per incertezza  $\Delta x(\Delta s)$ , da trascrivere nella colonna 3, vedi l'**help 1** della *Scheda 10*.)

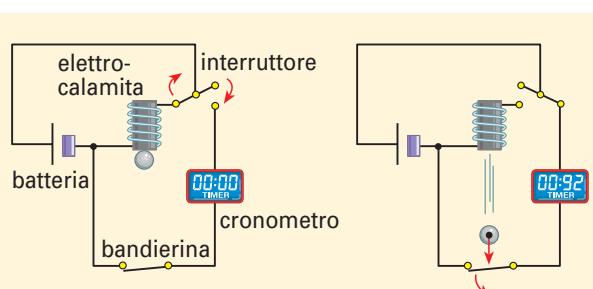
- Disponi la sfera, muovendo l'elettrocalamita sull'asta di supporto, in modo tale che sia  $\Delta s = 20 \text{ cm}$ .
- Apri il circuito dell'elettrocalamita: la sfera cade e urta la bandierina.
- Leggi il valore dell'intervalllo di tempo sul timer.
- Lasciando invariata la posizione dell'elettrocalamita, ripeti la prova altre due volte per verificare la plausibilità del valore di  $t$  da mettere nella colonna 4 della tabella.
- Chiudi il circuito dell'elettrocalamita, ricolloca la sfera al suo posto e spostala facendo sì che adesso sia  $\Delta s = 40 \text{ cm}$ .

Come già suggerito altre volte, è opportuno variare omogeneamente  $\Delta s$  (per esempio, aumentandolo ogni volta di 10 o di 20 cm).

- Dopo avere azzerato il timer, ripeti le operazioni dalla b) alla e) il numero di volte necessario, che dipenderà da quante rilevazioni sono tecnicamente effettuabili.

Se ti si richiede di ampliare la prova utilizzando sfere di massa diversa, non devi fare altro che procedere nuovamente secondo quanto appena visto.

Le fasi operative sono terminata.



**Figura 2** La corrente elettrica attraversa l'elettrocalamita, che trattiene la sfera metallica. Facendo scattare l'interruttore nel senso delle frecce cessa l'azione magnetica e la sfera cade. Contemporaneamente il timer risulta collegato elettricamente, per cui segna il tempo. Quando la pallina urta la bandierina, aprendola nel senso della freccia, il timer si arresta.

## 6 Raccolta dei dati

Dati fissi:

- posizione della bandierina:  $s_0 = (0,150 \pm 0,001) \text{ m}$
- sensibilità del timer:  $\Delta x(t) = 0,01 \text{ s}$

**Tavella 1**

1	2	3	4	5	6	7	8
$s$ (m)	$\Delta s$ (m)	$\Delta x(\Delta s)$ (m)	$t$ (s)	$t^2$ (s <sup>2</sup> )	$\Delta x(t^2)$ (s <sup>2</sup> )	$g = 2 \cdot \Delta s / t^2$ (m/s <sup>2</sup> )	$\Delta x(g)$ (m/s <sup>2</sup> )
0,350	0,200	0,002	0,20	0,040	0,004	10,0	1,1
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...

I dati della tabella sono forniti unicamente a titolo di esempio.

## 7 Elaborazione

La colonna 5, relativa al quadrato dell'intervallo di tempo, serve soltanto per agevolarti nei calcoli:

$$t^2 = 0,20^2 = 0,040 \text{ s}^2$$

(Per l'incertezza di  $t^2$  della colonna 6, vedi l'**help 2** della *Scheda 10*.)

Nella colonna 7 trascriviamo i valori trovati dell'accelerazione di gravità:

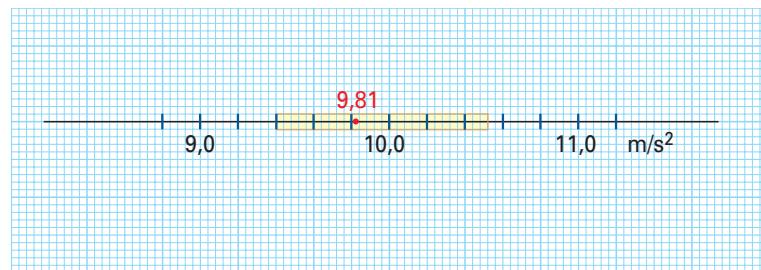
$$g = \frac{2 \cdot \Delta s}{t^2} = \frac{2 \cdot 0,200}{0,20^2} = \frac{0,400}{0,040} = 10,0 \text{ m/s}^2$$

(Nell'eventualità che tu debba calcolare l'incertezza di  $g$  relativa alla colonna 8, puoi fare riferimento all'**help 3** della *Scheda 10*. Ti facciamo notare che nel dato indicato in tabella, cioè  $\Delta x(g) = 1,1 \text{ m/s}^2$ , non abbiamo effettuato l'arrotondamento solito, affinché potessi apprezzarne l'effettiva entità. In ogni caso, procedendo nella prova tale incertezza di norma diminuisce.)

Una volta completata la tabella, elabora i valori delle  $g$  scritti nella colonna 7, come una **serie di misure**: devi trovare il **valore medio** e l'**errore massimo** dei dati della colonna 7 e, infine, scrivere la misura (vedi l'**help 4** della *Scheda 10*):

$$g = (\dots \pm \dots) \text{ m/s}^2$$

Infine, disegna il corrispondente intervallo di indeterminazione, indicando chiaramente anche il valore atteso di  $9,81 \text{ m/s}^2$  (fig. 3).



**Figura 3**

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Se il valore  $9,81 \text{ m/s}^2$  cade all'interno dell'intervallo di indeterminazione e i valori delle varie  $g$  sono vicini tra loro, allora puoi concludere di avere verificato che la sfera è scesa in caduta libera con accelerazione costante e pari approssimativamente al valore previsto.

Se, al contrario, le due condizioni precedenti non si verificano, a causa di un'eccessiva *dispersione* dei dati conclusivi, allora possono esserci stati i seguenti problemi:

- l'asta millimetrata non era perfettamente verticale;
- l'attrito dell'aria ha condizionato la caduta della sfera.

**PREREQUISITI**

Per affrontare la prova devi sapere:

- Definizione e unità di misura della forza
- Significato di forza peso
- Come si trovano le componenti in una forza secondo direzioni prefissate

## 1 Titolo

Tra le due possibilità di determinare la componente parallela al piano inclinato (che è quella attiva) oppure quella perpendicolare della forza peso, sceglieremo la prima, per cui il titolo sarà: **Determinazione della componente attiva della forza peso nel piano inclinato.**

## 2 Obiettivi

Con questa prova ci si prefigge di misurare il modulo della componente parallela della forza peso nel caso del piano inclinato e di confrontarla con il suo valore teorico.

## 3a Schema e/o disegno

Nella figura 1 viene riprodotta una modalità classica per l'effettuazione della prova, che consente il lavoro simultaneo di vari gruppi. (Altrimenti, nell'eventualità di prova da banco, si può utilizzare anche la guidovia a cuscino d'aria.)

## 3b Materiale e strumenti

In linea di massima l'occorrente è costituito da:

- asta di supporto (e relativi morsetti);
- carrellino;
- asta metallica e livella;
- filo a piombo con pesetto;
- metro a nastro e goniometro;
- goniometro d'acciaio;
- dinamometro.

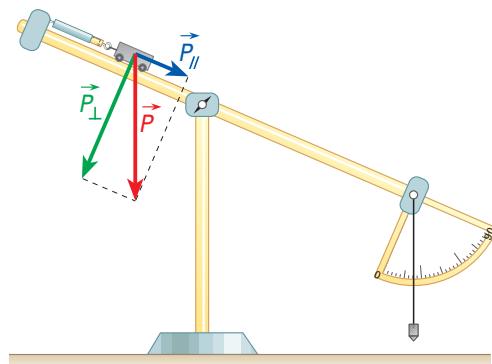


Figura 1

## 4 Contenuti teorici

I possibili argomenti da sviluppare a livello di introduzione teorica dell'argomento trattato sono la scomposizione dei vettori in generale, e delle forze in particolare, secondo direzioni prestabilite; quindi, il significato della componente  $\vec{P}_{\parallel}$  della forza peso  $\vec{P}$  lungo la direzione parallela al piano inclinato di lunghezza  $l$  e altezza  $h$ , il cui modulo è:

$$P_{\parallel} = \frac{h}{l} \cdot P$$

## 5 Descrizione della prova

- Come prima cosa, misura con il metro flessibile la lunghezza dell'asta metallica e con il dinamometro il modulo  $P$  della forza peso del carrello, che restano invariati durante l'esecuzione della prova.
- Disponi l'asta metallica accertandoti, tramite la livella, che sia perfettamente orizzontale.
- A una sua estremità fissi il dinamometro; all'altra estremità disponi il goniometro d'acciaio e verifica che il filo a piombo indichi il valore  $0^\circ$  dello strumento.
- A questo punto inclina l'asta metallica di un certo angolo (per esempio  $15^\circ$ , con l'aiuto del goniometro e del filo a piombo), controlla l'azzeramento del dinamometro, aggancialo il carrellino e leggi nella scala graduata il valore sperimentale di  $P_{\parallel}$  (che indicheremo con  $P_{\parallel S}$ , distinguendolo da quello teorico  $P_{\parallel T}$ ).

N.B. Quando si incrementa l'inclinazione per fare un'altra misurazione, bisogna preoccuparsi di azzerare correttamente il dinamometro scarico nella nuova posizione.

## 6 Raccolta dei dati

In tabella 1, per semplicità, non conviene riportare l'errore di sensibilità del goniometro e i dati costanti (cioè il modulo della forza peso del carrello  $P$  e la lunghezza  $l$  dell'asta metallica), scritti all'esterno.

$$P = (1,89 \pm 0,01) \text{ N} \quad l = (0,750 \pm 0,001) \text{ m}$$

**Tabella 1**

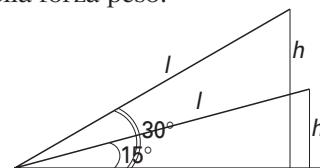
$\alpha$ ( $^\circ$ )	$P_{\parallel S}$ (N)	$\Delta x(P_{\parallel S})$ (N)	$h$ (m)	$\Delta x(h)$ (m)	$P_{\parallel T} = (h/l) \cdot P$ (N)	$\Delta x(P_{\parallel T})$ (N)
15	0,48	0,01	0,200	0,005	0,50	0,02
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...

## 7 Elaborazione

Determini graficamente l'altezza  $h$  del piano inclinato (vedi figura 2), riportando in scala (1 a 10...) la lunghezza  $l$ , quindi calcoli il valore teorico  $P_{\parallel T}$  della componente cercata della forza peso:

$$P_{\parallel T} = \frac{h}{l} \cdot P = \frac{0,200}{0,750} \cdot 1,89 = \dots$$

(Per trovare l'incertezza, vedi **help 1**).



**Figura 2**

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

La vicinanza tra i valori di  $P_{\parallel S}$  e  $P_{\parallel T}$  decide dell'attendibilità della verifica sperimentale. Fra i fattori che possono risultare condizionanti, a parte quelli tecnici che in parte vengono aggirati operando con accuratezza, si può considerare:

- l'attrito volvente tra le ruote del carrellino e l'asta metallica che funge da piano inclinato.

### help 1

Se devi procedere anche con le incertezze, per  $h$  trovato in modo grafico puoi considerare prudentemente come incertezza 0,5 cm (cioè 0,005 m). Dopodiché:

$$\Delta x(P_{\parallel T}) = \left[ \frac{\Delta x(h)}{h} + \frac{\Delta x(l)}{l} + \frac{\Delta x(P)}{P} \right] \cdot P_{\parallel T}$$

# Il lavoro e il teorema delle forze vive

## PREREQUISITI

Per affrontare la prova devi sapere:

- Legge oraria del moto rettilineo uniformemente accelerato
- Definizione di lavoro e di energia cinetica

## 1 Titolo

Qui ci occupiamo del lavoro e di un importante teorema collegato a tale concetto. Intitoliamo la prova: **Il lavoro e il teorema delle forze vive.**

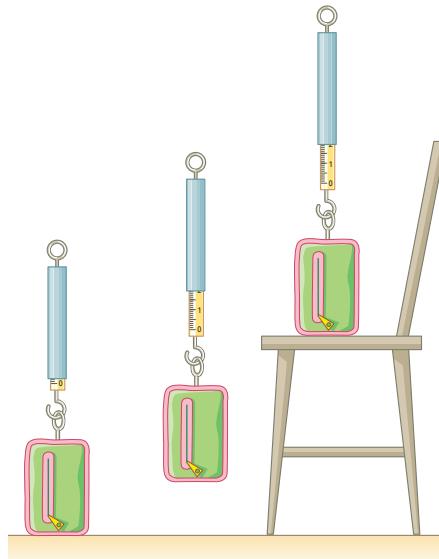
## 2 Obiettivi

Da una parte vogliamo calcolare il lavoro che si compie durante una semplice azione come il sollevamento di un oggetto. Dall'altra, verificare il legame tra il lavoro e la variazione dell'energia cinetica (teorema delle forze vive).

## 3a Schema e/o disegno

Per il primo obiettivo, puoi riprodurre un disegno analogo a quello riportato in figura 1 o che, comunque, illustri l'azione effettiva da te svolta.

Per il secondo obiettivo il disegno, se ti è stato richiesto, è nuovamente la guidovia a cuscino d'aria secondo la disposizione già studiata nella Scheda 12.



## 3b Materiale e strumenti

A parte tutto quello che riguarda la guidovia, hai bisogno di:

- metro a nastro;
- dinamometro;
- oggetto a piacere o un peso da sollevare.

**Figura 1**

## 4 Contenuti teorici

Devi esporre il concetto di lavoro, evidenziando magari la differenza tra lavoro motore e resistente, e dire qual è la sua unità di misura. Dopodiché, puoi parlare del collegamento tra lavoro ed energia, con particolare riferimento all'energia cinetica e, quindi, del **teorema delle forze vive**.

## 5-6-7 Descrizione della prova, raccolta dei dati, elaborazione

In questa prova calcoleremo il lavoro, per vedere come dipende dalla forza e dallo spostamento e per confrontarlo con la variazione di energia cinetica, senza fare ricorso alle incertezze, in modo da focalizzare l'attenzione sugli aspetti sostanziali.

### Parte I: il lavoro

Vediamo qual è l'entità del lavoro che viene compiuto in una situazione molto comune, come quella di sollevare un peso (fig. 1).

- Azzera correttamente il dinamometro, tenendolo nella posizione verticale di utilizzo.
- Disponi sul pavimento un oggetto di tua scelta al quale poter agganciare il dinamometro.
- Solleva lentamente l'oggetto con il dinamometro, assicurandoti che non venga superata la portata dello strumento.
- Fermandoti se necessario, leggi sul dinamometro il valore della forza  $F$  applicata da te verso l'alto e riportalo in tabella 1 nella prima colonna.
- Appoggia l'oggetto su una sedia e misura, quindi, verticalmente lo spazio  $s$  tra il pavimento e il ripiano della sedia, riportandone il valore in tabella nella seconda colonna.
- Esegui nuovamente queste operazioni con un percorso  $s$  maggiore, sfruttando per esempio il tavolo.
- Ripeti le due misurazioni precedenti, questa volta con un oggetto più pesante.

Ora puoi completare la tabella a fianco.

- Nella terza colonna devi riportare il calcolo del lavoro nei diversi casi:

$$L = F \cdot s$$

**Tabella 1**

1	2	3
$F$ (N)	$s$ (m)	$L = F \cdot s$ (J)

### Completa le frasi e rispondi alle domande

Per le considerazioni che seguono, ragiona sui dati presenti in tabella 1.

- Quando forza e spostamento sono paralleli e concordi, a parità di forza applicata  $F$ , il lavoro  $L$  è (direttamente/inversamente) ..... proporzionale rispetto allo spostamento  $s$ .
- Quando forza e spostamento sono paralleli e concordi, a parità di spostamento  $s$ , il lavoro  $L$  è (direttamente/inversamente) ..... proporzionale rispetto alla forza applicata  $F$ .
- Mentre tieni sollevato, ma fermo, l'oggetto per un minuto, quanto lavoro fai? .....
- E se lo sposti in senso orizzontale, quanto lavoro compie la forza con cui lo tieni sollevato? .....

### Parte II: le forze vive

Qui facciamo ricorso alla guidovia a cuscino d'aria nella stessa configurazione riportata nella figura 1 della Scheda 12 (a cui ti rinviamo).

- Tramite il dinamometro misura la forza-peso del portapesi e dei pesetti eventualmente in esso collocati. Tale forza  $F$ , costante durante la prova, la scrivi nella colonna 1 della tabella 2.
- Disponi la prima fotocellula facendo sì che il conteggio del tempo inizi non appena il carrello parte, quindi posiziona la seconda fotocellula e misura lo spazio  $s$  che separa le due fotocellule, riportandolo nella seconda colonna della tabella 2. (Per semplicità indichiamo tale spazio con  $s$  anziché con  $\Delta s$ , come fatto in precedenza.)
- Apri il circuito dell'eletrocalamita e leggi sul timer il valore dell'intervallo di tempo  $t$  impiegato dal carrello a raggiungere la seconda fotocellula. Inserisci il valore di  $t$  nella colonna 3.
- Aumenta la distanza  $s$  tra le fotocellule e ripeti la misurazione dell'intervallo di tempo  $t$ , trascrivendo le due misure nella seconda e terza colonna rispettivamente della tabella 2.

L'elaborazione di questi dati richiede una particolare attenzione da parte tua, pur avendo adoperato la guidovia in maniera tale da rendere più agevoli i calcoli.

**Tabella 2**

1	2	3	4	5	6
F (N)	s (m)	t (s)	v = 2 · s/t (m/s)	E <sub>c</sub> = (1/2) m · v <sup>2</sup> (J)	L = F · s (J)
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...

- e) Il calcolo del lavoro della forza peso costante, che grazie a filo e carrucola è stata trasformata in forza orizzontale, sfruttata per portare il carrello da una fotocellula all'altra, è semplicemente:

$$L = F \cdot s$$

Questi valori li metti nell'ultima colonna della tabella.

- f) Nel caso di partenza da fermo con posizione iniziale nulla, combinando la legge oraria del moto rettilineo uniformemente accelerato e la corrispondente relazione della velocità istantanea, si trova per la velocità con cui il carrello passa attraverso la seconda fotocellula:

$$v = a \cdot t, \quad \text{ma } a = \frac{2s}{t^2} \quad \Rightarrow \quad v = \frac{2 \cdot s}{t}$$

I risultati li puoi inserire nella colonna 4.

- g) Dato che la velocità iniziale è nulla, risulta nulla anche l'energia cinetica iniziale. Di conseguenza la variazione di energia cinetica corrisponde esattamente all'energia cinetica finale, che puoi calcolare, come:

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

I risultati li trascrivi nella colonna 5.

### Completa le frasi e rispondi alle domande

Confronta i dati delle ultime due colonne, ricordando che nella colonna 5 hai in realtà una variazione di energia cinetica, che però è uguale all'energia cinetica finale, in quanto quella iniziale è nulla (a causa del fatto che il carrello è inizialmente fermo).

- La variazione di energia cinetica e il lavoro compiuto sul carrello dalla forza che ne ha determinato la spinta sono (uguali/diversi) ..... (confermando/non confermando) il teorema delle forze vive.
- Ciò significa che il lavoro compiuto su un corpo può provocare un aumento della sua ..... e, viceversa, una diminuzione di quest'ultima se il lavoro viene compiuto dal corpo stesso.
- Quale collegamento possiamo trovare tra i concetti di energia e lavoro? .....

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Dal momento che, rispondendo alle domande riportate in precedenza, hai praticamente fatto già un'analisi dei risultati ottenuti, qui potresti ribadire sinteticamente in che maniera cambia il lavoro al cambiare della forza applicata e dello spostamento e quali conseguenze si possono trarre dal teorema delle forze vive.

# La conservazione dell'energia meccanica

**PREREQUISITI**

Per affrontare la prova devi sapere:

- Che cosa sono e come si misurano la massa e la velocità
- Significato dell'accelerazione di gravità
- Definizioni di energia cinetica, energia potenziale gravitazionale ed energia meccanica
- Enunciato del principio di conservazione dell'energia meccanica

## 1 Titolo

Possiamo intitolare la prova: **Verifica del principio di conservazione dell'energia meccanica.**

## 2 Obiettivi

In questa esperienza ci proponiamo di ottenere una conferma del fatto che, in assenza di fenomeni dissipativi, l'energia meccanica di un sistema isolato nel corso di un qualunque fenomeno fisico si conserva. Faremo riferimento, dal momento che abbiamo già ampiamente illustrato il dispositivo, alla guida-via a cuscino d'aria. Misureremo l'energia meccanica totale del sistema costituito dal carrello e dai pesi quando è fermo e quando ha acquistato una certa velocità. Vedremo quindi se le due quantità con le relative incertezze presentano compatibilità, cioè soddisfano il principio.

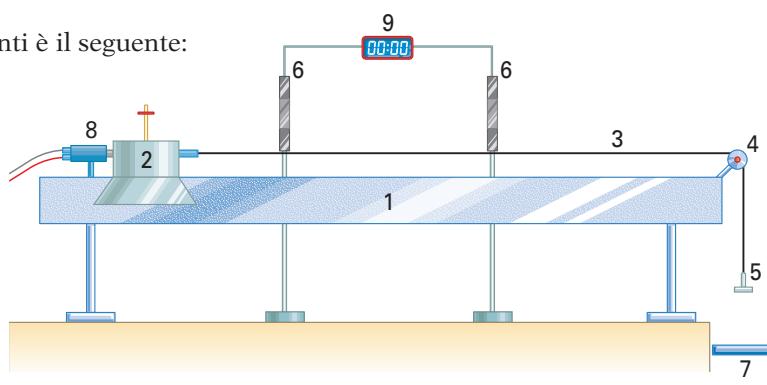
## 3a Schema e/o disegno

Il dispositivo coincide con quello relativo alla *Scheda 9* (fig. 1).

## 3b Materiale e strumenti

L'elenco del materiale e degli strumenti è il seguente:

- guidovia a cuscino d'aria (1);
- carrello (2);
- filo inestensibile (3);
- carrucola (4);
- portapesi e pesetti (5);
- fotocellule (6);
- piattello (7);
- elettrocalamita (8);
- timer (9);
- compressore;
- asta millimetrata;
- bilancia.



**Figura 1**

## 4 Contenuti teorici

Dopo aver parlato brevemente del concetto generale di energia, quindi delle due forme cinetica e potenziale gravitazionale, e avere detto che cosa si intende per energia meccanica, puoi passare all'enunciato del principio di conservazione dell'energia meccanica, sottolineandone le condizioni di validità, cioè l'assenza di forze d'attrito, e, possibilmente, la sua importanza concettuale generale.

## 5 Descrizione della prova

Disponiamo le due fotocellule esattamente come nella prova sul moto rettilineo uniforme, vale a dire dopo la zona della guidovia in cui il carrello presenta una prima fase di accelerazione. Questo vuol dire che pure qui sarà necessario il piattello. Inizialmente il sistema, che è formato dal carrello congiuntamente ai pesetti con relativo portapesi, è fermo: si ha solamente energia potenziale gravitazionale (denoteremo questa situazione come *istante 1*). Terminata la fase di accelerazione, con i pesetti che quindi hanno toccato il portapesi, il carrello si muove con velocità costante. Misurando quest'ultima, troviamo la velocità del sistema quando i pesetti stanno per urtare contro il piattello: saremo di conseguenza in grado di valutare l'energia cinetica acquistata dal sistema (indicheremo tale situazione come *istante 2*).

Dopo avere calcolato le energie meccaniche  $E_{M1}$  ed  $E_{M2}$ , nei momenti rispettivamente 1 e 2, verificheremo se i due valori sono compatibili, vale a dire se risultano sufficientemente vicini:

$$E_{M1} \approx E_{M2}$$

In questo modo potremo sostenere di avere ottenuto una conferma di quanto viene sostenuto dal principio di conservazione.

Passiamo adesso all'esecuzione della prova.

a) Rileva con la bilancia la massa del carrello, del portapesi e dei pesi adoperati:

$$m_C = (\dots \pm \dots) \dots \quad m_p = (\dots \pm \dots) \dots$$

b) Misura con l'asta millimetrata la distanza che separa il portapesi con i pesi dal piattello, dopo averli sistemati insieme al carrello sulla guidovia:

$$h = (\dots \pm \dots) \dots$$

c) Misura con l'asta millimetrata la distanza tra le due fotocellule:

$$\Delta s = (\dots \pm \dots) \dots$$

d) Apri il circuito dell'elettrocalamita: il carrello parte e attraversa entrambe le fotocellule.

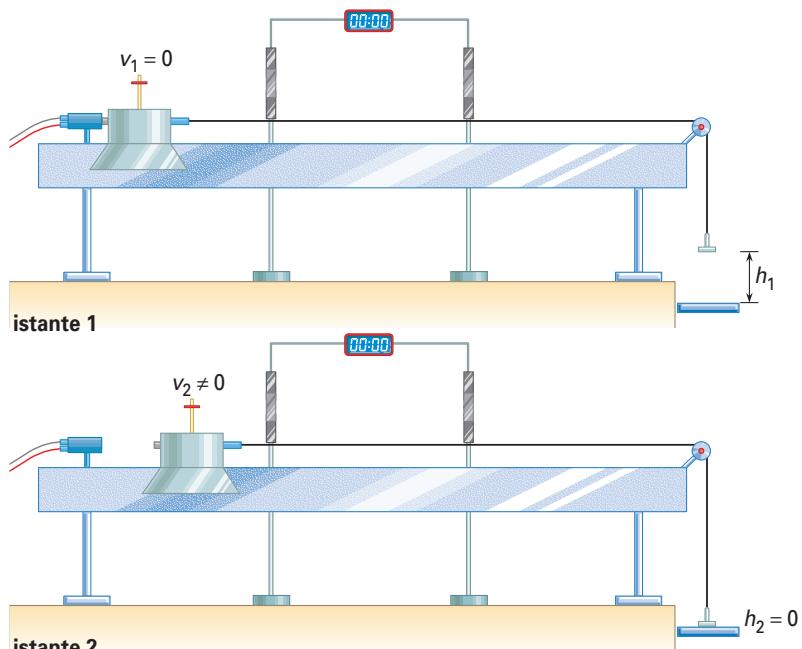
e) Dopo averlo bloccato alla fine del percorso, leggi il valore dell'intervallo di tempo e azzera il timer.

f) Chiudi il circuito dell'elettrocalamita e rimetti il carrello nella posizione di partenza.

g) Ripeti la prova altre due volte per verificare la validità del valore di  $\Delta t$ :

$$\Delta t = (\dots \pm \dots) \dots$$

Le operazioni sono così terminate.



**Figura 2**

## 6 Raccolta dei dati

Se la prova non viene ripetuta con incremento dei pesi applicati, non è necessario costruire una tabella. Mettiamo allora in ordine i dati (dei quali diamo qui un campione).

### Dati fissi

Massa del carrello:  $m_c = (289,5 \pm 0,1) \text{ g}$   
 Massa del portapesi e dei pesi:  $m_p = (20,0 \pm 0,1) \text{ g}$   
 Accelerazione di gravità:  $g = (9,81 \pm 0,01) \text{ m/s}^2$

### Istante 1

Distanza pesi-piattello:  $h_1 = (27,0 \pm 0,1) \text{ cm}$   
 Velocità del sistema:  $v_1 = 0$

### Istante 2

Distanza pesi-piattello:  $h_2 = 0$   
 Distanza tra le fotocellule:  $\Delta s = (55,0 \pm 0,2) \text{ cm}$   
 Intervallo di tempo:  $\Delta t = (0,96 \pm 0,02) \text{ s}$

## 7 Elaborazione

### Istante 1

Vediamo qual è l'energia meccanica quando il sistema è fermo ( $v_1 = 0$ ):

*Energia cinetica:*

$$E_{C1}(\text{carrello}) + E_{C1}(\text{pesi}) = \frac{1}{2} m_c \cdot v_1^2 + \frac{1}{2} m_p \cdot v_1^2 = 0$$

*Energia potenziale gravitazionale:*

$$E_{Pg1}(\text{pesi}) = m_p \cdot g \cdot h_1$$

*Energia meccanica totale:*

$$E_{M1} = [0] + [m_p \cdot g \cdot h_1]$$

Quindi:

$$E_{M1} = m_p \cdot g \cdot h_1 = 0,020 \cdot 9,81 \cdot 0,270 = 0,05297 \cong 0,0530 \text{ J}$$

Non abbiamo preso in considerazione l'energia potenziale  $E_{Pg1}(\text{carrello}) = m_c \cdot g \cdot h_{C1}$ , così come faremo per  $E_{Pg2}(\text{carrello}) = m_c \cdot g \cdot h_{C2}$ , in quanto essa non cambia nei due momenti considerati, dato che il carrello mantiene invariata la sua altezza rispetto a qualunque riferimento orizzontale.

(Per l'eventuale calcolo dell'incertezza, vedi [help 1](#)).

### Istante 2

Stabiliamo ora l'energia meccanica quando il sistema è in movimento ( $v_2 = \text{costante}$  è la velocità del carrello e dei pesi, che grazie al filo si muovono in modo solidale, mentre risulta  $h_2 = 0$ , perché il portapesi sta per toccare il piattello):

*Energia cinetica:*

$$E_{C2}(\text{carrello}) + E_{C2}(\text{pesi}) = \frac{1}{2} m_c \cdot v_2^2 + \frac{1}{2} m_p \cdot v_2^2 = \frac{1}{2} (m_c + m_p) \cdot v_2^2$$

*Energia potenziale gravitazionale:*

$$E_{Pg2}(\text{pesi}) = m_p \cdot g \cdot h_2 = 0$$

*Energia meccanica totale:*

$$E_{M2} = \left[ \frac{1}{2} (m_c + m_p) \cdot v_2^2 \right] + [0]$$

Per cui, essendo  $v_2 = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{0,550}{0,96} \cong 0,57292 \text{ m/s}$  avremo:

$$E_{M2} = \frac{1}{2} (m_c + m_p) \cdot v_2^2 = 0,5 \cdot (0,2895 + 0,0200) \cdot (0,57292)^2 = 0,05079 \cong 0,051 \text{ J}$$

(Se devi calcolare l'incertezza di  $E_{M2}$ , vedi [help 2](#)).

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Se si può ritenere che, nei limiti degli errori sperimentali, si abbia effettivamente

$$E_{M1} \approx E_{M2}$$

allora la conclusione è che il principio di conservazione dell'energia meccanica sia stato sostanzialmente verificato. In effetti, se calcoliamo lo scostamento in percentuale, con i nostri dati campione troviamo:

$$\frac{|E_{M1} - E_{M2}|}{E_{M1}} \cdot 100 = \frac{|0,053 - 0,051|}{0,053} \cdot 100 \approx 3,8\%$$

che è certamente accettabile.

Se sono stati calcolati anche gli intervalli di indeterminazione di  $E_{M1}$  ed  $E_{M2}$ , allora basta controllare che si abbia la compatibilità fra i due risultati (fig. 3).

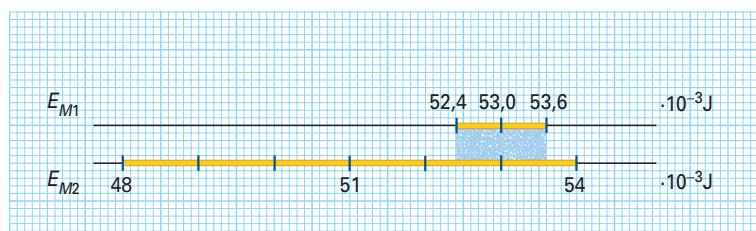


Figura 3

Se ciò che è stato ottenuto non è soddisfacente, bisogna cercare le cause che hanno portato a un esito sfavorevole. Nella prova che abbiamo analizzato, può verificarsi che il valore della velocità finale del sistema, a causa degli attriti, sia inferiore alla velocità teorica, fornendo un'energia cinetica più bassa di quella prevista.

### help 1

Vediamo come si calcola l'incertezza di  $E_{M1}$ :

$$\begin{aligned}\Delta x(E_{M1}) &= [\epsilon_r(m_p) + \epsilon_r(g) + \epsilon_r(h_l)] \cdot E_{M1} = \left[ \frac{\Delta x(m_p)}{m_p} + \frac{\Delta x(g)}{g} + \frac{\Delta x(h_l)}{h_l} \right] \cdot E_{M1} = \\ &= \left[ \frac{0,0001}{0,0200} + \frac{0,01}{9,81} + \frac{0,001}{0,270} \right] \cdot 0,05297 = 0,00972 \cdot 0,05297 = 0,00051 \approx 0,0006 \text{ J}\end{aligned}$$

La scrittura dell'energia meccanica iniziale è:

$$E_{M1} = (0,0530 \pm 0,0006) \text{ J} = (53,0 \pm 0,6) \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

### help 2

Troviamo l'incertezza di  $E_{M2}$ . Se indichiamo con  $m_T$  la somma fra  $m_C$  ed  $m_p$ , abbiamo:

$$\Delta x(m_T) = \Delta x(m_C) + \Delta x(m_p) = 0,1 + 0,1 = 0,2 \text{ g} \quad m_T = (309,5 \pm 0,2) \text{ g}$$

Per evitare poi di calcolare l'incertezza di  $v_2$ , che non ci serve, dato che l'energia meccanica non è altro che:

$$E_{M2} = \frac{1}{2} m_T \cdot v_2^2 \quad \Rightarrow \quad E_{M2} = \frac{1}{2} m_T \cdot \left( \frac{\Delta s}{\Delta t} \right)^2$$

possiamo procedere così:

$$\begin{aligned}\Delta x(E_{M2}) &= [\epsilon_r(m_T) + 2\epsilon_r(\Delta s) + 2\epsilon_r(\Delta t)] \cdot E_{M2} = \left[ \frac{\Delta x(m_T)}{m_T} + 2 \cdot \frac{\Delta x(\Delta s)}{\Delta s} + 2 \cdot \frac{\Delta x(\Delta t)}{\Delta t} \right] \cdot E_{M2} = \\ &= \left[ \frac{0,0002}{0,3095} + 2 \cdot \frac{0,002}{0,550} + 2 \cdot \frac{0,02}{0,96} \right] 0,05079 = 0,04959 \cdot 0,05079 = 0,00252 \approx 0,003 \text{ J}\end{aligned}$$

La scrittura dell'energia meccanica iniziale è:

$$E_{M2} = (0,051 \pm 0,003) \text{ J} = (51 \pm 3) \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

# La conservazione della quantità di moto

**PREREQUISITI**

Per affrontare la prova devi sapere:

- Definizione e unità di misura di massa e velocità
- Definizione e unità di misura della quantità di moto
- Enunciato del principio di conservazione della quantità di moto

## 1 Titolo

Il titolo di questa esperienza di laboratorio è: **Verifica del principio di conservazione della quantità di moto**.

## 2 Obiettivi

La prova viene svolta con l'intento di sottoporre a verifica il principio in base al quale in un sistema isolato, in cui le forze esterne risultino equilibrate, la quantità di moto complessiva resta invariata.

## 3a Schema e/o disegno

Il disegno riguarda la guidovia a cuscino d'aria già utilizzata ormai molte volte, ma con una diversa disposizione dei vari elementi (vedi figura 1).

## 3b Materiale e strumenti

Il materiale e gli strumenti sono:

- guidovia a cuscino d'aria (completa dei vari componenti, con due carrelli e quattro fotocellule);
- pesetti, molla e filo;
- due timer (oppure multimeri);
- asta millimetrata;
- bilancia.

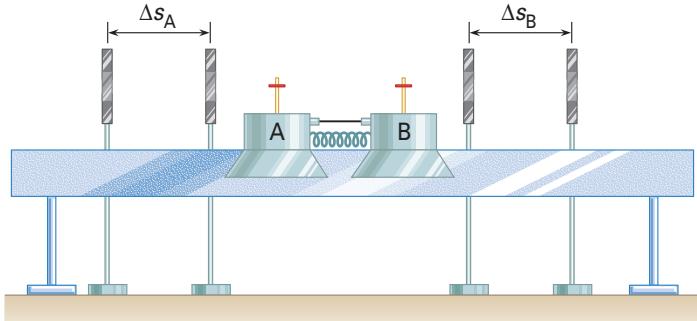


Figura 1

## 4 Contenuti teorici

Esposta la definizione della quantità di moto, detto che cosa significa sistema isolato e forze esterne equilibrate, enunci il principio in questione, fornendo la sua espressione matematica che, nel caso di due corpi, viene scritta come segue:

$$\vec{Q}_A + \vec{Q}_B = \vec{Q}'_A + \vec{Q}'_B$$

da cui:

$$m_A \cdot \vec{v}_A + m_B \cdot \vec{v}_B = m_A \cdot \vec{v}'_A + m_B \cdot \vec{v}'_B$$

## 5 Descrizione della prova

- Disposte le fotocellule, misura ricorrendo all'asta millimetrata presente sulla guidovia le due distanze  $\Delta s_A$  e  $\Delta s_B$ .
- Quindi disponi due carrelli senza pesi aggiuntivi al centro, legandoli con un filo e tenendoli separati con una molla opportunamente compressa.
- Azzerati i timer, avviato il compressore (e verificato che il sistema rimanga fermo, essendo perfettamente orizzontale), taglia o brucia il filo.
- I due carrelli partono in verso opposto l'uno rispetto all'altro, passando attraverso le rispettive fotocellule a velocità costante.
- Infine, dopo averli bloccati, leggi gli intervalli di tempo sui timer.

Trascurando la molla, che si può immaginare ferma sia prima sia dopo la partenza dei carrelli, si ha che la quantità di moto finale del sistema costituito dai due carrelli deve essere uguale a zero, perché tale è quella iniziale (i carrelli sono fermi). Di conseguenza, tenuto conto dei segni opposti delle velocità, per verificare la validità del principio di conservazione della quantità di moto, è sufficiente assicurarsi che:

$$Q'_A + Q'_B = 0 \quad \text{da cui} \quad m_A \cdot v'_A = m_B \cdot v'_B$$

Puoi ripetere la prova aumentando progressivamente la massa di uno soltanto dei due carrelli.

## 6 Raccolta dei dati

Lasci invariate le distanze tra le fotocellule durante tutta l'esecuzione (prendendo preferibilmente  $\Delta s_B$  uguale a  $\Delta s_A$ ), per cui tali dati li riporti separatamente:

$$\Delta s_A = (0,400 \pm 0,002) \text{ m}$$

$$\Delta s_B = (0,400 \pm 0,002) \text{ m}$$

È conveniente organizzare due tabelle, una per il carrello A e l'altra per il carrello B. Per semplicità, essendo chiaro che le varie grandezze sono riferite alla situazione successiva al taglio del filo (dato che inizialmente il sistema è fermo, per cui le velocità e le quantità di moto sono nulle), è stato omesso l'apice nei simboli  $Q$  della quantità di moto e  $v$  della velocità.

**Tabella 1**

carrello A						
$m_A$ (kg)	$\Delta x(m_A)$ (kg)	$t_A$ (s)	$\Delta x(t_A)$ (s)	$v_A = \Delta s_A/t_A$ (m/s)	$Q_A = m_A \cdot v_A$ (kg · m/s)	$\Delta x(Q_A)$ (kg · m/s)
0,200	0,001	0,54	0,01	0,74	0,148	0,005
0,250	0,001	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...

**Tabella 2**

carrello B						
$m_B$ (kg)	$\Delta x(m_B)$ (kg)	$t_B$ (s)	$\Delta x(t_B)$ (s)	$v_B = \Delta s_B/t_B$ (m/s)	$Q_B = m_B \cdot v_B$ (kg · m/s)	$\Delta x(Q_B)$ (kg · m/s)
0,200	0,001	0,53	0,01	0,75	0,151	0,005
0,200	0,001	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...

## 7 Elaborazione

Per entrambi i carrelli si calcolano la velocità e la quantità di moto:

$$v_{...} = \frac{\Delta s_{...}}{t} = \dots$$

$$Q_{...} = m_{...} \cdot v_{...} = \dots$$

(Nell'eventualità di voler individuare anche l'incertezza, consulta l'**help 1**).

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Se ogni volta le quantità di moto di A e di B sono vicine, allora puoi reputare la prova soddisfacente. (Se sono state calcolate le incertezze tramite le leggi di propagazione, hai la possibilità di fare tale valutazione tramite la verifica della compatibilità tra gli intervalli di indeterminazione di  $Q_A$  e  $Q_B$ .) In caso contrario, gli elementi che potrebbero aver condizionato negativamente i risultati sono:

- l'attrito e/o una pendenza non rilevata della guidovia;
- il comportamento non del tutto regolare della molla.

### help 1

L'incertezza della quantità di moto (evitando di calcolare quella intermedia della velocità) è data da:

$$\Delta x(Q_{...}) = \left[ \frac{\Delta x(m_{...})}{m_{...}} + \frac{\Delta x(\Delta s_{...})}{\Delta s_{...}} + \frac{\Delta x(t_{...})}{t_{...}} \right] \cdot Q_{...}$$

**PREREQUISITI**

Per affrontare la prova devi sapere:

- Che cos'è la temperatura
- Quali sono i punti fissi della scala Celsius
- Funzionamento dei termometri a mercurio
- Che cosa significa taratura
- Concetto di equilibrio termico

## 1 Titolo

In questa prova di laboratorio l'approccio è un po' diverso da quelli precedenti, poiché l'intento è sostanzialmente quello di costruire uno strumento di misura. Come titolo possiamo scrivere: **Taratura di un termoscopio**.

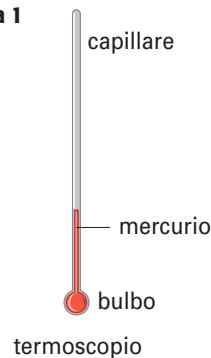
## 2 Obiettivi

Con questa prova vogliamo effettuare la taratura di un termoscopio, cioè effettuare tutti quei passaggi necessari per trasformare un dispositivo che rivela solo qualitativamente il cambiamento di temperatura (il *termoscopio*, fig. 1) in uno strumento di misura (il *termometro*) secondo la scala Celsius. Una volta trovata la relazione che lega fra loro determinate grandezze fisiche, nello specifico la variazione di temperatura con la variazione di volume, con il nostro termometro determineremo la temperatura di un corpo o di una sostanza.

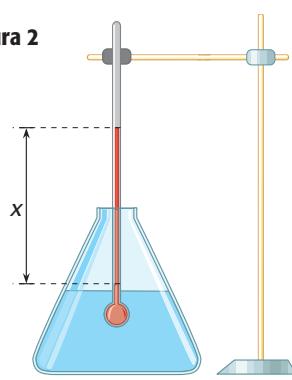
## 3a Schema e/o disegno

La figura 2 mostra la disposizione generica dell'attrezzatura, mentre la sequenza dei disegni riportata in figura 3 sintetizza le fasi principali, che verranno poi illustrate nella descrizione della prova sperimentale.

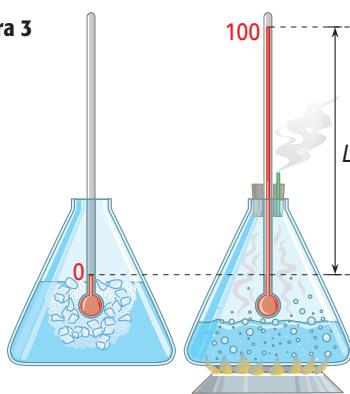
**Figura 1**



**Figura 2**



**Figura 3**



### 3b Materiale e strumenti

Il materiale e gli strumenti necessari in questa prova sono:

- asta di supporto e morsetti;
- nastro adesivo colorato;
- fornello (di qualunque tipo);
- ghiaccio;
- matraccio dotato di tappo con foro per il termometro;
- termoscopio;
- asta millimetrata.

### 4 Contenuti teorici

L'argomento fondamentale della prova è il concetto macroscopico di temperatura e le modalità con le quali si evidenzia la sua variazione, non essendo possibile una misurazione diretta di tale grandezza. Dopo aver detto che cos'è da un punto di vista operativo la temperatura, avendo messo quest'ultima in relazione con lo stato termico dei corpi, puoi parlare del significato dei punti fissi dell'acqua e dell'aspetto convenzionale della scelta della scala di temperatura.

### 5 Descrizione della prova

L'illustrazione della prova, oltre alla sintesi essenziale delle fasi che hanno scandito l'esecuzione pratica, deve in particolare mettere in evidenza la delicatezza della rilevazione del livello del mercurio all'atto della fusione del ghiaccio, così come dell'ebollizione dell'acqua, utilizzati quali punti fissi per l'operazione di taratura.

Ciò che ti accingi a fare è:

- segnare come  $0^{\circ}\text{C}$  il livello che raggiunge il mercurio quando il termoscopio viene messo nella miscela di ghiaccio e acqua, e come  $100^{\circ}\text{C}$  il livello nel caso dell'acqua bollente;
- misurare con un'asta graduata la distanza  $L$  fra i due livelli;
- mettere il termoscopio a contatto con un altro corpo e, misurato il nuovo livello  $l$  rispetto allo 0, ricavare la temperatura corrispondente con una semplice proporzione:

$$t : l = 100 : L \quad \Rightarrow \quad t = \frac{l}{L} \cdot 100$$

Adesso, puoi passare all'azione.

- a) Monta il dispositivo di supporto per il termoscopio, fissando quest'ultimo con una guarnizione di protezione.
- b) Prepara la miscela di ghiaccio e acqua, mescolando con cura e aspettando alcuni minuti, affinché il ghiaccio e il liquido raggiungano l'equilibrio termico.
- c) Immergi il bulbo del termoscopio nella miscela e attendi alcuni minuti, sino a quando il livello del mercurio, che intanto sarà sceso, non si stabilizza.
- d) Estrai il termoscopio e segna il livello relativo al primo punto con un striscia di nastro adesivo, scrivendoci sopra  $0^{\circ}\text{C}$ . Dopodiché rimettilo nel matraccio.
- e) Accendi il fornello sotto il contenitore e aspetta che tutto il ghiaccio si sia sciolto e che, alla fine, l'acqua cominci la fase di ebollizione. (Cerca di sistemare il bulbo appena sopra la superficie dell'acqua bollente e fai in modo che il vapore non sfatti troppo rapidamente.)
- f) Dopo aver aspettato alcuni minuti, quando il livello del mercurio si è stabilizzato, marcalo con il nastro adesivo, indicando il valore  $100^{\circ}\text{C}$ .
- g) Spento il fornello e tolto il termoscopio dall'acqua, misura la distanza tra i due segni con l'asta millimetrata. Per esempio, potresti avere (il valore è puramente indicativo):

$$L = (22,5 \pm 0,1) \text{ cm}$$

- h) Metti il termoscopio a contatto con un altro liquido oppure lascialo per un po' di tempo esposto all'aria dell'ambiente (cioè del laboratorio in cui ti trovi).
- i) Rileva sul termoscopio il livello raggiunto dal mercurio, sempre rispetto allo  $0^{\circ}\text{C}$ :

$$l = (6,1 \pm 0,1) \text{ cm}$$

- l) Misura con un termometro disponibile il valore della temperatura dell'ambiente, che supponiamo essere, se l'errore di sensibilità è di  $0,5^{\circ}\text{C}$ :

$$t_{\text{termometro}} = (26,5 \pm 0,5)^{\circ}\text{C}$$

La fase esecutiva è terminata.

## 6 Raccolta dei dati

In questo caso non serve una tabella, in quanto una ripetizione, pure auspicabile, dell'esperimento, richiederebbe troppo tempo. È sufficiente, perciò, raccogliere i dati in buon ordine, ricordando che lo scopo è quello di misurare una temperatura qualunque  $t$ :

$$\begin{array}{ll} L = (22,5 \pm 0,1) \text{ cm} & \text{distanza } 0 - 100 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ l = (6,1 \pm 0,1) \text{ cm} & \text{distanza } 0 - t \text{ }^{\circ}\text{C} \\ t_{\text{termometro}} = (26,5 \pm 0,5) \text{ }^{\circ}\text{C} & \text{temperatura misurata con un altro termometro (scala Celsius)} \end{array}$$

## 7 Elaborazione

L'elaborazione dei dati comporta semplicemente il calcolo di  $t$  come riportato nelle pagine precedenti:

$$t = \frac{l}{L} \cdot 100 = \frac{6,1}{22,5} \cdot 100 = 27,11111 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \text{cioè:} \quad t = 27,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Se devi calcolare l'incertezza di  $t$ , puoi eseguire i passaggi riportati nell'**help 1**.

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Se non hai calcolato la propagazione degli errori per  $t$ , allora valuterai la riuscita della prova in base alla prossimità tra il valore di  $t$  e quello di  $t_{\text{termometro}}$ . Un modo per effettuare tale valutazione può essere quello di calcolare lo scostamento in percentuale di  $t$  rispetto a  $t_{\text{termometro}}$ . Con i nostri dati dimostrativi, avremo:

$$\frac{|t - t_{\text{termometro}}|}{t_{\text{termometro}}} \cdot 100 = \frac{27,1 - 26,5}{26,5} \cdot 100 = 2,3\%$$

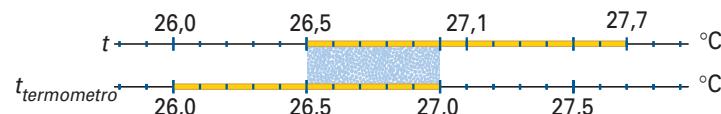
Il risultato può essere ritenuto positivo quando, per esempio, in base alla possibilità di fare misurazioni accurate, è minore o uguale al 5%.

Se, al contrario, hai dovuto calcolare anche le incertezze di  $t$ , allora basterà verificare la compatibilità fra i due intervalli di indeterminazione, quelli di  $t$  e di  $t_{\text{termometro}}$ , controllando che si sovrappongano almeno parzialmente e che presentino dei valori in comune (fig. 3).

Per cui scriverai: «La prova è/non è riuscita in quanto vi è/non vi è compatibilità fra gli intervalli di indeterminazione...»

Tra le cause che possono avere provocato dei problemi, segnaliamo:

- valore della temperatura della miscela ghiaccio-acqua un po' più alta di 0 °C;
- temperatura dell'acqua bollente inferiore a 100 °C a causa della necessità di fare fuoriuscire una parte del vapore dal matraccio.



**Figura 3**

### help 1

Per determinare l'incertezza della temperatura devi:

1. calcolare gli errori relativi di  $l$  ed  $L$ :

$$\epsilon_r(l) = \frac{\Delta x(l)}{l_M} = \frac{0,1}{6,1} = 0,01639 \quad \epsilon_r(L) = \frac{\Delta x(L)}{L_M} = \frac{0,1}{22,5} = 0,00444$$

2. trovare l'errore relativo di  $t$ , non considerando l'incertezza sul valore 100:

$$\epsilon_r(t) = \epsilon_r(l) + \epsilon_r(L) = 0,01639 + 0,00444 = 0,02083$$

3. determinare la sua incertezza:

$$\Delta x(t) = \epsilon_r(t) \cdot t = 0,02083 \cdot 27,11111 = 0,56472 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

4. arrotondare coerentemente incertezza e valore della grandezza e scrivere:

$$t = (27,1 \pm 0,6) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

**PREREQUISITI**

Per affrontare la prova devi sapere:

- Definizione operativa di temperatura
- Come si legge un termometro (scala Celsius)
- Quali sono i punti fissi relativi all'acqua
- Che cos'è la dilatazione termica
- Come si definisce il coefficiente di dilatazione termica lineare

## 1 Titolo

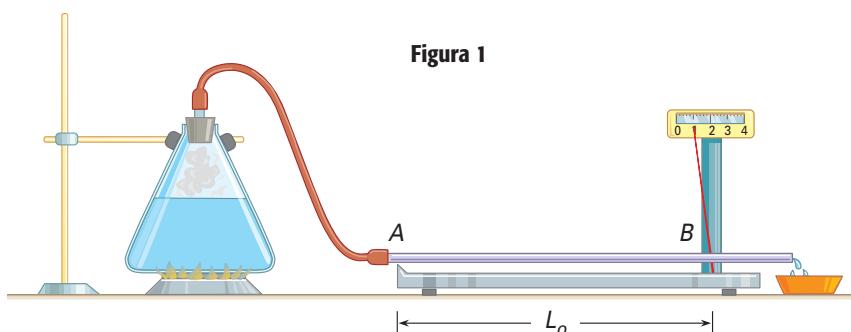
La prova è incentrata sul fenomeno della variazione di volume (nel nostro caso, della lunghezza) dei solidi con la temperatura, per cui possiamo intitolare l'esperienza: **Dilatazione termica lineare**.

## 2 Obiettivi

Lo scopo consiste nel determinare il valore del *coefficiente di dilatazione termica lineare* per alcuni solidi. Individuati tali coefficienti, li confronteremo con i valori riportati nelle tabelle.

### 3a Schema e/o disegno

Il disegno che riproduce un dispositivo standard utilizzabile per questa prova è rappresentato a fianco.



**Figura 1**

### 3b Materiale e strumenti

Il materiale utilizzato è quello della figura 1:

- fornello (elettrico) per riscaldare l'acqua;
- asta di supporto con base, morsetto e pinza di fissaggio;
- matraccio o comunque contenitore dotato di tappo con foro per la fuoriuscita del vapore;
- tubo rigido da inserire nel tappo e tubo di gomma per il passaggio del vapore;
- apparecchiatura per la rilevazione della dilatazione termica lineare;
- tubi di vari materiali (rame, acciaio, vetro);
- termometro;
- metro a nastro o asta millimetrata;
- calibro ventesimale.

## 4 Contenuti teorici

Ciò che costituisce lo sfondo teorico di questa prova è il comportamento delle sostanze, in particolare la variazione del loro volume, quando cambia la temperatura. Su questo fenomeno si basa, per esempio, la costruzione dei termometri a mercurio.

Con riferimento ai solidi, è quindi necessario dire in che cosa consiste la dilatazione termica lineare, a quali grandezze fisiche è riconducibile per uno studio quantitativo e quali sono definizione, significato e unità di misura del coefficiente (dipendente dal tipo di materiale), che viene introdotto come costante di proporzionalità tra la variazione di lunghezza e il prodotto fra lunghezza iniziale a 0 °C e la variazione di temperatura (espressa sempre in gradi Celsius).

## 5 Descrizione della prova

L'esecuzione della prova, pur essendo relativamente semplice, richiede un po' di attenzione nella fase di montaggio del dispositivo e nella rilevazione della posizione finale dell'indice a dilatazione termica avvenuta. Basterà che sintetizzi i punti più importanti delle istruzioni che ti daremo tra poco.

Ciò che ti appresti a determinare è quanto segue:

- nella prima parte, la quantità  $\Delta L$  di cui si allunga un tubo di un dato metallo, quando la sua temperatura va da quella ambiente fino a 100 °C (valore della temperatura dell'acqua bollente), grazie agli elementi illustrati in figura 1;
- nella seconda parte, il valore del coefficiente di dilatazione termica lineare  $\lambda$  per mezzo della relazione:

$$\lambda = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta t}$$

Una volta ascoltate attentamente tutte le indicazioni dell'insegnante e ricevuto il materiale completo, puoi procedere in questo modo.

- Effettua la misurazione preventiva, rispettivamente con l'asta millimetrata e con il calibro, delle seguenti grandezze fisiche (fig. 2):
  - lunghezza dell'indice dal coltello inferiore alla punta:  
 $i = (\dots \pm \dots) \dots$
  - distanza tra i coltellini dell'indice:  
 $s = (\dots \pm \dots) \dots$
- Metti un po' di acqua nel matraccio e chiudilo con il tappo, inserendo in quest'ultimo il tubicino rigido per la fuoriuscita del vapore.
- A fornello spento, disponi su di esso il matraccio, rendendolo stabile tramite le aste di supporto e le pinze di fissaggio, come si deduce dalla figura 1.
- Dopo avere inserito un estremo del tubo di gomma nel tubicino rigido del tappo, prendi uno dei tubi metallici che vogliamo studiare (per esempio, quello di rame), disponilo sul supporto e collega l'estremità, che si trova dalla parte opposta rispetto alla scala graduata, al tubo di gomma precedente.
- Blocca opportunamente il tubo di rame in A e fai in modo che in B, in corrispondenza della scanalatura dalla parte della scala graduata, il tubo sia appoggiato sul coltello superiore dell'indice (il coltello inferiore di quest'ultimo a sua volta deve andare in un'altra scanalatura presente nella base del supporto).
- Effettua la misurazione delle seguenti grandezze fisiche:
  - temperatura dell'ambiente con il termometro:  
 $t_0 = (\dots \pm \dots) \dots$
  - lunghezza del tubo metallico dal punto A in cui è bloccato fino alla scanalatura che gli consente l'appoggio sul coltello superiore dell'indice (con l'asta millimetrata):  
 $L_0 = (\dots \pm \dots) \dots$

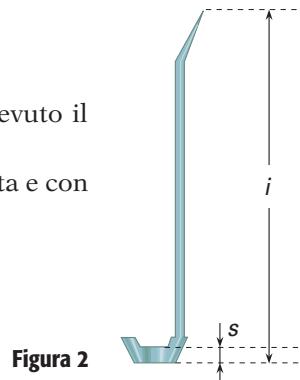


Figura 2

g) Metti l'indice nella posizione iniziale della scala graduata, accertandoti che la sua punta non strisci su di essa (sarebbe il caso che il movimento dell'indice, per le approssimazioni che dobbiamo introdurre, durante l'escursione termica avesse un movimento complessivo simmetrico rispetto alla verticale) e rileva la seguente misura:

- posizione iniziale dell'indice (se diverso da zero):

$$d_0 = (\dots \pm \dots) \dots$$

h) Accendi il fornello e aspetta che l'acqua vada in ebollizione. Quando il vapore inizia a passare dentro il tubo metallico, questo si riscalda e si dilata, come puoi constatare dal movimento dell'indice. Ipotizzando che il vapore fluisca senza condensarsi dentro il tubo metallico, potremmo pensare che all'equilibrio quest'ultimo avrà la stessa temperatura del vapore d'acqua:

- temperatura finale del tubo di rame:

$$t_1 = (\dots \pm \dots) \dots$$

Come errore di sensibilità, non trattandosi di una misura realmente effettuata, puoi prendere quello del termometro adoperato per la misurazione della temperatura ambiente.

i) Quando l'indice si ferma, rileva la sua posizione sulla scala graduata:

- posizione finale dell'indice:

$$d_1 = (\dots \pm \dots) \dots$$

l) Spento il fornello e cambiato il tubo metallico con le necessarie cautele, ripeti il procedimento per ognuno dei tubi restanti a disposizione.

(Se non cambi indice, la misurazione di  $i$  ed  $s$  non devi ripeterla, mentre è il caso di verificare nuovamente il valore della temperatura ambiente.)

In questo modo la fase propriamente sperimentale è conclusa e puoi passare all'elaborazione di quanto hai raccolto, organizzando i dati secondo la tabella che trovi al punto successivo.

## 6 Raccolta dei dati

Nella tabella, per non renderla troppo complessa, mettiamo solo le misure di quelle grandezze che cambiano al cambiare del materiale.

I valori plausibilmente costanti possono essere riportati in buon ordine prima della tabella. Riferendoci a dati puramente dimostrativi (che tu non devi utilizzare), relativi all'esperienza con il primo materiale, scriverai qualcosa di analogo a questo:

- per il calcolo di  $\Delta L$ :

$$i = (210 \pm 1) \text{ mm} \quad s = (4,50 \pm 0,05) \text{ mm} \quad d_0 = (10,0 \pm 0,5) \text{ mm}$$

- per il calcolo di  $\lambda$ :

$$L_0 = (500 \pm 1) \text{ mm} \quad t_0 = (18 \pm 1)^\circ\text{C} \quad t = (100 \pm 1)^\circ\text{C} \quad \Delta t = (82 \pm 2)^\circ\text{C}$$

La tabella vera e propria sarà come quella seguente:

**Tabella 1**

materiale	1 $d_1$ (mm)	2 $\Delta x(d_1)$ (mm)	3 $d = d_1 - d_0$ (mm)	4 $\Delta x(d)$ (mm)	5 $\Delta L$ (mm)	6 $\Delta x(\Delta L)$ (mm)	7 $\lambda$ ( $^\circ\text{C}^{-1}$ )	8 $\Delta x(\lambda)$ ( $^\circ\text{C}^{-1}$ )
rame	42,0	0,5	32	1	0,69	0,04	$17 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$
ferro	...	...	...	...	...	...	...	...
vetro	...	...	...	...	...	...	...	...

## 7 Elaborazione

Una volta raccolti i dati, la parte relativa alla loro elaborazione non è complessa. Nella colonna 3 riporta il risultato di  $d = d_1 - d_0 = 32$  mm.

(Se devi calcolare gli errori di propagazione relativi a  $d$  della colonna 4, vedi l'[help 1](#).)

Nella colonna 5 scrivi il valore dell'allungamento causato dalla dilatazione. La figura 3, che schematizza la rotazione dell'indice, illustra la similitudine a cui facciamo ricorso per trovare  $\Delta L$  e che approssima bene la situazione reale per angoli piccoli, essendo in tal caso lecito confondere l'arco di circonferenza con il tratto di segmento tangente:

$$\Delta L : d = s : i \Rightarrow \Delta L = \frac{s \cdot d}{i} \Rightarrow \Delta L = \frac{4,50 \cdot 32}{210} = 0,68571 \approx 0,69 \text{ mm}$$

(Se devi trovare gli errori di propagazione per  $\Delta L$  della colonna 6, vedi l'[help 2](#).)

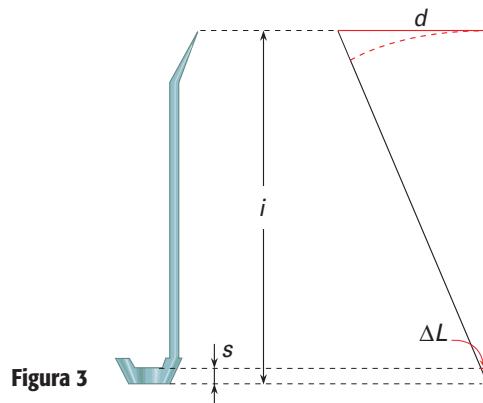


Figura 3

Fatto questo, puoi passare a determinare il coefficiente di dilatazione termica lineare, da mettere nella colonna 7, con la nota formula:

$$\lambda = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta t} \Rightarrow \lambda = \frac{0,69}{500 \cdot 82} = 16,82927 \cdot 10^{-6} \approx 17 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$\Delta t$  (riportato prima della tabella) lo trovi come differenza fra  $t$  e  $t_0$ , che sono noti. (Per la sua incertezza, il procedimento è identico a quello usato per  $d$  e mostrato nell'[help 1](#).)

Nella riga della tabella relativa al rame, trovi i risultati ottenuti con i valori da noi introdotti a titolo esemplificativo. L'unico dettaglio a cui devi prestare attenzione nell'effettuare i calcoli di  $\lambda$  è che, pur non essendo necessario che le varie lunghezze siano espresse in metri, tuttavia devono essere fra loro omogenee: nel nostro caso, per comodità abbiamo adoperato i millimetri.

(Se ti viene richiesto di determinare l'incertezza di  $\lambda$ , da disporre in colonna 8, puoi fare riferimento all'[help 2](#), essendo i passaggi da svolgere del tutto analoghi a quelli per  $\Delta L$ .)

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Dirai che la prova ha avuto un riscontro positivo, se i valori che hai trovato dei vari  $\lambda$  si avvicinano a quelli che puoi rilevare nelle tabelle. Per il rame un risultato simile a quello ottenuto qui, cioè  $17 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , sarebbe più che soddisfacente, tenuto conto che il valore riportato nelle tabelle dei coefficienti di dilatazione lineare è  $16,66 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , il quale spesso viene arrotondato proprio a  $17 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ !

Nell'eventualità che, invece, abbia fatto ricorso anche alla propagazione degli errori, allora dovrai vedere se il valore tabulato ( $16,66 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$ ) rientra nell'intervallo di indeterminazione da te trovato (fig. 4).

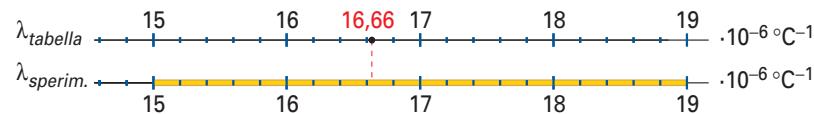


Figura 4

Se i risultati sono insoddisfacenti, allora devi cercare di individuare le cause che hanno vanificato la prova. Te ne suggeriamo qualcuna:

- non possiamo essere certi delle reali temperature dei tubi;
- il movimento dell'indice durante la dilatazione può essere stato irregolare.

In verità, talvolta i risultati sono solo apparentemente perfetti. Ti sarai accorto, infatti, che l'ipotetico valore da noi trovato a titolo di esempio per il coefficiente di dilatazione termica lineare del rame ha una incertezza considerevole rispetto al valore della grandezza:

$$\epsilon_r(\lambda) = \frac{2}{17} \cong 0,12 = 12\%$$

per cui andrebbero analizzate comunque le conseguenze di alcune scelte operative. Per esempio, l'errore di sensibilità del termometro per la misura della temperatura ambiente è un po' troppo elevato.

### help 1

L'incertezza di  $d$  è la somma delle incertezze di  $d_0$  e  $d_1$ , che qui ipotizziamo essere 0,5 mm:

$$\Delta x(d) = \Delta x(d_0) + \Delta x(d_1) = 0,5 + 0,5 = 1 \text{ mm}$$

### help 2

L'incertezza di  $\Delta L$  (così come quello di  $\lambda$ ), essendo in gioco solo operazioni di prodotto e di quoziente, la puoi calcolare con un unico passaggio, dopo avere trovato il suo valore:

$$\Delta x(\Delta L) = \left[ \frac{\Delta x(s)}{s} + \frac{\Delta x(d)}{d} + \frac{\Delta x(i)}{i} \right] \cdot \Delta L$$

Da cui:

$$\Delta x(\Delta L) = \left[ \frac{0,05}{4,50} + \frac{1}{32} + \frac{1}{210} \right] \cdot 0,68571 = 0,03231 \text{ mm} \equiv \dots$$

**PREREQUISITI**

Per affrontare la prova devi sapere:

- Che cos'è la temperatura e come la si misura
- Qual è il punto fisso relativo all'acqua bollente
- Concetto di calore e sua unità di misura
- Che cosa sono e come si misurano il calore specifico e la capacità termica di un corpo
- Equazione fondamentale della calorimetria

**1 Titolo**

Per questa prova possiamo proporre il seguente titolo: **Determinazione del calore specifico dei solidi**.

**2 Obiettivi**

Intendiamo determinare il calore specifico di corpi solidi di vari materiali (per esempio: ottone, alluminio, acciaio, vetro, ...). Individuati tali valori, li confronteremo con quelli riportati nelle tabelle.

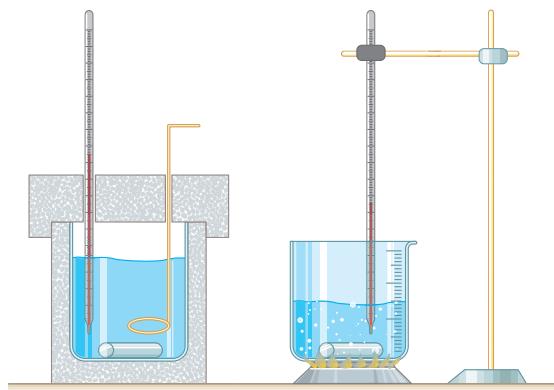
**3a Schema e/o disegno**

Il disegno relativo all'esperienza consiste nella riproduzione di un calorimetro, del becker graduato sul fornello e del termometro, cioè della parte di strumentazione che maggiormente caratterizza questa prova.

**3b Materiale e strumenti**

Il materiale utilizzato è quello che segue:

- cilindri di sostanze differenti (ottone, alluminio, acciaio, vetro ecc.);
- asta di supporto;
- fornello (elettrico o bunsen);
- calorimetro (recipiente isolato termicamente che assorbe una quantità di calore molto piccola);
- contenitore graduato (o becker);
- pinze o gancio;
- termometri di diversa portata e sensibilità;
- bilancia.



**Figura 1**

## 4 Contenuti teorici

Le basi teoriche della prova sono rappresentate dai fenomeni legati allo scambio termico fra corpi a diversa temperatura, al raggiungimento dell'equilibrio termico e al concetto di calore come energia che viene trasferita. In particolare, dovrà illustrare il fatto che i corpi si comportano diversamente rispetto all'assorbimento e alla cessione del calore a seconda della sostanza di cui sono costituiti. Per tenere conto del diverso comportamento, si introducono appunto le grandezze fisiche chiamate capacità termica e calore specifico.

## 5 Descrizione della prova

L'esecuzione della prova, pur non essendo complessa dal punto di vista della messa in opera, richiede una certa attenzione, in quanto necessita di una fase preliminare finalizzata a capire come interagisce il calorimetro nella nostra misurazione. Dovendo descrivere la prova, ti sarà sufficiente sintetizzare i passaggi principali che riportiamo qui di seguito.

Ciò che vogliamo fare concretamente è:

- trovare quanto calore assorbe il calorimetro per ogni grado di aumento della sua temperatura, vale a dire la sua capacità termica (Parte I);
- riscaldare fino a una temperatura nota ( $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) alcuni solidi, rilevare la temperatura di equilibrio dopo averli messi nel calorimetro, contenente una certa quantità di acqua, e calcolare quindi il loro calore specifico (Parte II).

Adopereremo la seguente simbologia:

- $c_{acqua}$  calore specifico dell'acqua
- $c_{solido}$  calore specifico del solido
- $C_{cal}$  capacità termica del calorimetro
- $t_1$  temperatura iniziale dell'acqua fredda e del calorimetro
- $t_2$  temperatura iniziale del solido ( $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e dell'acqua bollente del becker
- $t_e$  temperatura di equilibrio finale del sistema (calorimetro, acqua e solido)

Puoi procedere adesso seguendo queste istruzioni.

### PARTE I: capacità termica del calorimetro

- a) Metti una stessa quantità d'acqua (per esempio, 150 g corrispondenti a 15,0 cl) nel calorimetro, che poi provvederai a richiudere, e nel contenitore posto sul fornello.
- b) Accendi il fornello e riscalda l'acqua fino a una temperatura di  $50 \div 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , rilevando attentamente con i termometri le temperature sia dell'acqua nel calorimetro ( $t_1$ ) sia di quella riscaldata ( $t_2$ ).
- c) Versa l'acqua calda dentro il calorimetro, chiudendolo rapidamente e mescolando l'acqua all'interno con l'apposito miscelatore.
- d) Dopo aver atteso un intervallo di tempo sufficiente (dell'ordine del minuto), vedrai fermarsi il livello del mercurio nel termometro fissato nel tappo del calorimetro: quella rappresenta la temperatura di equilibrio del sistema, che rileverai con cura ( $t_e$ ).
- e) Calcola la capacità termica del calorimetro tramite la relazione ricavata dall'equazione fondamentale della calorimetria (vedi **help 1**):

$$C_{cal} = \frac{m_{calda} \cdot c_{acqua} \cdot (t_2 - t_e) - m_{fredda} \cdot c_{acqua} \cdot (t_e - t_1)}{t_e - t_1}$$

Il valore di  $C_{cal}$  viene misurato una volta per tutte, quindi questa parte non sarà più eseguita.

Se utilizzi le unità di misura del SI, ricordati di usare per le masse i kg e per il calore specifico dell'acqua il valore  $4186\text{ J/(kg}\cdot\text{}^{\circ}\text{C)}$ .

Nel caso in cui la temperatura dell'acqua fredda fosse  $16,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , quella dell'acqua calda  $57,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  e la temperatura di equilibrio di stabilizzasse su  $36,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , allora si troverebbe:

$$C_{cal} = \frac{0,150 \cdot 4186 \cdot (57,6 - 36,0) - 0,150 \cdot 4186 \cdot (36,0 - 16,8)}{36,0 - 16,8} \cong 78 \frac{\text{J}}{\text{}}^{\circ}\text{C}$$

## Parte II: calore specifico dei solidi

- Metti una data quantità d'acqua (per esempio, 200 g corrispondenti a 20,0 cl) nel calorimetro.
- Versa una quantità d'acqua qualunque (basta che copra il cilindretto) nel contenitore posto sul fornello e quindi accendi quest'ultimo, portando l'acqua alla temperatura di ebollizione di 100 °C. (Eventualmente, se il termometro ha una portata sufficiente, puoi disporlo tramite l'asta di supporto nel becker per rilevare l'esatta temperatura dell'acqua calda.)
- Misura la massa del solido di cui vuoi determinare il calore specifico tramite la bilancia.
- Mentre l'acqua sul fornello di sta riscaldando, immergi in essa il cilindretto, adoperando un paio di pinze o un gancio se il solido è dotato di un apposito foro.
- Dopo aver atteso alcuni minuti, rileva la temperatura dell'acqua nel calorimetro ( $t_1$ ) e dell'acqua bollente ( $t_2$ ), che sarà anche la temperatura del solido (se l'acqua bolle, puoi prendere direttamente  $t_2 = 100$  °C, a condizione di... non trovarti molto al di sopra del livello del mare.)
- Introduci con azione rapida il cilindretto dentro il calorimetro e chiudi quest'ultimo velocemente, mescolando l'acqua all'interno con l'apposito miscelatore.
- Dopo aver atteso un intervallo di tempo sufficiente (alcuni minuti), vedrai fermarsi il livello del mercurio nel termometro fissato nel tappo del calorimetro: quella è la temperatura di equilibrio del sistema, che rileverai attentamente ( $t_e$ ).

I passaggi della Parte II vanno ripetuti per ognuno dei corpi solidi che ti sono stati assegnati. I dati puoi raccoglierli come indicato nella tabella 1.

## 6 Raccolta dei dati

Nella tabella 1 mettiamo solo valori e rispettive incertezze di quelle grandezze che sicuramente cambiano al cambiare del materiale. I dati fissi quali la capacità termica del calorimetro, la quantità di acqua nel calorimetro e la temperatura dell'acqua bollente, che coincide con la temperatura iniziale del solido, possono essere riportati ordinatamente fuori dalla tabella.

(I valori riportati qui sotto in tabella 1 sono puramente indicativi, tu non li devi utilizzare nei tuoi calcoli.)

$$C_{cal} = 78 \text{ J}/\text{°C}; \quad m_{acqua} = (0,200 \pm 0,001) \text{ kg}; \quad t_2 = (100 \pm 1) \text{ °C}$$

**Tabella 1**

sostanza	1 $m$ (kg)	2 $\Delta x(m)$ (kg)	3 $t_1$ (°C)	4 $t_e$ (°C)	5 $\Delta x(t)$ (°C)	6 $t_2 - t_e$ (°C)	7 $t_e - t_1$ (°C)	8 $c_{solido}$ (J · kg <sup>-1</sup> · °C <sup>-1</sup> )
ottone	0,0300	0,0001	20,4	21,4	0,2	78,6	1,0	388
rame	...	...	...	...	...	...	...	...
acciaio	...	...	...	...	...	...	...	...
vetro	...	...	...	...	...	...	...	...

## 7 Elaborazione

A questo punto puoi calcolare, trascrivendolo nella colonna 8, il calore specifico del solido tramite la relazione (vedi [help 2](#)):

$$c_{solido} = \frac{(m_{acqua} \cdot c_{acqua} + C_{cal}) \cdot (t_e - t_1)}{m_{solido} \cdot (t_2 - t_e)}$$

In tabella, nella riga dell'ottone, trovi alcuni dati campione, che portano al seguente risultato:

$$c_{ottone} = \frac{(m_{acqua} \cdot c_{acqua} + C_{cal}) \cdot (t_e - t_1)}{m_{ottone} \cdot (t_2 - t_e)} = \frac{(0,200 \cdot 4186 + 78) \cdot (21,4 - 20,4)}{0,0300 \cdot (100 - 21,4)} \cong 388 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}}$$

Ripeterai ovviamente i calcoli per ognuno dei solidi a disposizione.

Per quanto riguarda l'eventuale calcolo delle incertezze di  $C_{cal}$  e di  $c_{solido}$ , ti rinviamo all'[help 3](#).

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Dirai che i risultati ottenuti sono attendibili, se i valori dei vari  $c_{solido}$  si avvicinano a quelli previsti dalle tabelle (ovvero, in caso di calcolo delle incertezze, se i calori specifici tabulati rientrano all'interno degli intervalli di indeterminazione da te trovati).

Se, al contrario, i risultati sono insoddisfacenti, allora devi cercare di individuare le cause che hanno influenzato negativamente la prova. Te ne suggeriamo qualcuna:

- dispersioni termiche sia durante il travaso dell'acqua per la determinazione di  $C_{cal}$  sia nel trasferimento del solido;
- temperatura del solido iniziale (posta a 100 °C) non effettivamente controllata.

### help 1

Se la relazione da cui hai ricavato  $C_{cal}$  non ti è chiara, riproduciamo qui sotto i passaggi che conducono a essa, ricorrendo all'equazione fondamentale della calorimetria:  $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$ .

$$\begin{aligned} \text{calore ceduto} &= \text{calore assorbito} + \text{calore assorbito} \\ \text{dall'acqua calda} &= \text{dall'acqua fredda} + \text{dal calorimetro} \\ Q_{ced} &= Q_{ass1} + Q_{ass2} \\ m_{calda} c_{acqua} (t_2 - t_e) &= m_{fredda} c_{acqua} (t_e - t_1) + C_{cal} (t_e - t_1) \end{aligned}$$

Quest'ultima equazione la possiamo anche scrivere:

$$C_{cal} (t_e - t_1) = m_{calda} c_{acqua} (t_2 - t_e) - m_{fredda} c_{acqua} (t_e - t_1)$$

Dividendo, infine, ambo i membri per  $t_e - t_1$  si trova la formula cercata.

### help 2

Anche in questo caso il calore specifico lo ricaviamo da un bilancio termico basato sull'equazione fondamentale della calorimetria:

$$\begin{aligned} \text{calore ceduto} &= \text{calore assorbito} + \text{calore assorbito} \\ \text{dal solido} &= \text{dall'acqua} + \text{dal calorimetro} \\ Q_{ced} &= Q_{ass1} + Q_{ass2} \\ m_{solido} c_{solido} (t_2 - t_e) &= m_{acqua} c_{acqua} (t_e - t_1) + C_{cal} (t_e - t_1) \end{aligned}$$

Raccogliendo a fattor comune  $t_e - t_1$  nel secondo membro, si ha:

$$m_{solido} c_{solido} (t_2 - t_e) = (m_{acqua} c_{acqua} + C_{cal}) \cdot (t_e - t_1)$$

Dividendo, infine, ambo i membri per  $m_{solido} (t_2 - t_e)$ , si ottiene la formula cercata.

### help 3

Devi considerare che, essendoci nei calcoli di  $C_{cal}$  e di  $c_{solido}$  anche delle sottrazioni, nelle quali comunque si devono sommare le incertezze delle grandezze in gioco, alla fine ne risulterà un'incertezza complessiva piuttosto rilevante. Per ridurre questa conseguenza conviene, se disponibili, usare termometri a elevata sensibilità e non arrotondare le incertezze nei passaggi intermedi, ma solamente alla fine.

**PREREQUISITI**

Per affrontare la prova devi sapere:

- Come si effettua la lettura di un termometro
- Come varia la densità dell'acqua da  $4^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}\text{C}$
- Quali sono gli stati della materia
- Che cosa sono la temperatura di fusione e di ebollizione

## 1 Titolo

Questa prova, dal carattere prevalentemente qualitativo, si propone di studiare i cambiamenti di stato dell'acqua. Il titolo specifico è: **Andamento della temperatura dell'acqua sottoposta a riscaldamento.**

## 2 Obiettivi

L'intenzione è quella di valutare in che maniera si modifica la temperatura dell'acqua, a partire da una miscela ghiaccio-acqua fino all'ebollizione, verificando in particolare la sua costanza durante la liquefazione e l'ebollizione, cioè durante i cambiamenti di stato.

## 3a Schema e/o disegno

Riproduciamo in questo caso quanto serve per osservare la temperatura dell'acqua riscaldata costantemente tramite un fornello.

## 3b Materiale e strumenti

Il materiale utilizzato è:

- contenitore termalizzato;
- ghiaccio;
- fornello;
- asta di supporto;
- termometro;
- cronometro.

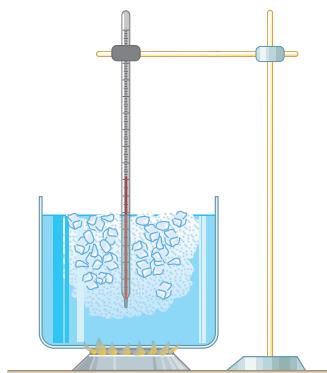


Figura 1

## 4 Contenuti teorici

Gli elementi teorici in questo caso riguardano le modalità con le quali una sostanza cambia stato, i concetti di energia di legame, di calore latente di fusione e di vaporizzazione. Dovrai sintetizzare le motivazioni fisiche che sono alla base del fatto che, durante il passaggio dallo stato solido a quello liquido e da quest'ultimo allo stato di vapore, ci si aspetta che la temperatura del sistema rimanga costante.

## 5 Descrizione della prova

Dal punto di vista operativo la prova non presenta difficoltà, dal momento che intendiamo appurare quale andamento segue la temperatura di una certa quantità d'acqua, riscaldata con una potenza termica (calore trasmesso nell'unità di tempo) costante. In sostanza, leggeremo, a intervalli di tempo prefissati, il valore di temperatura indicato da un termometro il cui bulbo si trova nell'acqua.

Ecco ciò che devi fare.

- Metti il ghiaccio nel contenitore e accendi il fornello.
- Disponi il termometro, tramite l'asta di supporto, in modo tale che il bulbo sia a contatto con la parte liquida in formazione.
- Dopo aver stabilito l'intervallo di tempo (mezzo minuto o un minuto) tra una misura della temperatura e quella successiva, fai partire il cronometro e contemporaneamente leggi al tempo  $\tau = 0$  min il primo valore di temperatura indicato dal termometro.  
(Per il tempo suggeriamo la lettera greca  $\tau$ , «tau», per distinguerla dalla temperatura.)
- Trascorso l'intervallo di tempo stabilito, leggi il nuovo valore della temperatura, riportandolo nella opportuna tabella.
- Durante il riscaldamento, è necessario rimescolare il sistema.
- Ripeti la rilevazione, fermandoti alcuni minuti dopo l'istante in cui l'acqua inizia la fase dell'ebollizione.

A questo punto la fase esecutiva è conclusa e puoi passare all'elaborazione grafica.

## 6 Raccolta dei dati

La tabella è stata predisposta con dei dati campione, presumendo una scansione di mezzo minuto e una durata delle letture di circa venti minuti.

**Tabella 1**

$\tau$ (min)	$t$ °C										
0	1	3,5	12	7,0	20	10,5	47	14,0	74	17,5	97
0,5	1	4,0	9	7,5	24	11,0	50	14,5	78	18,0	98
1,0	1	4,5	6	8,0	27	11,5	54	15,0	82	18,5	99
1,5	1	5,0	12	8,5	30	12,0	58	15,5	86	19,0	99
2,0	1	5,5	12	9,0	35	12,5	62	16,0	90	19,5	100
2,5	7	6,0	13	9,5	39	13,0	66	16,5	94	20,0	100
3,0	8	6,5	18	10,0	43	13,5	70	17,0	96	20,5	100

## 7 Elaborazione

Una volta terminata la compilazione della tabella, devi riportare i dati in un grafico temperatura-tempo (possibilmente su carta millimetrata), indicando anche gli intervalli di indeterminazione relativi ai valori delle temperature, come indicato in figura 2.

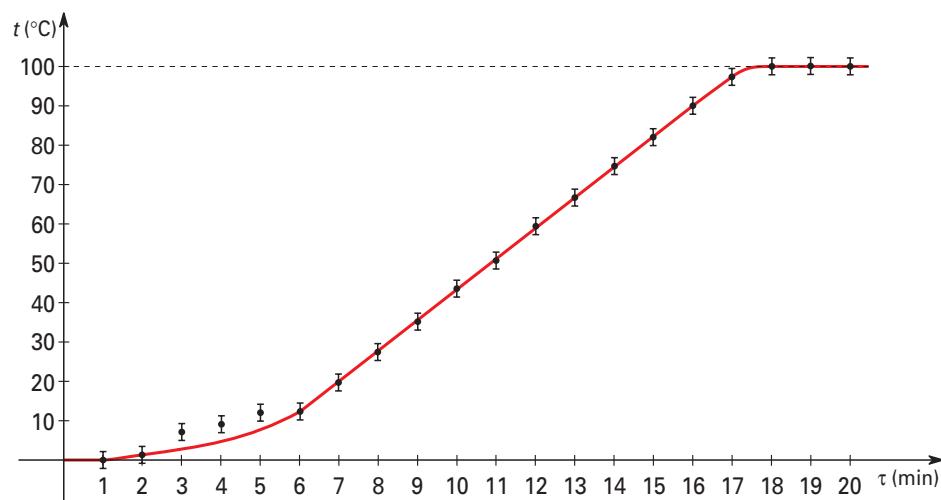


Figura 2

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Data l'assenza di calcoli, assume rilievo il commento al grafico tracciato. In esso possono essere evidenziate le seguenti zone:

- Una piattaforma iniziale costante (anche se non proprio a  $0^{\circ}\text{C}$ ), durante il passaggio dalla fase solida a quella liquida.
- Una crescita irregolare della temperatura, dovuta a un rimescolamento naturale per convezione dell'acqua: oltre i  $4^{\circ}\text{C}$  l'acqua più calda è meno densa, per cui sale in superficie, dove tuttavia tende a permanere anche il ghiaccio, per cui il bulbo del termometro risulta a contatto con l'acqua ora allo stato liquido ora allo stato solido.
- Una volta completata la fusione, si registra un aumento costante della temperatura con il trascorrere del tempo, indicata dalla zona con crescita rettilinea, nella quale intervalli di tempo e intervalli di temperatura sono direttamente proporzionali.
- Quindi, in prossimità dell'ebollizione, la temperatura si stabilizza.

**PREREQUISITI** Per affrontare la prova devi sapere:

- Qual è la relazione tra massa e peso
- Come si legge un termometro
- Quali sono la definizione e l'unità di misura della pressione
- Enunciato della legge di Boyle e Mariotte

**1 Titolo**

La prova riguarda lo studio dell'andamento del volume al variare della pressione nella trasformazione isoterma di un gas perfetto, per cui il titolo è: **Verifica della legge di Boyle e Mariotte**.

**2 Obiettivi**

Vogliamo trovare una conferma della proporzionalità inversa tra volume e pressione in un gas perfetto (nel nostro caso aria), quando la temperatura venga mantenuta costante, e tracciare il grafico relativo a tale trasformazione.

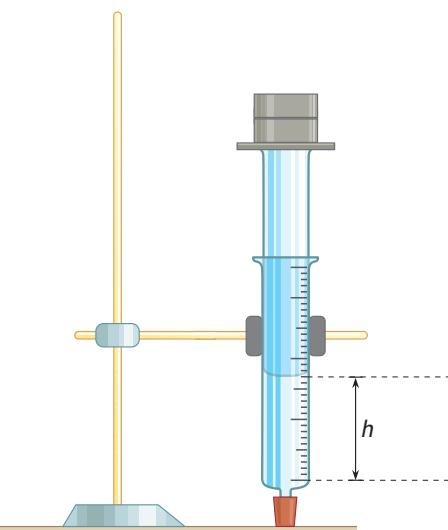
**3a Schema e/o disegno**

Il disegno si limita al cilindro con un pistone sul quale vengono disposti dei pesi via via crescenti, allo scopo di modificare la pressione (fig. 1).

**3b Materiale e strumenti**

Il materiale utilizzato è quello che segue:

- cilindro (eventualmente graduato) con pistone che scorre al suo interno e chiusura a tenuta;
- pesi;
- asta di supporto;
- calibro ventesimale e asta millimetrata;
- termometro;
- barometro.



**Figura 1**

## **4 Contenuti teorici**

I riferimenti teorici sono quelli relativi alla definizione e al comportamento dei gas perfetti, in particolare quando vengono sottoposti a una trasformazione a temperatura costante. Quindi, dopo avere detto che cosa si intende per gas perfetto, puoi illustrare la legge di Boyle e Mariotte con tutti i suoi risvolti per quanto riguarda l'andamento del volume in funzione della pressione, soffermandoti magari sul significato della proporzionalità inversa.

## 5 Descrizione della prova

La prova è un po' impegnativa dal punto di vista dell'elaborazione dei dati: se il cilindro non è graduato, dovrà calcolare ogni volta il volume del cilindro occupato dall'aria a partire dalla misurazione dell'altezza variabile; inoltre, dovrà determinare i valori corrispondenti delle pressioni, da sommare a quella atmosferica e a quella dovuta al pistone, conoscendo le masse dei solidi utilizzati.

Ciò che ci accingiamo a fare è:

- mettere dei pesi sul pistone, il cui valore cresca regolarmente (il doppio, il triplo ecc. del valore iniziale), e ogni volta rilevare l'altezza occupata dall'aria entro il cilindro;
  - misurare o calcolare (se non vengono letti sul cilindro graduato) i volumi occupati dall'aria, dopo avere rilevato il diametro della sezione cilindrica ( $d$ ):

e, quindi, le pressioni aggiuntive a cui è sottoposta l'aria, secondo la seguente formula:

$$p_{agg} = \frac{F}{S} = \frac{m \cdot g}{\frac{\pi}{4} d^2}$$

peso della massa disposta sul pistone  
superficie della sezione cilindrica

Puoi procedere come segue.

- a) Con un calibro ventesimale, inserendo nel cilindro le ganasce opposte al cursore, misura il diametro interno;

$$d \equiv (\dots \pm \dots) \dots$$

- b) Misura per mezzo di una bilancia la massa del pistone:

$$m_{nystone} = (\dots \pm \dots) \dots$$

e quella dei pesi che ti servono per aumentare la pressione del gas (colonna 5 della tabella 1):

$$m_1 = (\dots \pm \dots) \dots \quad m_2 = (\dots \pm \dots) \dots \quad m_3 = (\dots \pm \dots) \dots \quad \text{ecc.}$$

- c) Metti il cilindro con il pistone nel supporto, in modo che sia verticale, regolando la quantità d'aria tramite la chiusura inferiore del cilindro, che potrà essere un semplice tappo in gomma (in questo caso, fai in modo che appoggi sul ripiano affinché tenga meglio l'aria).
  - d) Fai qualche prova, abbassando il pistone a vari livelli entro il cilindro e verificando che, quando cessa la forza, il gas si espanda riportando il pistone nella posizione iniziale: se così non fosse, ciò vorrebbe dire che gli attriti e/o le perdite di aria sono significative.
  - e) Prendi nota, tramito il barometro, della pressione esterna:

$$n_{\pm} = (\pm \tau)$$

love, tramite il tono

- , , , T<sub>max</sub>, massimo termometro), la temperatura dell'ambiente, che sarà presa come temperatura di gas (questo dato ti serve unicamente per valutare se durante la prova la temperatura del sistema è rimasta costante):

$$\ell_i = (\dots \pm \dots) \dots$$

g) Metti sul pistone uno dei pesi e, facendo in modo che la compressione non sia troppo rapida, determina l'altezza dalla base del cilindro fino al pistone (prima riga della colonna 1 in tabella):

$$h_1 = (\dots \pm \dots) \dots$$

h) Ripeti la misurazione dell'altezza di cui all'istruzione precedente ogni volta che aggiungi un peso, completando così la colonna 1 della tabella.

i) Leggi il valore della temperatura dell'ambiente per confrontarlo con quello iniziale:

$$t_f = (\dots \pm \dots) \dots$$

Fatto questo, l'esecuzione pratica della prova è terminata.

## 6 Raccolta dei dati

In tabella abbiamo riportato i dati che vanno effettivamente elaborati, mentre abbiamo posto all'esterno di essa quelli costanti, come la massa del pistone, il diametro del cilindro, l'altezza iniziale, la pressione atmosferica. Come sempre, quelli qui riportati sono dati campione e non quelli che avrai tu.

$$m_{\text{pistone}} = (113,3 \pm 0,1) \text{ g} \quad d = (35,45 \pm 0,05) \text{ mm}$$

$$p_{\text{atm}} = (1,010 \pm 0,005) \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

**Tabella 1**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$h$ ( $\cdot 10^{-3}$ m)	$\Delta x(h)$ ( $\cdot 10^{-3}$ m)	$V = S \cdot h$ ( $\cdot 10^{-6}$ m <sup>3</sup> )	$\Delta x(V)$ ( $\cdot 10^{-6}$ m <sup>3</sup> )	$m$ (kg)	$\Delta x(m)$ (kg)	$p$ ( $\cdot 10^5$ Pa)	$\Delta x(p)$ ( $\cdot 10^5$ Pa)	$p \cdot V$ (J)	$\Delta x(p \cdot V)$ (J)
81	1	80	2	0,500	0,001	1,071	0,006	8,6	0,3
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

## 7 Elaborazione

Suddividiamo il trattamento dei dati in varie fasi, perché è piuttosto articolato.

- Calcoliamo la superficie della sezione del cilindro:

$$S = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{3,14159}{4} \cdot (35,45 \cdot 10^{-3})^2 = 987,01194 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cong 987 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

(Se devi calcolare l'incertezza di  $S$ , vedi più avanti l'**help 1**.)

- Determiniamo il volume  $V_1$  occupato dall'aria con un solo peso sul pistone:

$$V_1 = S \cdot h_1 = 987 \cdot 10^{-6} \cdot 81 \cdot 10^{-3} = 79,947 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cong 80 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

Mettiamo il valore nella colonna 3 della tabella 1.

(Se devi calcolare l'incertezza di  $V_1$ , leggi l'**help 2**.)

- Troviamo la pressione iniziale  $p_1$ , data dalla somma della pressione atmosferica, di quella dovuta alla massa del pistone e, infine, della pressione della prima massa (0,500 kg) aggiunta sul pistone:

$$\begin{aligned} p_1 &= p_{\text{atm}} + p_{\text{pistone}} + p_{\text{agg}} = p_{\text{atm}} + \frac{m_{\text{pistone}} \cdot g}{S} + \frac{m_1 \cdot g}{S} = 1,010 \cdot 10^5 + \frac{0,1133 \cdot 9,81}{987 \cdot 10^{-6}} + \frac{0,500 \cdot 9,81}{987 \cdot 10^{-6}} = \\ &= 1,010 \cdot 10^5 + 0,01126 \cdot 10^5 + 0,04970 \cdot 10^5 = 1,07096 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cong 1,071 \cdot 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Questo risultato lo riportiamo nella colonna 7 della tabella.

(Se devi calcolare l'incertezza di  $p_1$ , vedi più avanti l'**help 3**.)

- Moltiplichiamo, infine, la pressione  $p_1$  per il volume corrispondente  $V_1$ :

$$p_1 \cdot V_1 = 1,071 \cdot 10^5 \cdot 80 \cdot 10^{-6} = 8,568 \text{ J} \cong 8,6 \text{ J}$$

Il valore trovato lo inseriamo nella colonna 9.

(Se devi calcolare l'incertezza di  $p_1 \cdot V_1$ , il procedimento è del tutto simile a quello seguito per  $S \cdot h_1$ , per cui vedi ancora l'[help 2](#).)

- Ripetiamo i calcoli per trovare il volume  $V_2$ , la pressione  $p_2$  e il loro prodotto, completando la seconda riga della tabella 1...

L'elaborazione può concludersi con il tracciamento del grafico ( $p$ ,  $V$ ) su carta millimetrata, così come illustrato in figura 2, dove sono riportati anche gli intervalli di indeterminazione tanto dei volumi quanto delle pressioni (che nel piano diventano perciò dei rettangoli). Tieni presente che per visualizzare meglio l'iperbole, ci vorrebbe un numero maggiore di punti.

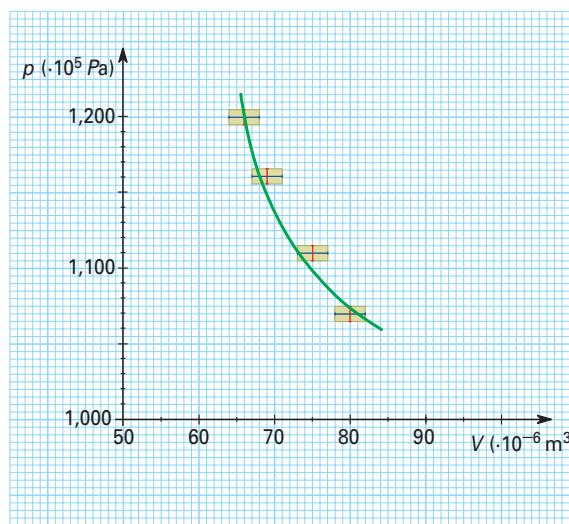


Figura 2

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Per valutare l'esperienza devi osservare se i valori ottenuti di  $p \cdot V$  sono effettivamente, nei limiti degli errori sperimentali, costanti.

Se hai calcolato anche le incertezze con le leggi di propagazione, allora puoi disegnare gli intervalli di indeterminazione (che saranno tanti quanti sono i pesi adoperati), ottenendo qualcosa simile a quanto riportato in figura 3. Nel caso in cui trovi una zona in comune a tutti gli intervalli tracciati, potrai sostenere di aver avuto una conferma della legge di Boyle e Mariotte.

Se, viceversa, i valori di  $p \cdot V$  sono fra loro piuttosto lontani o non c'è compatibilità fra gli intervalli di indeterminazione, allora devi cercare di individuare i fattori che hanno influenzato negativamente la prova. Te ne suggeriamo alcuni:

- l'aria non è un gas perfetto;
- la temperatura dell'aria non è rimasta costante, a causa della rapida compressione o dell'aumento della temperatura ambientale durante l'esecuzione della prova;
- l'attrito pistone-cilindro non è trascurabile;
- si sono verificate delle perdite di aria.

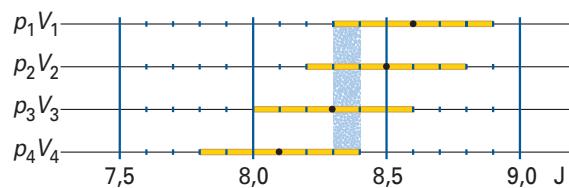


Figura 3

**help 1**

Trattandosi di un prodotto fra  $\pi/4$  e  $d^2$ , se prendiamo un numero appropriato di cifre decimali per  $\pi$  (per esempio:  $\pi = 3,14159$ ), potremo considerare esclusivamente l'incertezza sul diametro:

$$\Delta x(S) = \varepsilon_r(S) \cdot S = [2 \varepsilon_r(d)] \cdot S = \left[ 2 \cdot \frac{\Delta x(d)}{d} \right] \cdot S = 2 \cdot \frac{0,05 \cdot 10^{-3}}{35,45 \cdot 10^{-3}} \cdot 987,01194 \cdot 10^{-6} = \\ = 2 \cdot 0,00141 \cdot 987,01194 \cdot 10^{-6} = 2,78337 \cdot 10^{-6} \cong 3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Il risultato di  $S$  è perciò:  $S = (987 \pm 3) \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ .

**help 2**

L'errore relativo di un prodotto è dato dalla somma degli errori relativi dei fattori, per cui:

$$\Delta x(V_1) = \varepsilon_r(V_1) \cdot V_1 = [\varepsilon_r(S) + \varepsilon_r(h_1)] \cdot V_1 = \left[ \frac{\Delta x(S)}{S} + \frac{\Delta x(h_1)}{h_1} \right] \cdot V_1 = \left[ \frac{3}{987} + \frac{0,001}{0,081} \right] \cdot 79,947 \cdot 10^{-6} = \\ = [0,00304 + 0,01235] \cdot 79,947 \cdot 10^{-6} = 0,01539 \cdot 79,947 \cdot 10^{-6} = 1,23038 \cdot 10^{-6} \cong 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

**help 3**

L'incertezza di  $p_1$  è data dalla somma delle incertezze di  $p_{atm}$ , di  $p_{pistone}$  e di  $p_{agg}$ . L'incertezza di  $p_{atm}$  coincide con l'errore di sensibilità del barometro, mentre il calcolo dell'incertezza di  $p_{pistone}$  e  $p_{agg}$  è come procedimento identico. Vediamo i passaggi per la pressione della massa aggiunta:

$$p_{agg} = \frac{m_1 \cdot g}{S} = \frac{0,500 \cdot 9,81}{987 \cdot 10^{-6}} = 0,04970 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

considerando che il valore dell'accelerazione di gravità è:  $g = (9,81 \pm 0,01) \text{ m/s}^2$ .

$$\Delta x(p_{agg}) = [\varepsilon_r(m_1) + \varepsilon_r(g) + \varepsilon_r(S)] \cdot p_{agg} = \left[ \frac{\Delta x(m_1)}{m_1} + \frac{\Delta x(g)}{g} + \frac{\Delta x(S)}{S} \right] \cdot p_{agg} = \\ = \left[ \frac{0,001}{0,500} + \frac{0,01}{9,81} + \frac{3}{987} \right] \cdot 0,04970 \cdot 10^5 = [0,002 + 0,00102 + 0,00304] \cdot 0,04970 \cdot 10^5 = \\ = 0,00606 \cdot 0,04970 \cdot 10^5 = 0,00030 \cdot 10^5 \cong 0,0003 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Per cui sarà:

$$p_{agg} = (0,0497 \pm 0,0003) \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Una volta calcolato analogamente  $\Delta x(p_{pistone})$ , scriverai:

$$\Delta x(p_1) = \Delta x(p_{atm}) + \Delta x(p_{pistone}) + \Delta x(p_{agg}) = \dots$$

# 24

## L'equivalenza tra calore e lavoro

### PREREQUISITI

Per affrontare la prova devi sapere:

- Come si calcola la forza peso
- Definizione di lavoro
- Come si utilizza il termometro
- Significato di capacità termica di un corpo

### 1 Titolo

Essendo l'intento quello di esaminare la possibilità di trasformare il lavoro in calore, il titolo della prova è: **L'equivalenza tra calore e lavoro.**

### 2 Obiettivi

Considerato che la trasformazione del lavoro in calore là dove interviene l'attrito è un fenomeno piuttosto comune, così come è noto che le macchine termiche quali sono i motori delle automobili sfruttano il processo inverso, il nostro scopo è verificare il primo aspetto, cioè la trasformazione del lavoro in calore, però da un punto di vista quantitativo, calcolando cioè sia il lavoro compiuto sia il calore assorbito da un dispositivo sperimentale in conseguenza di quel lavoro.

### 3a Schema e/o disegno

Il dispositivo che normalmente si utilizza, pur con qualche variante, è quello riportato in figura 1. Tu cercherai di riprodurre quello al quale hai fatto effettivamente ricorso.

### 3b Materiale e strumenti

Con riferimento alla figura 1, hai a disposizione:

- carico con cinghia (nastro);
- cilindro calorimetrico con elementi di bloccaggio e manovella;
- aste di supporto;
- dinamometro;
- termometro.

### 4 Contenuti teorici

Devi esporre in maniera concisa la problematica della trasformazione del lavoro in calore e viceversa, mettendo in evidenza il fatto che in questo processo non c'è simmetria, per cui se pure si può trasformare totalmente il lavoro in calore, il contrario non è invece possibile. In particolare, puoi parlare dell'unità di misura chiamata **caloria** e del suo equivalente nell'unità del SI, il joule.

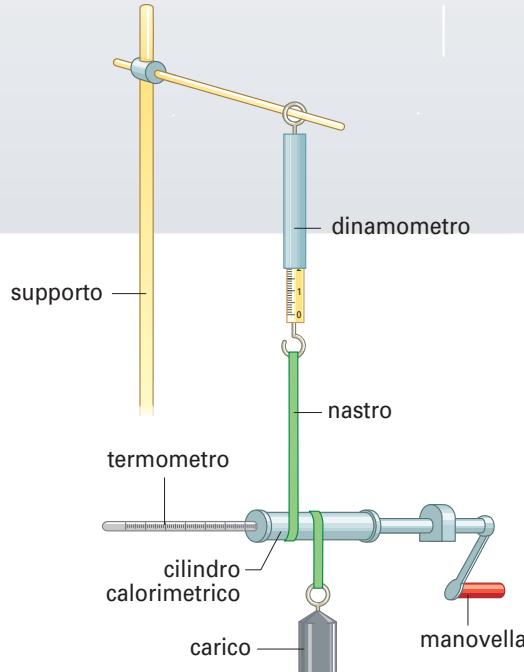


Figura 1

## 5-6-7 Descrizione della prova, raccolta dei dati, elaborazione

Grazie all'applicazione di una forza otteniamo un movimento (la rotazione di un cilindro sul quale striscia il nastro), cosa che corrisponde al compimento di un lavoro, che possiamo calcolare. A causa di quest'azione, il calorimetro e l'acqua in esso contenuta aumentano la propria temperatura, cioè assorbono una certa quantità di calore, che calcoliamo. Quindi, andremo a confrontare i due risultati ottenuti.

- Trascrivi il valore della capacità termica del cilindro calorimetrico fornito dal costruttore dell'apparecchiatura:  $C = \dots$
- Misura con una bilancia la massa del carico da appendere al nastro:  $m = \dots$
- Con un calibro misura il diametro esterno del cilindro calorimetrico:  $d = \dots$
- Dopo aver messo l'acqua all'interno del calorimetro, tramite il termometro rileva il valore della temperatura iniziale:  $t_1 = \dots$
- Tenendo bloccata la manovella, aggancia il nastro al dinamometro (opportunamente azzerato) e, dopo avergli fatto fare un giro attorno al cilindro, appendi il carico alla sua estremità inferiore.
- Fai compiere alla manovella, cercando di svolgere un'azione regolare e non a scatti, un certo numero di giri  $n$  (per esempio, 300).
- Leggi (o chiedi a un compagno di leggerlo, se sei impegnato alla manovella) il valore della forza che risulta applicata dal dinamometro:  $F_{\text{dinamometro}} = \dots$  (Questo valore, da sottrarre al peso del carico, ti consente di trovare l'effettivo valore della forza d'attrito il cui lavoro determina il riscaldamento del cilindro.)
- Arrivato al termine dei giri, leggi sul termometro il valore della temperatura finale:  $t_2 = \dots$   
In tal modo la parte esecutiva della prova è conclusa.

Devi calcolare il lavoro compiuto per girare la manovella. Tale lavoro, a causa dell'attrito tra il cilindro calorimetrico e il nastro, è stato trasformato in calore assorbito dall'acqua ed è evidenziato dall'aumento della sua temperatura.

### Calcolo del lavoro

- Determina il peso  $F_{\text{peso}}$  del carico:  $F_{\text{peso}} = m \cdot g = \dots$
- Calcola la forza  $F$  effettivamente applicata, sottraendo da  $F_{\text{peso}}$  la forza  $F_{\text{dinamometro}}$  letta sul dinamometro:  

$$F = F_{\text{peso}} - F_{\text{dinamometro}} = \dots$$
- La circonferenza  $c$  del cilindro calorimetrico di diametro  $d$  è data da:  $c = \pi \cdot d = \dots$
- Considerato che hai effettuato  $n$  giri, lo spostamento totale  $s$  sul quale ha agito la forza  $F$  è dato da:  

$$s = n \cdot c = \dots$$
- Infine, puoi determinare il lavoro  $L$  dato dal prodotto tra la forza  $F$  applicata e lo spostamento  $s$ :  

$$L = F \cdot s = \dots$$

### Calcolo del calore

- Trovi la variazione  $\Delta t$  di temperatura:  $\Delta t = t_2 - t_1 = \dots$
- Quindi, basta effettuare il prodotto tra la capacità termica  $C$  del calorimetro e la variazione di temperatura  $\Delta t$  per determinare il calore  $Q$  assorbito dall'acqua:  $Q = C \cdot \Delta t = \dots$

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Attraverso il completamento delle frasi sottostanti, cerca di ragionare su ciò che hai ottenuto con questa prova.

- Il lavoro svolto dalla forza d'attrito è pari a  $\dots$
- Il calore assorbito dal cilindro calorimetrico (oltre che dall'acqua in esso contenuta), generato dall'attrito che si sviluppa tra il cilindro stesso e il nastro, è uguale a  $\dots$
- I valori trovati di lavoro e calore sono tra loro (uguali/quasi uguali/molto diversi)  $\dots$
- Ciò vuol dire che il lavoro compiuto (si è/non si è)  $\dots$  trasformato totalmente in calore.

**PREREQUISITI** Per affrontare la prova devi sapere:

- Che cos'è la carica elettrica
- Come funziona un elettroscopio
- Differenza tra conduttori e isolanti

**1 Titolo**

Ci occuperemo in questa prova di alcuni aspetti particolari delle cariche elettriche, dunque possiamo optare per il titolo complessivo: **Le cariche elettriche**.

**2 Obiettivi**

Da una parte esamineremo le differenti modalità con le quali è possibile elettrizzare un corpo, osservando tra l'altro l'esistenza di due tipi di carica elettrica; dall'altra vogliamo verificare la conservazione della carica e comprendere come esse si dispongono in un conduttore metallico.

**3a Schema e/o disegno**

Puoi disegnare l'elettroscopio (fig. 1), la bacchetta in prossimità di una (fig. 2) o due (fig. 3) palline, il pozzo di Faraday (fig. 4).

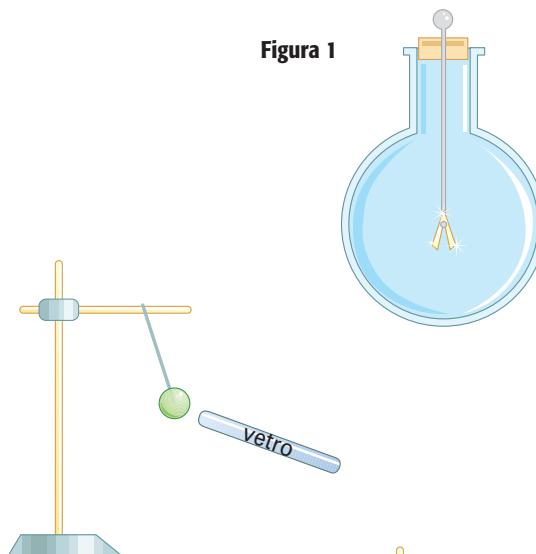


Figura 1

Figura 2

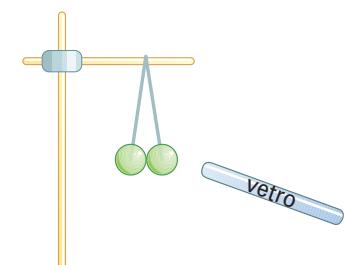


Figura 3

**3b Materiale e strumenti**

Devi disporre di:

- bacchetta di vetro (o altro materiale) e panano;
- aste di supporto con palline appese al filo;
- pozzo di Faraday;
- elettroscopio (o elettrometro).

## 4 Contenuti teorici

Puoi accennare alle caratteristiche generali della carica elettrica, a partire dalla maniera con la quale si manifesta la loro presenza da un punto di vista macroscopico. Dopodiché, dato che dell'elettrizzazione dei corpi o della distribuzione delle cariche te ne occuperai direttamente tu, puoi illustrare il meccanismo di elettrizzazione sulla base del passaggio degli elettroni.

## 5-6-7 Descrizione della prova, raccolta dei dati, elaborazione

La prova è a carattere puramente qualitativo, quindi non dovrà elaborare dei dati numerici, ma semplicemente trarre le opportune conseguenze da una serie di osservazioni sperimentali.

### Parte I: l'elettrizzazione dei corpi

Il materiale di cui hai bisogno è costituito da due bacchette, una di vetro e un'altra di ebanite (o genericamente di plastica), un panno, una pallina molto leggera rivestita con carta di alluminio e un elettroscopio (fig. 1).

#### Strofinio

- a) Strofina energicamente la bacchetta di vetro con il panno e avvicinala gradualmente alla pallina (fig. 2), cercando di non toccarla con la bacchetta stessa. (Se non riesci a evitarlo, prima di ripetere l'azione è sufficiente che tocchi la pallina un attimo con le dita.) Che cosa ha fatto la pallina?  
.....
- b) Strofina adesso la bacchetta di ebanite (o plastica) e avvicinala alla pallina, anche questa volta senza toccarla. Che cosa ha fatto la pallina?  
.....

#### Contatto

- c) Dopo aver strofinato ancora la bacchetta di vetro con il panno, tocca con essa la pallina. Quindi avvicina di nuovo la bacchetta alla pallina.  
Che cosa fa ora la pallina? .....
- d) Strofina la bacchetta di ebanite e avvicinala alla pallina. Che cosa succede? .....
- e) Tocca la pallina con le dita, in modo da riportarla nella condizione iniziale.
- f) Metti a contatto la bacchetta di ebanite con la pallina, dopodiché, riavvicina la stessa bacchetta alla pallina. Come si comporta la pallina? .....
- g) Prendi la bacchetta di vetro e avvicinala alla pallina. Che cosa noti? .....
- h) Infine, con una delle due bacchette, tocca la sfera esterna dell'elettroscopio. Quali sono gli effetti di quest'azione sulle foglioline poste all'interno dell'elettroscopio? .....

#### Induzione

- i) Prendi due palline, facendo in modo che siano a contatto (fig. 3).  
j) Strofina nuovamente una bacchetta (di vetro o di ebanite) e avvicinala a una delle due palline, senza toccarla.  
m) Tenendo ferma la bacchetta, tocca con un dito la pallina più lontana. Che cosa accade?  
n) Avvicina ora alle palline in successione prima una bacchetta e poi l'altra. Che cosa fanno le palline?  
.....

#### Completa le frasi

Facciamo un po' di ordine tra le informazioni raccolte.

- Nel primo caso l'elettrizzazione delle bacchette avviene attraverso lo ..... e grazie a questo le bacchette possono ..... dei corpi leggeri.

- Nel secondo caso l'elettrizzazione delle palline avviene per mezzo del .....
- Dopo aver toccato la pallina con le bacchette, si notano tra tali corpi sia forze di tipo attrattivo sia forze di tipo .....
- Si parla perciò di cariche ..... e di cariche .....
- Nel terzo caso si constata che l'elettrizzazione può avvenire anche tenendo i corpi carichi lontani da quelli che si desidera caricare elettricamente, tramite la .....

## Parte II: la distribuzione della carica

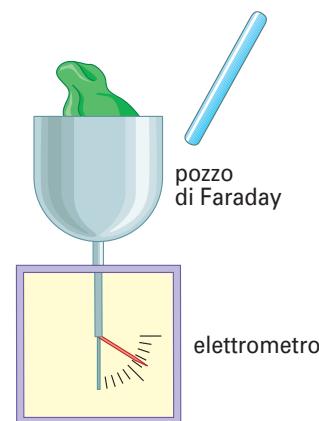
Inserisci sulla sommità di un elettrometro un bicchiere metallico, detto *pozzo di Faraday* (fig. 4) e prepara un elettroscopio con le foglioline prive di carica elettrica. (L'elettrometro, a differenza dell'elettroscopio, ha un indice che si sposta su una scala graduata.)

- Strofina energicamente una delle bacchette con il panno e inseriscila, insieme al panno, dentro il bicchiere metallico posto sull'elettrometro.  
Quest'ultimo segnala qualcosa? .....
- Togli la bacchetta e controlla l'indice dell'elettrometro. Si è mosso?  
.....
- Rimetti la bacchetta nel bicchiere e togli invece il panno. Che cosa succede? .....
- Inserisci nuovamente il panno. Che cosa accade? In questo caso l'indice .....
- Estrai sia il panno sia la bacchetta dal bicchiere e toccalo con la mano, in modo da scaricarlo.
- Dopo aver strofinato energicamente la bacchetta, falla scivolare sul bicchiere per trasmettergli la maggiore quantità possibile di carica elettrica.
- Prendi adesso una sferetta metallica dotata di manico isolante e mettila a contatto con la parte interna del bicchiere.
- Tocca con la sferetta la parte superiore dell'elettroscopio. Si muovono le foglioline? .....
- Ripeti l'azione precedente, però dopo aver messo a contatto la sferetta (sempre tenendola tramite il manico isolante) con la parte esterna del bicchiere metallico.
- Mettila a contatto con l'elettroscopio. Che cosa fanno le foglioline? .....

### Completa le frasi

Valutiamo le conseguenze di questa seconda parte della prova.

- La circostanza che bacchetta e panno insieme, pur essendo entrambi carichi in conseguenza dello strofinio, non facciano rilevare all'elettrometro nessuna carica, sta a significare che nei processi di elettrizzazione che avvengono in sistemi isolati le cariche elettriche non vengono create, ma si .....  
.....
- Perciò, la carica elettrica presente nella bacchetta (positiva se di vetro, negativa se di ebanite) è uguale in quantità, ma di segno ..... rispetto a quella del panno.
- In un conduttore le cariche si dispongono sulla ....., mentre all'interno non vi è presenza di .....
- Dentro un conduttore cavo sono nulle le ..... elettriche: è sulla base di questo effetto che funziona la gabbia di Faraday.



**Figura 4**

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Avendo completato le frasi al termine di ciascuna delle due parti in cui è suddivisa la prova, in questo contesto conclusivo puoi sottolineare la differenza dal punto di vista del processo fisico tra strofinio, contatto e induzione oppure esporre le motivazioni per le quali in un conduttore le cariche elettriche si distribuiscono sulla superficie.

**PREREQUISITI** Per affrontare la prova devi sapere:

- Come si rappresenta il campo elettrico
- Qual è il significato di tensione (o differenza di potenziale)

**1 Titolo**

In alcune situazioni relativamente semplici, visualizziamo il campo elettrico. Intitoliamo perciò questa esperienza: **Le linee di forza**.

**2 Obiettivi**

Lo scopo consiste nel cercare di mettere in evidenza le linee di forza generate da cariche elettriche puntiformi e da cariche distribuite su superfici piane parallele (come accade nel condensatore).

**3a Schema e/o disegno**

Riporti i disegni delle linee di forza nelle diverse situazioni analizzate man mano che sviluppi la relazione (vedi figure 1, 2 e 3).

**3b Materiale e strumenti**

L'elenco che segue è ciò di cui hai bisogno:

- generatore di tensione;
- elettrodi di forma circolare e piana (ed eventualmente uno a forma di spira);
- contenitore di vetro di diametro abbastanza grande (da collocare possibilmente sul piano della lavagna luminosa per proiettare le immagini sulla parete);
- bacchetta isolante;
- olio di vaselina e semolino.

**4 Contenuti teorici**

Puoi esporre il concetto di campo elettrico, magari facendo un parallelo con il campo gravitazionale, e parlare della sua rappresentazione attraverso le linee di forza (riservandoti di esaminare le loro caratteristiche dopo avere svolto i passaggi illustrati più avanti).

## 5-6-7 Descrizione della prova, raccolta dei dati, elaborazione

In questo caso non devi effettuare un'elaborazione matematica, in quanto non ricavi dei dati numerici. Tuttavia, dovrà osservare attentamente quello che accade e darne una giustificazione fisica.

### Parte I: cariche puntiformi

Per evidenziare le linee di forza dei campi elettrici faremo ricorso alla paraffina liquida (olio di vaselina) e a un po' di semolino molto fine. Disponendo tali *ingredienti* in un contenitore trasparente e appoggiando quest'ultimo sul piano di una lavagna luminosa, si può ingrandire e rendere più visibile il fenomeno studiato.

- Prendi un generatore di tensione assicurandoti che non sia acceso e collega con il polo positivo del generatore l'elettrodo circolare che simula la carica puntiforme.
- Dopo avere versato nel contenitore, per un'altezza di circa mezzo centimetro, l'olio di vaselina, disponi l'elettrodo al centro, con la base circolare immersa nell'olio (vedi fig. 1).
- Spargi un po' di semolino nell'olio tutt'attorno all'elettrodo e, quindi, se la manopola di regolazione della tensione è a zero, accendi il generatore.
- Aumenta gradualmente la tensione, fino a quando vedi i granelli di semolino disporsi secondo linee di forza identificabili con chiarezza. (Con una bacchetta isolante puoi agitare all'occorrenza il semolino.)
- Se la disposizione del semolino dovesse essere troppo confusa, puoi disporre un elettrodo ad anello collegato a terra dentro il contenitore, in modo da accrescere il campo elettrico a cui sono sottoposti i granelli (fig. 1).
- Secondo quali linee ti sembra che si sia disposto il semolino nell'olio?

.....

- Introduci ora nel contenitore un altro elettrodo di forma circolare e collegalo, sempre a generatore spento, al polo negativo o a terra (fig. 2). (In questo caso non ci deve essere l'anello esterno.)
- Accendi il generatore e aumenta la tensione tramite l'apposita manopola. Se è necessario, aggiungi del semolino e nell'olio rimescolalo.
- Come si dispongono adesso i granelli di semolino? .....

.....

- Ripeti la prova precedente, collegando però entrambi gli elettrodi al polo positivo, eventualmente utilizzando l'elettrodo ad anello con polarità contraria a quella degli altri due elettrodi.

m) Quali linee mettono in evidenza adesso i granelli? .....

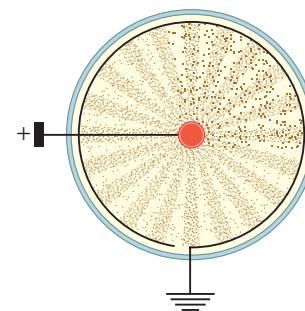


Figura 1

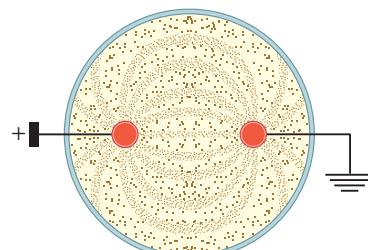


Figura 2

### Completa le frasi

Riordiniamo le tue osservazioni.

- Nel caso di carica puntiforme le linee di forza del campo elettrico sono delle ..... uscenti dalla ..... in direzione .....
- Quando si hanno due cariche puntiformi di segno opposto, allora le linee di forza sono delle linee (aperte/chiuse) ..... che vanno da una ..... all'altra.
- Se invece le due cariche puntiformi hanno lo stesso segno, le linee di forza sono delle linee (aperte/chiuse) ..... che partono da ciascuna .....

## Parte II: cariche su superfici piane e parallele

In questa seconda parte vediamo quali sono le caratteristiche del campo elettrico tra due superfici piane e parallele, situazione analoga a quella che si ha in un condensatore.

a) Inserisci dentro il contenitore con l'olio due elettrodi di forma piana e disponili a una certa distanza in modo tale che le due superfici affacciate siano parallele (fig. 3).

b) Se necessario, aggiungi del semolino nella zona compresa tra le due superfici piane.

c) Collega i due elettrodi uno al polo positivo e l'altro a quello negativo del generatore e aumenta gradualmente la tensione, fino a quando i grani non si dispongono in modo da evidenziare delle linee chiaramente distinguibili. Come sono adesso le linee di forza tra i due elettrodi?

d) Allontana tra loro i due elettrodi piani. Che cosa succede? .....

.....

e) Come diventano le linee di forza, in prossimità dei bordi laterali delle due superfici? .....

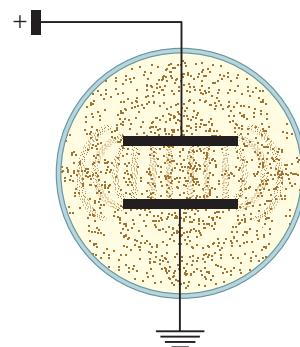
### Completa le frasi

Riassumiamo quanto abbiamo visto.

- Il campo elettrico tra due superfici piane parallele, escludendo le zone dei bordi, è costituito da linee .....

- Tali linee sono tendenzialmente (equidistanti/irregolari) ..... rappresentando perciò un campo elettrico (uniforme/variabile) .....

- Quanto più le linee sono (vicine/lontane) ..... tra loro, tanto più il campo elettrico è (debole/forte) .....



**Figura 3**

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

A seguito di questa prova di carattere puramente qualitativo, puoi cercare di dire qualcosa di generale sulle linee di forza: di che cosa sono le manifestazioni, che cosa rappresentano fisicamente, che cosa provocano...

**PREREQUISITI** Per affrontare la prova devi sapere:

- Definizione e unità di misura di carica elettrica e differenza di potenziale (tensione)
- Caratteristiche del condensatore
- Definizione e unità di misura della capacità

**1 Titolo**

Considerata la modalità scelta per la prova, il titolo è: **Curva caratteristica di carica di un condensatore**.

**2 Obiettivi**

L'obiettivo è quello di studiare come si comporta un condensatore quando viene inserito in un circuito al quale si applica una determinata differenza di potenziale, e in particolare di osservare per mezzo di un grafico ( $\Delta V, t$ ) in quale modo aumenta nel tempo la differenza di potenziale presente ai suoi capi.

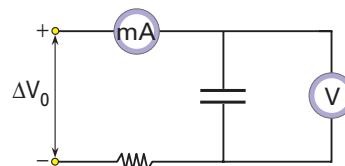
**3a Schema e/o disegno**

In questo caso si può disegnare lo schema elettrico che, nella versione più essenziale, è quello riportato nella figura 1.

**3b Materiale e strumenti**

Il materiale e gli strumenti sono:

- condensatore elettrolitico (di caratteristiche note);
- resistore variabile;
- cronometro;
- voltmetro;
- milliamperometro (facoltativo).



**Figura 1**

**4 Contenuti teorici**

Puoi parlare del condensatore (in particolare di quello piano), delle sue caratteristiche generali e, in maniera invece chiara ed esauriente, del significato e dell'unità di misura della capacità, definita come  $C = Q/\Delta V$ .

## 5 Descrizione della prova

### Fase di preparazione

Per far sì che il processo di carica abbia una durata significativa (diciamo dell'ordine di 1 min, cioè 60 s), in base al valore noto della capacità  $C$  del condensatore (supponiamo che valga  $470 \mu\text{F}$ ), bisogna scegliere la resistenza  $R$  opportuna. Da una parte si sa che il tempo  $t$  di carica del condensatore è pari a circa 5 volte la costante di tempo  $\tau$  del circuito ( $t = 5 \cdot \tau$ ), dalla quale si trova:

$$\tau = \frac{t}{5}$$

Dall'altra, è anche  $\tau = R \cdot C$ , da cui ricavi:

$$R = \frac{\tau}{C}$$

Di conseguenza, a partire dalle condizioni  $t = 60 \text{ s}$  e  $C = 470 \mu\text{F}$ , determini facilmente:

$$\tau = \frac{t}{5} = \frac{60}{5} = 12 \text{ s} \quad \text{e} \quad R = \frac{\tau}{C} = \frac{12}{470 \cdot 10^{-6}} \approx 25532 \Omega$$

La resistenza utilizzata deve essere dunque dell'ordine di  $25 \text{ k}\Omega$ . Infine, nota la tensione massima del condensatore (per ipotesi 25 V), stabilisci il valore massimo della tensione di alimentazione da non superare per motivi di sicurezza. Per esempio:

$$\Delta V_0 = 14 \text{ V}$$

### Fase di esecuzione

- Tramite il voltmetro verifica che nel condensatore non ci siano cariche residue (in caso affermativo, lo scarichi collegandolo a terra).
- Scegli gli intervalli di tempo per la campionatura dei valori della  $\Delta V$  ai capi del condensatore: puoi optare per 5 s fissi per tutta la misurazione, oppure per intervalli crescenti (3 s, 6 s, 12 s) al fine di avere una curva più precisa nella parte iniziale della carica.
- Dopodiché, quando il circuito è pronto, alimentalo portando la d.d.p. a un certo valore (nel nostro esempio, 14 V) ed effettua le letture sul voltmetro disposto in parallelo con il condensatore.

(Anche se non sono state ancora trattate le correnti continue, accontentandosi di darne una definizione qualitativa, si può pensare di rilevare attraverso un milliamperometro collegato in serie con il condensatore e il resistore, l'intensità della corrente congiuntamente alla tensione. Così è possibile constatare che, man mano che la d.d.p. ai capi del condensatore aumenta, contrastando quella di alimentazione, la corrente elettrica decresce fino a diventare nulla).

## 6 Raccolta dei dati

La tabella 1 è necessaria per raccogliere i dati.

**Tabella 1**

1 $t$ (s)	2 $\Delta x(t)$ (s)	3 $\Delta V$ (V)	4 $\Delta x(\Delta V)$ (V)
0,0	0,2	0,00	0,01
3,0	0,2	2,70	0,01
6,0	0,2	5,15	0,01
12,0	0,2	8,51	0,01
18,0	0,2	10,36	0,01
24,0	0,2	11,48	0,01
36,0	0,2	12,92	0,01
48,0	0,2	13,58	0,01
60,0	0,2	13,95	0,01

## 7 Elaborazione

L'elaborazione si limita al grafico ( $\Delta V$ ,  $t$ ) – e, se fatte le corrispondenti misurazioni, quello ( $I$ ,  $t$ ) – su carta millimetrata, riportando sul foglio anche gli intervalli di indeterminazione (figura 2).

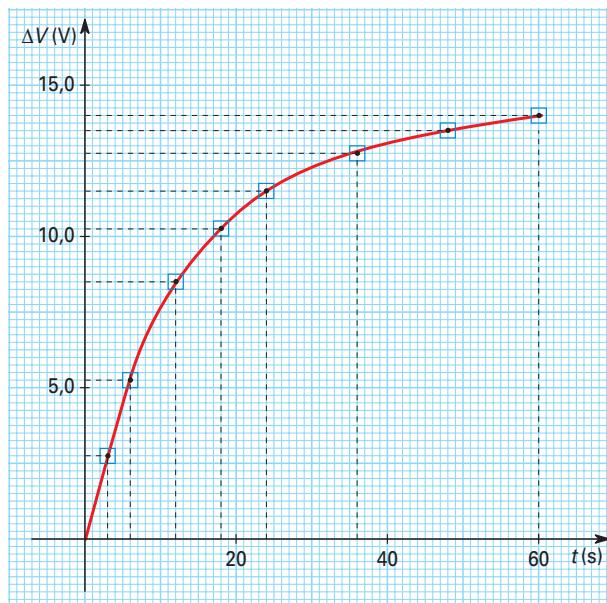


Figura 2

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Non essendo possibile un confronto con i valori teorici, che richiederebbero l'uso della formula

$$\Delta V = \Delta V_0 \cdot [1 - e^{-t/(R \cdot C)}]$$

puoi esprimere un commento sull'andamento della curva, osservando le differenze tra la parte iniziale e quella finale.

**PREREQUISITI**

Per affrontare la prova devi sapere:

- Quali sono le conseguenze della proporzionalità diretta fra due grandezze fisiche
- Individuare la sensibilità di uno strumento tarato ed effettuare la sua lettura
- Che cosa sono e come si misurano la d.d.p. e l'intensità di corrente elettrica
- Significato, definizione e unità di misura della resistenza
- Enunciato della prima legge di Ohm

**1 Titolo**

Trattandosi di una prova che mira a confermare una legge nota, il titolo è: **Verifica della prima legge di Ohm**.

**2 Obiettivi**

Lo scopo consiste nel valutare la validità della legge che esprime la diretta proporzionalità tra l'intensità di corrente elettrica e la differenza di potenziale applicata ai capi di un conduttore.

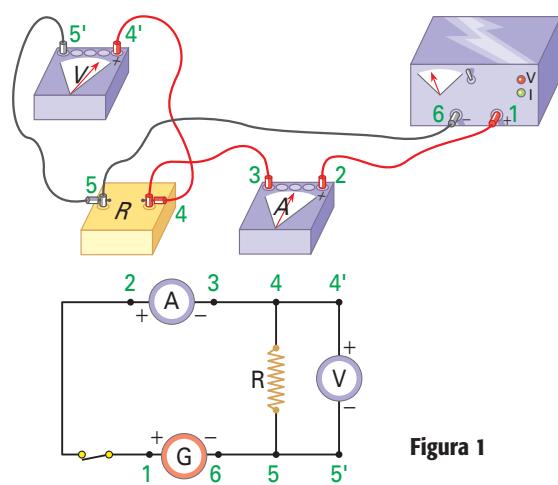
**3a Schema e/o disegno**

Nella figura 1 sono riprodotti sia il dispositivo vero e proprio adoperato sia lo schema elettrico a esso corrispondente. Nella tua relazione puoi limitarti allo schema, anche se il disegno è importante per ricordare come va montato il circuito.

**3b Materiale e strumenti**

Il materiale utilizzato è (fig. 1):

- cavi di collegamento;
- resistori;
- generatore;
- amperometro;
- voltmetro.



**Figura 1**

**4 Contenuti teorici**

La premessa teorica dell'esperimento riguarda ovviamente la prima legge di Ohm, nel senso che, dopo aver detto brevemente che cosa si intende per corrente elettrica e differenza di potenziale, devi cercare di spiegarne tutte le implicazioni, puntando in particolare sul concetto di resistenza elettrica e sulla sua rappresentazione grafica.

## 5 Descrizione della prova

È molto importante, prima di procedere, avere le idee chiare su come va montato il circuito e in che modo devono essere collegati gli strumenti di misura, sia per la pericolosità della corrente elettrica sia per il rischio di danneggiare i componenti. Di conseguenza, è opportuno assemblare il circuito, collegandolo solo in un secondo tempo al generatore; analogamente, se devono essere effettuate delle modifiche, è bene, oltre a staccare l'alimentazione, anche estrarre i cavi di collegamento con il generatore. Infine, per evitare che si possa verificare un riscaldamento eccessivo dei componenti, nel caso tra una lettura e l'altra passi un certo tempo, è consigliabile interrompere il passaggio di corrente tramite l'interruttore del generatore (azione, tra l'altro, da fare subito nell'eventualità in cui dovessi avvertire odore di bruciato!).

Effettuiamo la verifica della legge regolando, tramite la manopola del generatore, la d.d.p. in ingresso al circuito e, quindi, andando a leggere sul voltmetro e sull'amperometro rispettivamente i valori della  $\Delta V$  e della  $I$ . Dopodiché, vediamo quale risultato dà ogni volta il rapporto tra le due grandezze elettriche.

Ecco ciò che devi fare, eseguendo le operazioni nell'ordine indicato.

- a) Monta il circuito (senza effettuare ancora il collegamento con il generatore), trascurando per ora gli strumenti e seguendo lo schema elettrico di figura 2:



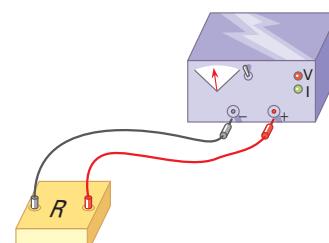
Quello che hai così montato è il circuito di base.

- b) Inserisci l'amperometro in serie nel circuito, in modo tale cioè che sia attraversato dalla stessa corrente che attraversa il resistore (fig. 3):
- togli dall'ingresso del resistore lo spinotto del cavo che arriva dal polo positivo del generatore e inseriscilo nell'uscita dell'amperometro, alla quale corrisponderà una determinata portata massima (nel nostro esempio 0,3 A);
  - prendi un altro cavo e collega l'ingresso (+) dell'amperometro al polo positivo del generatore.

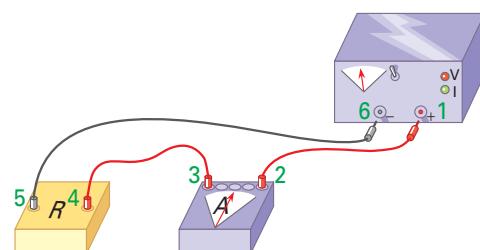
- c) Disponi il voltmetro in parallelo con il resistore, in modo tale da misurargli la d.d.p. (fig. 4):
- collega con un cavo l'ingresso del resistore all'ingresso (+) del voltmetro;
  - prendi un altro cavo e collega l'uscita del voltmetro, alla quale corrisponderà una determinata portata massima (nel nostro caso 3 V), all'uscita del resistore ovvero al polo negativo del generatore (ancora spento...).

La tua postazione è dotata di un generatore, di solito attivato dal banco centrale del docente. Esso presenta un interruttore e due manopole, una per regolare l'intensità di corrente, l'altra per regolare la d.d.p.

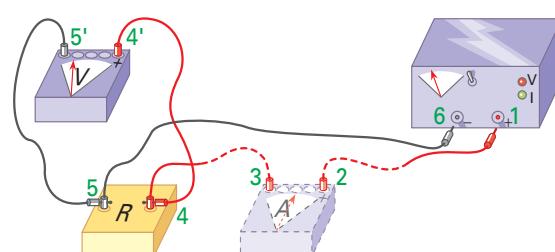
- d) Ruota le due manopole in senso antiorario, portandole così a zero, e accertati che l'interruttore sia in posizione *off* (circuito **aperto**).
- e) Fai controllare il tuo circuito all'insegnante e, in caso di parere favorevole, connetti il circuito al generatore, inserendo gli spinotti lasciati liberi ai poli positivo e negativo.
- f) Metti l'interruttore del generatore in posizione *on*: si illumina un led a indicare che il collegamento è attivo (circuito **chiuso**).



**Figura 2**



**Figura 3**



**Figura 4**

- g) Prima di prendere le misure vere e proprie, ruota lentamente la manopola della tensione sul pannello del generatore. Vedrai l'indice dell'amperometro e del voltmetro muoversi, rivelando una corrente che circola in esso e una d.d.p. ai capi del resistore.
- h) Riporta a zero la manopola della tensione del generatore per iniziare le letture.

Ti conviene decidere preventivamente gli incrementi della d.d.p., da leggere sul voltmetro in parallelo con il resistore, per far sì di avere dei valori di comoda lettura e crescenti con regolarità (il doppio, il triplo ecc.).

- i) Ruota in senso orario la manopola del generatore e fermati quando il voltmetro raggiunge il valore da te deciso (nei nostri dati campione 0,80 V): scrivi il dato nella colonna 1 della tabella 1.
- l) Leggi sull'amperometro il valore corrispondente dell'intensità di corrente, trascrivendolo nella colonna 3 della tabella.
- m) Ripeti le due azioni precedenti un certo numero di volte raddoppiando, triplicando ecc. la tensione d'ingresso, in maniera tale da disporre alla fine di almeno 5 o 6 serie di dati.

La fase operativa è terminata. Puoi passare all'elaborazione numerica e grafica.

## 6 Raccolta dei dati

Ti suggeriamo una tabella simile alla 1 per organizzare i tuoi dati personali.

**Tabella 1**

1	2	3	4	5	6
$\Delta V$ (V)	$\Delta x(\Delta V)$ (V)	$I$ (A)	$\Delta x(I)$ (A)	$R = \Delta V/I$ ( $\Omega$ )	$\Delta x(R)$ ( $\Omega$ )
0,80	0,05	0,035	0,005	23	5
1,60	0,05	0,070	0,005	...	...
...	...	...	...	...	...

## 7 Elaborazione

### I calcoli

I calcoli relativi alla resistenza  $R$  non presentano difficoltà:

$$R = \frac{\Delta V}{I} = \frac{0,80}{0,035} = 22,85714 \approx 23 \Omega$$

Se devi determinare le incertezze della  $R$ , puoi vedere l'[help 1](#).

### Il grafico

In questa prova riveste particolare interesse tracciare il grafico che rappresenta la variazione dell'intensità di corrente in funzione della differenza di potenziale. Sulla carta millimetrata riporta i valori della d.d.p. (colonna 1 in tabella) sull'asse delle  $X$  e quelli della corrente (colonna 3 in tabella) sull'asse delle  $Y$ . Scegli le scale sui due assi cercando di impegnare al massimo l'estensione del foglio a disposizione. Dopodiché, individua il punto che nel grafico corrisponde a una coppia di valori (per esempio:  $\Delta V = 0,80$  V e  $I = 0,035$  A), riportando anche gli intervalli di indeterminazione dei due valori, che danno luogo a dei piccoli rettangoli attorno al punto in questione (fig. 5).

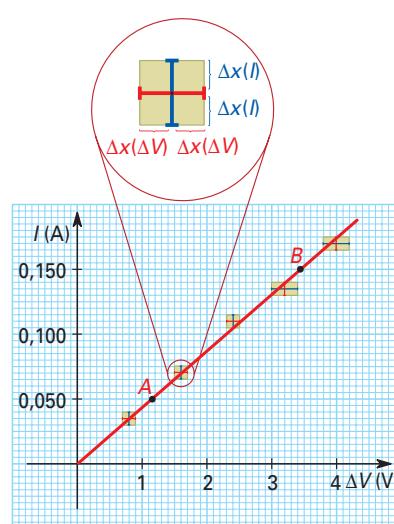


Figura 5

Fatto questo per ogni coppia di valori ( $\Delta V, I$ ), l'importante è ottenere una retta che, partendo dall'origine, attraversi o lambisca tutti gli intervalli sperimentali, confermando in tal modo l'ipotesi della direta proporzionalità fra d.d.p. e intensità di corrente, cioè la prima legge di Ohm. Operando così, arrivi a qualcosa di analogo alla figura 5.

La misura della resistenza può essere determinata anche per via grafica, in base alla pendenza della retta tracciata, tramite la lettura dei valori di  $\Delta V$  e di  $I$  in due punti  $A$  e  $B$  scelti sulla retta, ma diversi da quelli sperimentali (fig. 5):

$$R = \frac{\Delta V_B - \Delta V_A}{I_B - I_A} = \dots \Omega$$

Per l'incertezza corrispondente, puoi leggere l'**help 2**.

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Si stabilisce la prova riuscita se, come avviene in figura 5, la retta passa in tutti gli intervalli sperimentali, oppure se gli intervalli di indeterminazione delle  $R$  (colonna 5 della tabella), ottenuti con le leggi di propagazione degli errori, verificano la compatibilità, cioè presentano una zona di valori in comune (fig. 6).

Tra le motivazioni per cui la prova può dare dei problemi, circoscritti solo ad alcuni punti o, in caso di sfortuna, estesi all'intera prova, ti segnaliamo il riscaldamento della resistenza nel tempo al passare della corrente elettrica, eventuali sbalzi nell'alimentazione, contatti difettosi...

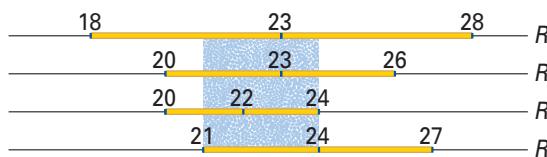


Figura 6

### help 1

Poiché la resistenza  $R$  è il rapporto fra  $\Delta V$  e  $I$ , per calcolare la sua incertezza (da inserire nella colonna 6) devi seguire il procedimento proposto qui di seguito.

1. Trovi l'errore relativo di  $R$ , che è la somma degli errori relativi di  $\Delta V$  e  $I$ :

$$\epsilon_r(R) = \epsilon_r(\Delta V) + \epsilon_r(I) = \frac{\Delta x(\Delta V)}{\Delta V} + \frac{\Delta x(I)}{I} = \frac{0,05}{0,80} + \frac{0,005}{0,035} = 0,06250 + 0,14286 = 0,20536$$

2. Determini l'incertezza di  $R$  tramite la formula:

$$\Delta x(R) = \epsilon_r(R) \cdot R = 0,20536 \cdot 22,85714 = 4,69394 \cong 5 \Omega$$

3. Arrotondi il valore di  $R$ , in base all'incertezza corrispondente:

$$R = 22,85714 \cong 23 \Omega$$

### help 2

Sapendo quali sono le incertezze di  $\Delta V_A$  e  $\Delta V_B$ , di  $I_A$  e  $I_B$ , determinate sulla carta millimetrata in base al valore di un quadrettino da 1 mm secondo i rispettivi assi per la d.d.p. e per l'intensità di corrente, puoi trovare l'incertezza della resistenza in questo modo:

$$\Delta x(R) = \left[ \frac{\Delta x(\Delta V_B) + \Delta x(\Delta V_A)}{\Delta V_B - \Delta V_A} + \frac{\Delta x(I_B) + \Delta x(I_A)}{I_B - I_A} \right] \cdot R = \dots \Omega$$

**PREREQUISITI** Per affrontare la prova devi sapere:

- Equazione fondamentale della calorimetria
- Legge di Joule sulla potenza dissipata

**1 Titolo**

Ipotizzando che sia già stato studiato il fenomeno dell'effetto Joule, il titolo della prova potrebbe essere:  
**Verifica della dissipazione di energia per effetto Joule.**

**2 Obiettivi**

L'obiettivo consiste nel misurare l'energia, sfruttando le conoscenze di calorimetria, che viene dissipata a causa dell'effetto Joule da un resistore attraversato da corrente elettrica e verificare se questa coincide, nei limiti degli errori sperimentali, con il risultato che fornisce l'applicazione della legge di Joule. L'interesse della prova consiste, fra l'altro, nel collegamento tra calorimetria ed elettricità.

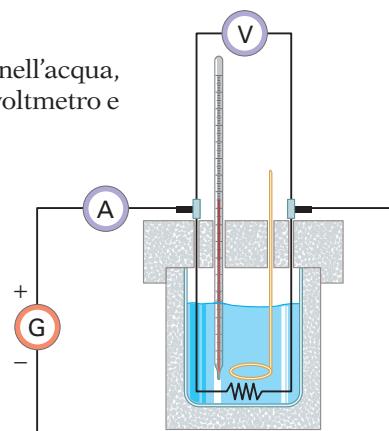
**3a Schema e/o disegno**

Il disegno riproduce un calorimetro il cui resistore interno, immerso nell'acqua, viene collegato a un circuito elettrico dotato di un amperometro, di un voltmetro e di un alimentatore in corrente continua (vedi figura 1).

**3b Materiale e strumenti**

Il materiale e gli strumenti di misura necessari sono:

- calorimetro (con resistore interno);
- cavi di collegamento;
- generatore di corrente;
- cronometro;
- termometro;
- amperometro e voltmetro.



**Figura 1**

**4 Contenuti teorici**

La legge di Joule e i concetti a essa collegati (potenza, intensità di corrente elettrica, d.d.p., resistenza...) costituiscono gli elementi di base della prova. A questi puoi aggiungere il richiamo ai concetti di calorimetria, nella fattispecie l'equazione fondamentale della calorimetria.

## 5 Descrizione della prova

Da una parte determini l'energia dissipata  $E_d$  utilizzando la legge di Joule ( $E_d = P \cdot t = \Delta V \cdot I \cdot t$ ), mentre dall'altra calcoli il calore assorbito dall'acqua ( $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ ). Se non ci sono dispersioni, dovrai constatare che:

$$V \cdot I \cdot t = m \cdot c \cdot \Delta T$$

- Dopo aver messo l'acqua (della quale è stata preventivamente misurata la massa) nel calorimetro, in modo tale da coprire il resistore al suo interno, chiudi il calorimetro e posiziona il termometro nell'apposito foro.
- Assicurandoti che il generatore sia spento, collega il resistore al generatore, disponendo rispetto a esso un amperometro in serie e un voltmetro in parallelo.
- Fatto questo, chiudi il circuito e fai partire il cronometro. Leggi poi i valori sia della intensità di corrente (amperometro) sia della differenza di potenziale (voltmetro).
- Attendi un tempo sufficiente, dell'ordine anche dei 30 min, affinché la temperatura dell'acqua all'interno del calorimetro aumenti significativamente. Una volta fermato il cronometro e contemporaneamente rilevata la temperatura dell'acqua (dopo averla rimescolata con il miscelatore facendo inoltre attenzione che il bulbo del termometro non vada a contatto con il resistore), la fase esecutiva della prova è terminata.

## 6 Raccolta dei dati

Ecco a titolo esemplificativo alcuni dati campione.

acqua	resistore
massa: $m = (0,4636 \pm 0,0002) \text{ kg}$	intensità di corrente elettrica: $I = (1,75 \pm 0,05) \text{ A}$
calore specifico: $c = (4186 \pm 1) \text{ J/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$	differenza di potenziale: $\Delta V = (13,5 \pm 0,5) \text{ V}$
temperatura iniziale: $T_1 = (18,2 \pm 0,2) \text{ }^\circ\text{C}$	intervallo di tempo: $t = (1766 \pm 1) \text{ s}$
temperatura finale: $T_2 = (40,0 \pm 0,2) \text{ }^\circ\text{C}$	

## 7 Elaborazione

Come anticipato prima, a questo punto determini l'energia dissipata ricorrendo alla legge di Joule:

$$E_d = \Delta V \cdot I \cdot t = \dots$$

Quindi, calcoli l'energia termica effettivamente assorbita dall'acqua:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1) = \dots$$

(Eventualmente puoi determinare sia di  $E_d$  sia di  $Q$  le corrispondenti incertezze tramite le leggi di propagazione degli errori riportate nell'[help 1](#).)

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Valuti se i valori trovati di  $E_d$  e di  $Q$  sono sufficientemente vicini, in modo da poter dire se l'esito dell'esperimento è positivo oppure no. (Se hai calcolato le incertezze, in questo caso fai la verifica della compatibilità tra i due intervalli di indeterminazione di  $E_d$  e di  $Q$ .)

Gli elementi che possono condizionare la prova sono:

- dispersioni termiche nel calorimetro;
- termometro eccessivamente vicino al resistore.

### help 1

Per trovare le incertezze, si possono utilizzare le seguenti formule:

$$\Delta x(E_d) = \left[ \frac{\Delta x(\Delta V)}{\Delta V} + \frac{\Delta x(I)}{I} + \frac{\Delta x(t)}{t} \right] \cdot E_d \quad \text{e} \quad \Delta x(Q) = \left[ \frac{\Delta x(m)}{m} + \frac{\Delta x(c)}{c} + \frac{\Delta x(T_1) + \Delta x(T_2)}{T_2 - T_1} \right] \cdot Q$$

# 30

# Resistori in serie e in parallelo

## PREREQUISITI

Per affrontare la prova devi sapere:

- Significato, definizione e unità di misura di:
  - intensità di corrente elettrica
  - differenza di potenziale
  - resistenza elettrica
- Che cosa significa collegamento in serie e in parallelo di componenti elettrici
- Come si utilizzano l'amperometro e il voltmetro
- Come si calcola la resistenza equivalente nel caso di collegamenti in serie e in parallelo di resistori

## 1 Titolo

Il titolo di questa prova, che prende in esame due possibili verifiche, può essere: **Resistenze in serie e in parallelo**.

## 2 Obiettivi

La finalità dell'esperienza di laboratorio consiste nel valutare la validità delle formule che forniscono la resistenza equivalente relativa a resistori collegati fra loro in serie oppure in parallelo.

## 3a Schema e/o disegno

Nella figura 1 sono riportati gli schemi elettrici delle due situazioni che vogliamo studiare. (Ormai dovrebbe essere chiaro come questi si traducano in circuiti elettrici reali.)

## 3b Materiale e strumenti

Il materiale utilizzato è:

- resistori (almeno due);
- cavi di collegamento;
- generatore;
- amperometro;
- voltmetro.

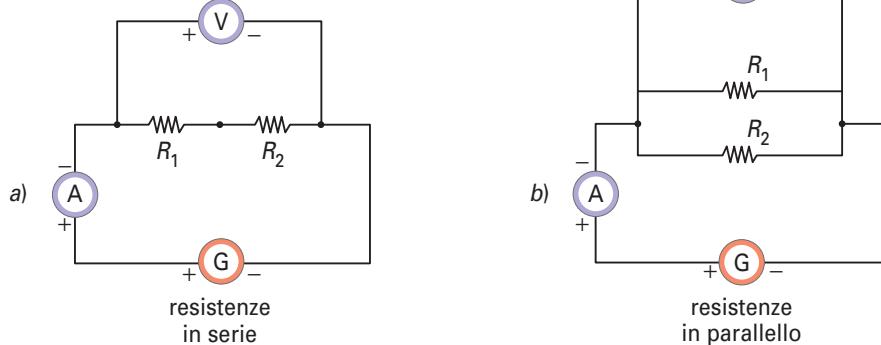


Figura 1

## 4 Contenuti teorici

Devi esporre concisamente che cosa si intende per collegamento in serie e in parallelo e quali sono le regole per determinare la resistenza equivalente che corrisponde a un gruppo di resistori connessi fra loro secondo le due modalità.

## 5 Descrizione della prova

Dal punto di vista esecutivo, la prova non dovrebbe presentare particolari difficoltà, in quanto le operazioni sono le stesse che hai già effettuato nelle esperienze precedenti, in particolare quella sulla verifica della prima legge di Ohm. E del resto, il fatto di avere più resistenze in serie, ovvero più resistenze in parallelo, non corrisponde a una reale novità, nel senso che hai già appreso a collegare in tale maniera i due strumenti di misura: l'amperometro, che va disposto in serie nel circuito, e il voltmetro, che invece deve essere messo in parallelo con il resistore ai capi del quale si vuole misurare la d.d.p.

Analogamente, rimangono le stesse anche le raccomandazioni relative alla prudenza con cui vanno eseguite le varie misurazioni.

Procedi preventivamente alla misurazione delle resistenze  $R_1$  ed  $R_2$  (qui ne immaginiamo due), anche se probabilmente sui resistori è indicato il valore nominale del costruttore. Per fare questo, utilizzerai il circuito illustrato nella *Scheda 28*, semplificando però la procedura a una sola misurazione per ciascuna resistenza. Supponiamo che i valori in questione siano quelli riportati nelle colonne 1 e 3 delle righe corrispondenti a  $R_1$  ed  $R_2$  della tabella 1, alla pagina seguente.

Dopodiché, collega i due componenti in serie, rilevando il valore della corrente che li attraversa e la d.d.p. ai capi della serie. Quindi, disponili in parallelo e, di nuovo, effettua la misurazione sia dell'intensità di corrente elettrica sia della differenza di potenziale. Come puoi vedere dalla tabella 1, noi abbiamo preferito imporre ogni volta il medesimo valore della tensione  $\Delta V$ .

In sintesi, le istruzioni sono le seguenti.

### Parte I: resistenze in serie

a) Monta il circuito (ma senza effettuare ancora il collegamento con il generatore), seguendo lo schema elettrico di figura 1a.

Ti facciamo notare che l'uscita del primo resistore devi collegarla con un cavetto all'ingresso del secondo e che il voltmetro devi metterlo in parallelo con l'insieme dei due elementi, vale a dire: l'ingresso (+) dello strumento è collegato con l'ingresso di  $R_1$ , mentre la sua uscita è connessa con l'uscita di  $R_2$ , la quale va al polo negativo del generatore.

b) Alimenta il circuito con il generatore fino a raggiungere nel voltmetro il valore della d.d.p. desiderato, riportandolo con la rispettiva incertezza nelle colonne 1 e 2 della penultima riga, quella con  $R_e$  (serie), in tabella 1.

c) Leggi sull'amperometro il valore dell'intensità di corrente e la sua incertezza, inserendoli nelle colonne 3 e 4 della stessa riga della tabella.

d) Apri il circuito.

Questa parte è conclusa.

### Parte II: resistenze in parallelo

a) Completa il circuito (ma senza effettuare ancora il collegamento con il generatore), seguendo lo schema elettrico di figura 1b.

Questa volta bisogna che colleghi fra loro gli ingressi dei due resistori, così come le rispettive uscite. Il voltmetro, di conseguenza, è in parallelo sia con  $R_1$  sia con  $R_2$ .

b) Alimenta il circuito con il generatore fino a raggiungere nel voltmetro il valore della d.d.p. desiderato, riportandolo con la corrispondente incertezza nelle colonne 1 e 2 dell'ultima riga, quella con  $R_e$  (parallelo), in tabella 1.

c) Leggi sull'amperometro il valore dell'intensità di corrente e la sua incertezza, inserendoli nelle colonne 3 e 4 della stessa riga della tabella.

d) Apri il circuito.

In questo modo la fase operativa è terminata.

## 6 Raccolta dei dati

La tabella che segue riassume le misure delle resistenze dei singoli resistori e, quindi, quelle relative al loro collegamento dapprima in serie e poi in parallelo.

I valori riguardano dei dati campione.

**Tabella 1**

lettura resistenze	1 $\Delta V$ (V)	2 $\Delta x(\Delta V)$ (V)	3 $I$ (A)	4 $\Delta x(I)$ (A)	5 $R = \Delta V/I$ ( $\Omega$ )	6 $\Delta x(R)$ ( $\Omega$ )
$R_1$	2,50	0,05	0,155	0,005	16,1	0,9
$R_2$	2,50	0,05	0,110	0,005	23	2
$R_e$ (serie)	2,50	0,05	0,065	0,005	38	4
$R_e$ (parallelo)	2,50	0,05	0,240	0,005	10,4	0,5

## 7 Elaborazione

Con  $R_e$  indichiamo la resistenza equivalente sperimentale, mentre quella teorica, che ricaveremo con il calcolo a partire da  $R_1$  ed  $R_2$ , la indichiamo con  $R_{eT}$ .

### Valori sperimentali

Utilizzando la prima legge di Ohm, puoi ottenere i valori delle resistenze riportate nella colonna 5 della tabella 1:

$$R_1 = \frac{\Delta V}{I} = \frac{2,50}{0,155} = 16,12903 \cong 16,1 \Omega$$

e così via...

(Il procedimento per individuare le incertezze della colonna 6 lo trovi nell'[help 1](#).)

### Valori teorici

A partire dai dati presenti in tabella 1 delle due resistenze  $R_1$  ed  $R_2$ , devi calcolare i valori teorici (cioè determinati in base alle formule) delle resistenze equivalenti sia per la serie sia per il parallelo:

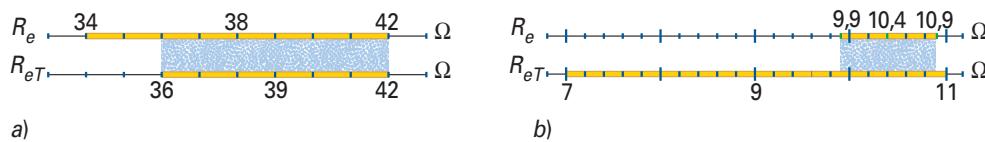
$$\text{serie} \quad R_{eT} = R_1 + R_2 = 16,1 + 23 = 39,1 \cong 39 \Omega$$

$$\text{parallelo} \quad R_{eT} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{16,1 \cdot 23}{16,1 + 23} = 9,47059 \cong 9 \Omega$$

(Per determinare le incertezze, se ti vengono richieste, puoi fare riferimento all'[help 2](#) per la serie e all'[help 3](#) per il parallelo.)

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

A questo punto, puoi confrontare i risultati sperimentali con quelli teorici, giudicandoli soddisfacenti o meno in base alla loro vicinanza, oppure, se hai calcolato le incertezze, sulla base della compatibilità degli intervalli di indeterminazione (come illustrato in figura 2).



**Figura 2** a) Confronto fra  $R_e$  ed  $R_{eT}$  nel collegamento in serie; b) confronto fra  $R_e$  ed  $R_{eT}$  nel collegamento in parallelo.

Un eventuale riscontro negativo può essere imputato, per esempio, a:

- instabilità nell'alimentazione elettrica;
- riscaldamento dei componenti;
- contatti non ottimali ecc.

### help 1

Trattandosi di un rapporto, si moltiplica la somma degli errori relativi di  $\Delta V$  e  $I$  per il valore di  $R$ :

$$\Delta x(R) = \left[ \frac{\Delta x(\Delta V)}{\Delta V} + \frac{\Delta x(I)}{I} \right] \cdot R = \left[ \frac{0,05}{2,50} + \frac{0,005}{0,155} \right] \cdot 16,12903 = 0,84290 \cong 0,9 \Omega$$

### help 2

Nel caso della somma, puoi trovare direttamente l'incertezza:

$$\Delta x(R_{eT}) = \Delta x(R_1) + \Delta x(R_2) = 0,9 + 2 = 2,9 \cong 3 \Omega$$

### help 3

Se in precedenza hai applicato più volte le leggi di propagazione degli errori, allora il seguente calcolo dovrebbe risultarti comprensibile:

$$\Delta x(R_{eT}) = \left[ \frac{\Delta x(R_1)}{R_1} + \frac{\Delta x(R_2)}{R_2} + \frac{\Delta x(R_1) + \Delta x(R_2)}{R_1 + R_2} \right] \cdot R_{eT} = \left[ \frac{0,9}{16,1} + \frac{2}{23} + \frac{0,9 + 2}{16,1 + 23} \right] \cdot 9,47059 = 2,05540 \cong 2 \Omega$$

**PREREQUISITI**

Per affrontare la prova devi sapere:

- Effettuare misurazioni con l'amperometro e con il voltmetro
- Che cosa sono la d.d.p. e l'intensità di corrente elettrica
- Significato, definizione e unità di misura della resistenza e della resistività
- Enunciati della prima e della seconda legge di Ohm

**1 Titolo**

Trattandosi di una prova che può essere affrontata da diversi punti di vista, la possiamo intitolare genericamente: **Verifica della seconda legge di Ohm**.

**2 Obiettivi**

Lo scopo consiste nel verificare la dipendenza della resistenza di un conduttore metallico filiforme dalla lunghezza, dalla sezione e dal tipo di materiale.

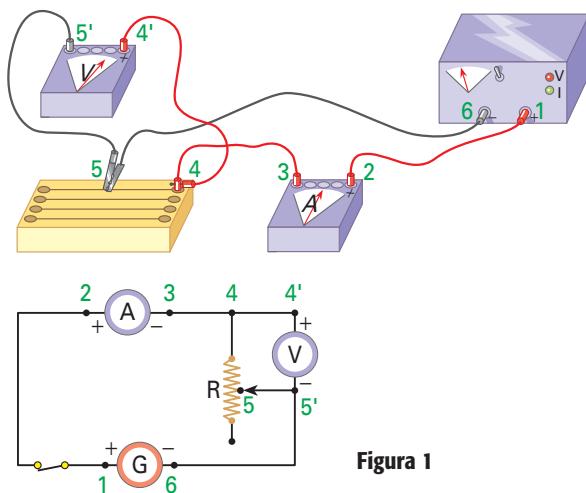
**3a Schema e/o disegno**

Nella figura 1 sono riprodotti sia il disegno del dispositivo sia lo schema elettrico corrispondente.

**3b Materiale e strumenti**

Il materiale utilizzato è:

- supporto con fili di diverso materiale e diverso diametro;
- cavi di collegamento (tra cui uno con pinzetta a *coccodrillo*);
- asta millimetrata e micrometro;
- generatore;
- amperometro;
- voltmetro.



**Figura 1**

**4 Contenuti teorici**

In questa sezione esporrai la seconda legge di Ohm, cercando di evidenziarne i vari aspetti, vale a dire la diretta proporzionalità della resistenza del conduttore rispetto alla lunghezza (mantenendo costanti materiale e sezione), l'inversa proporzionalità rispetto alla sezione (con materiale e lunghezza invariati) e, infine, la dipendenza dal materiale (a parità di lunghezza e di sezione). In particolare, è importante sottolineare perché da un punto di vista microscopico nei tre casi appena esposti la resistenza cambi.

## 5 Descrizione della prova

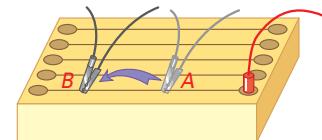
Il circuito elettrico, in tutto simile a quello utilizzato per la verifica della prima legge di Ohm, a parte la sostituzione del resistore con il supporto di fili metallici, deve essere montato senza che sia collegato al generatore. Prima di alimentarlo, è bene controllare ulteriormente la correttezza della disposizione dei vari elementi. Durante le modifiche è opportuno aprire il circuito con l'interruttore ed estrarre gli spinotti dal generatore. Per evitare che si possa avere un riscaldamento eccessivo dei componenti, nell'eventualità che tra una lettura e l'altra trascorra un tempo elevato, si interrompe il passaggio di corrente tramite l'interruttore del generatore.

Procediamo alla verifica della legge regolando, tramite la manopola del generatore, la d.d.p. in ingresso al circuito (comprendente uno dei fili metallici del supporto) e, quindi, andando a leggere sull'amperometro e sul voltmetro (collegati rispettivamente in serie e in parallelo con il filo in esame) i valori della  $I$  e della  $\Delta V$ .

### Parte I: variazione della resistenza con la lunghezza

- Monta il circuito (ma senza effettuare ancora il collegamento con il generatore), seguendo lo schema elettrico di figura 1. La differenza rispetto alla prova del modulo precedente consiste nella sostituzione del resistore con il filo del materiale prescelto: per esempio, costantana con diametro fisso di  $(0,50 \pm 0,01)$  mm rilevato con un micrometro.
- Serra la pinzetta a coccodrillo del cavo di collegamento (che poi va all'uscita del voltmetro e quindi al polo negativo del generatore), in modo tale che la parte di filo interessata tra la boccola d'ingresso e la pinzetta sia lunga 20 cm (fig. 1).
- Fai controllare il tuo circuito all'insegnante e, in caso di parere favorevole, connetti il circuito al generatore, inserendo gli spinotti lasciati liberi nei poli positivo e negativo.
- Metti l'interruttore del generatore in posizione *on*: si illumina un led a indicare che il circuito è collegato (cioè **chiuso**).
- Ruota lentamente la manopola della tensione sul pannello del generatore. Vedrai l'indice dell'amperometro e del voltmetro muoversi, rivelando una tensione ai capi del tratto di filo e la corrente che vi circola.
- Effettua la lettura sia della d.d.p. sia dell'intensità di corrente e riporta i dati nella tabella 1.
- Apri il circuito (interruttore su *off*).
- Per raddoppiare la lunghezza del tratto di conduttore, sposta la pinzetta a 40 cm (vedi dettaglio in figura 2).
- Posiziona la manopola del generatore a zero e metti l'interruttore su *on*.
- Aumenta la tensione, riportandola possibilmente al valore della lettura precedente, e leggi il nuovo valore dell'intensità di corrente.
- Ripeti le misurazioni con una lunghezza di 60 cm ecc...

Questa parte è conclusa.

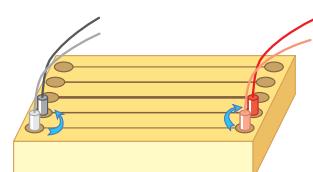


**Figura 2**

### Parte II: variazione della resistenza con la sezione

Le modalità operative e i criteri di sicurezza sono identici a quelli della fase appena conclusa. Adesso devi mantenere costante la lunghezza del filo (per esempio, tutta l'estensione del supporto che può essere di 1 m) e il tipo di materiale (nel nostro caso, costantana). Per cambiare la sezione è sufficiente che nel tuo circuito di volta in volta sposti i contatti su un filo di diametro differente, che puoi rilevare per mezzo del micrometro (fig. 3).

- Monta il circuito, seguendo lo schema elettrico di figura 1 (usando il filo di diametro minore).
- Ripeti le operazioni della prima parte dal punto *c* al punto *f* e trascrivi le letture nella tabella 2.
- Apri il circuito.
- Collega al circuito il filo dello stesso materiale ma di diametro intermedio, avente cioè sezione maggiore rispetto a quello utilizzato poc'anzi.



**Figura 3**

- e) Posiziona la manopola del generatore a zero e metti l'interruttore su *on*.  
f) Aumenta la tensione, riportandola possibilmente al valore corrispondente alla lettura precedente, e leggi il nuovo valore dell'intensità di corrente.  
g) Ripeti la procedura per il filo a disposizione più grosso del medesimo materiale.

Anche la seconda parte è conclusa.

### Parte III: variazione della resistenza con il materiale

Nell'ultima parte della prova si tratta di inserire nel circuito fili che hanno la stessa lunghezza e la stessa sezione, ma che sono fatti di materiali diversi. Quindi, dal punto di vista pratico, non cambia nulla rispetto alla seconda parte, per cui dovresti essere in grado di procedere autonomamente. Riporta i dati in una tabella analoga alla 3.

La fase operativa è finalmente conclusa. Adesso ti aspetta l'elaborazione numerica e, se richiesta dal docente, quella grafica.

## 6 Raccolta dei dati

Le tabelle che seguono sono relative rispettivamente all'andamento della resistenza  $R$  in funzione della lunghezza  $l$ , della sezione  $S$  e del materiale dei fili. I dati campione sono messi a titolo d'esempio e sono stati ottenuti con strumenti analogici.

**Tabella 1**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	$\ell$ (m)	$\Delta x(\ell)$ (m)	$\Delta V$ (V)	$\Delta x(\Delta V)$ (V)	$I$ (A)	$\Delta x(I)$ (A)	$R = \Delta V/I$ ( $\Omega$ )	$R/\ell$ ( $\Omega/m$ )	$\Delta x(R/\ell)$ ( $\Omega/m$ )
<b>costantana</b> $d = (0,50 \pm 0,01) \text{ mm}$	0,200	0,005	0,85	0,05	1,65	0,05	0,52	2,6	0,3
	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...

**Tabella 2**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	$d$ ( $\cdot 10^{-3} \text{ m}$ )	$\Delta x(d)$ ( $\cdot 10^{-3} \text{ m}$ )	$S$ ( $\cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ )	$\Delta V$ (V)	$\Delta x(\Delta V)$ (V)	$I$ (A)	$\Delta x(I)$ (A)	$R = \Delta V/I$ ( $\Omega$ )	$R \cdot S$ ( $\cdot 10^{-6} \Omega \text{m}^2$ )	$\Delta x(R \cdot S)$ ( $\cdot 10^{-6} \Omega \text{m}^2$ )
<b>costantana</b> $\ell = (1,000 \pm 0,005) \text{ m}$	0,35	0,01	0,096	0,85	0,05	0,18	0,02	4,7	0,5	0,1
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

**Tabella 3**

$\ell = (1,000 \pm 0,005) \text{ m}$ $d = (0,50 \pm 0,01) \text{ mm}$	1	3	4	5	6	7	8	9
Materiale	$S$ ( $\cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ )	$\Delta V$ (V)	$\Delta x(\Delta V)$ (V)	$I$ (A)	$\Delta x(I)$ (A)	$R = \Delta V/I$ ( $\Omega$ )	$\rho = R \cdot S/\ell$ ( $\cdot 10^{-8} \Omega \text{m}$ )	$\Delta x(\rho)$ ( $\cdot 10^{-8} \Omega \text{m}$ )
<b>costantana</b>	0,196	0,85	0,05	0,34	0,02	2,5	49	8
<b>nichel-cromo</b>	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...

## 7 Elaborazione

### I calcoli

Per quanto riguarda l'esecuzione dei calcoli, le tabelle indicano chiaramente il tipo di operazione che va eseguito. Qui ci limitiamo a osservare che:

- per verificare la diretta proporzionalità fra  $R$  ed  $l$ , è necessario che il rapporto  $R/l$ , nei limiti degli errori sperimentali, resti costante;
- per verificare l'inversa proporzionalità fra  $R$  ed  $S$ , deve essere all'incirca costante il prodotto (anziché il rapporto) fra le due grandezze, cioè  $R \cdot S$ ;
- i valori delle resistività trovati per i vari materiali disponibili possono essere confrontati con quelli tabulati.

Per il calcolo delle incertezze di colonna 9 tabella 1, colonna 10 tabella 2 e colonna 9 tabella 3, puoi basarti rispettivamente su [help 1](#), [help 2](#) ed [help 3](#).

### I grafici

Puoi tracciare due grafici, corrispondenti alle tabelle 1 e 2. Analogamente a quanto illustrato nelle figure 4 e 5, dovresti ottenere una retta per il grafico ( $R, l$ ) e un ramo di iperbole per quello ( $R, S$ ). Ricordati di riportare i punti con i rispettivi intervalli di indeterminazione, i quali nel piano danno luogo a piccoli rettangoli, la cui ampiezza dipenderà dalla scala scelta sulla carta millimetrata.

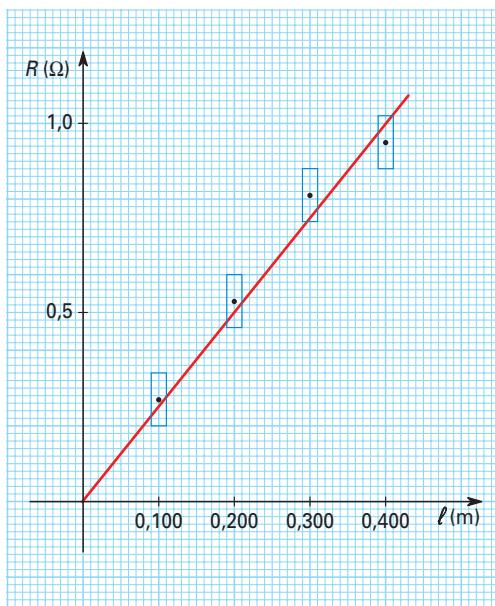


Figura 4

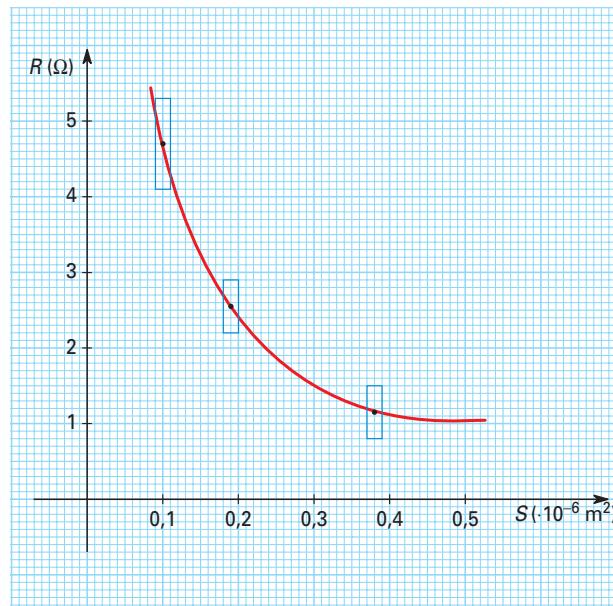


Figura 5

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

I risultati della prova in merito alle prime due parti vengono valutati in base alla vicinanza dei valori trovati ( $R/l$  in un caso e  $R \cdot S$  nell'altro); oppure, se sono state calcolate le incertezze, verificando la compatibilità degli intervalli di indeterminazione. Le resistività dei vari materiali, a loro volta, dovranno essere confrontate con quelle tabulate.

Possibili problemi potrebbero essere provocati dal contatto non ottimale tra filo e pinza a coccodrillo, dalle instabilità della rete elettrica, dal surriscaldamento dei componenti...

**help 1**

Ti conviene effettuare il calcolo dell'incertezza di  $R/l$  direttamente, senza soffermarti sulla scrittura di  $R$ :

$$\frac{R}{l} = \frac{\Delta V}{I \cdot l}$$

$$\begin{aligned}\Delta x(R/l) &= \left[ \frac{\Delta x(\Delta V)}{\Delta V} + \frac{\Delta x(I)}{I} + \frac{\Delta x(l)}{l} \right] \cdot \frac{R}{l} = \left[ \frac{0,05}{0,85} + \frac{0,05}{1,65} + \frac{0,005}{0,200} \right] \cdot 2,57576 = \\ &= 0,11412 \cdot 2,57576 = 0,29395 \cong 0,3 \Omega/m\end{aligned}$$

**help 2**

È meglio calcolare direttamente l'incertezza di  $R \cdot S$ , senza soffermarti sulla scrittura di  $S$  ed  $R$ :

$$R \cdot S = \frac{\Delta V}{I} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

$$\begin{aligned}\Delta x(R \cdot S) &= \left[ \frac{\Delta x(\Delta V)}{\Delta V} + \frac{\Delta x(I)}{I} + 2 \cdot \frac{\Delta x(d)}{d} \right] \cdot (R \cdot S) = \left[ \frac{0,05}{0,85} + \frac{0,02}{0,18} + 2 \cdot \frac{0,01}{0,35} \right] \cdot 0,45433 \cdot 10^{-6} = \\ &= 0,22707 \cdot 0,45433 \cdot 10^{-6} = 0,10316 \cdot 10^{-6} \cong 0,1 \cdot 10^{-6} \Omega m^2\end{aligned}$$

**help 3**

Anche per la resistività  $\rho$ , puoi semplificare i passaggi per giungere alla sua incertezza:

$$\rho = R \cdot \frac{S}{l} = \frac{\Delta V}{I} \cdot \frac{\frac{\pi}{4} \cdot d^2}{l}$$

$$\begin{aligned}\Delta x(\rho) &= \left[ \frac{\Delta x(\Delta V)}{\Delta V} + \frac{\Delta x(I)}{I} + \frac{\Delta x(l)}{l} + 2 \cdot \frac{\Delta x(d)}{d} \right] \cdot \rho = \\ &= \left[ \frac{0,05}{0,85} + \frac{0,02}{0,34} + \frac{0,005}{1,000} + 2 \cdot \frac{0,01}{0,50} \right] \cdot 49,08739 \cdot 10^{-8} = 0,16264 \cdot 49,08739 \cdot 10^{-8} = \\ &= 7,98357 \cdot 10^{-8} \cong 8 \cdot 10^{-8} \Omega m\end{aligned}$$

**PREREQUISITI** Per affrontare la prova devi sapere:

- Come si comporta una calamita e che cosa si intende per polarità
- Concetto generale di campo
- Significato dell'intensità di corrente elettrica e sua unità di misura

**1 Titolo**

Dato che abbiamo a che fare con un approccio introduttivo inerente ad alcuni fenomeni magnetici, genericamente intitoliamo la prova: **I campi magnetici**.

**2 Obiettivi**

Vogliamo valutare l'interazione tra i magneti e visualizzare le linee di forza del loro campo magnetico. Dopodiché, passiamo a studiare gli effetti magnetici provocati dal passaggio della corrente elettrica nei fili rettilinei.

**3a Schema e/o disegno**

I disegni che devi riprodurre sono principalmente quelli relativi alle linee di forza, per cui puoi fare riferimento alle figure 3, 4 e 6.

**3b Materiale e strumenti**

Il materiale necessario è il seguente:

- ago magnetico, magneti di diverse forme, limatura di ferro;
- ripiano di vetro (da collocare possibilmente sulla lavagna luminosa per proiettare le immagini sulla parete);
- filo rettilineo con ripiano fisso perpendicolare;
- generatore e cavi di collegamento.

**4 Contenuti teorici**

Presentando la prova, puoi parlare del concetto di campo magnetico – se è il caso, confrontandolo con il campo elettrico e con quello gravitazionale. È opportuno mettere in evidenza che tale tipo di campo viene prodotto sia tramite le calamite, ma anche attraverso le correnti elettriche.

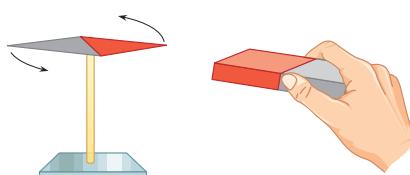
## 5-6-7 Descrizione della prova, raccolta dei dati, elaborazione

Non ci sono dati da elaborare. Devi concentrarti su ciò che osservi e cercare di capire le caratteristiche dei fenomeni magnetici.

### Parte I: i magneti

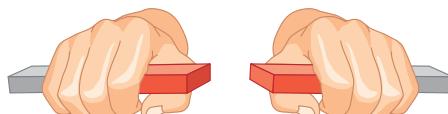
Studiamo l'interazione tra alcune calamite e, in modo qualitativo, le linee di forza dei campi magnetici da esse generati.

- Disponi un ago magnetico su una punta verticale e, assicurandoti che sia lontano da altri magneti, aspetta che raggiunga la posizione di equilibrio. Qual è la parte che indica il Nord?
- Avvicina all'ago una calamita a forma di sbarra (fig. 1), prima secondo un'estremità e poi secondo l'altra, e osserva il comportamento dell'ago magnetico.



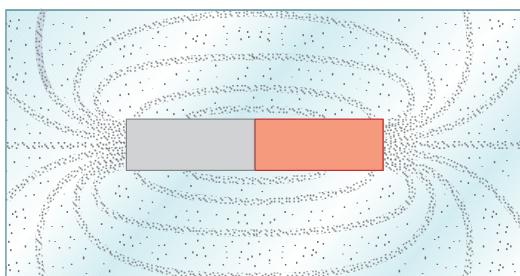
**Figura 1**

- Tenendo ferma la calamita, muovi attorno a essa l'ago, facendo ogni volta attenzione a come si dispone quando si ferma.
- Prendi due calamite a forma di sbarra e, tenendole in mano, avvicinali per le rispettive estremità nei vari modi possibili, cercando di valutare come interagiscono ogni volta (fig. 2).

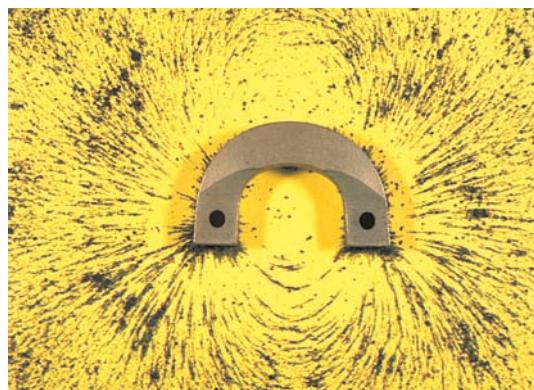


**Figura 2**

- Spargi su un vetro tenuto orizzontalmente un po' di limatura di ferro. Noti delle linee particolari?
- Appoggia adesso il vetro su una calamita a forma di sbarra, sempre facendo in modo che rimanga orizzontale.
- Dai qualche colpetto al vetro e osserva come si dispone la limatura di ferro.
- Disegna schematicamente in un foglio quello che vedi (dovrebbe essere analogo a quanto illustrato in figura 3).
- Dopo aver recuperato la limatura e pulito il vetro, ripeti la prova con una calamita di forma diversa (per esempio, a forma di U come in figura 4).
- Disegna la disposizione della limatura, in particolare nella zona compresa tra i due tratti paralleli.



**Figura 3**



**Figura 4**

**Completa le frasi**

- Tra poli diversi (nord-sud e sud-nord) si osservano forze (attrattive/repulsive) .....
- Tra poli uguali (nord-nord e sud-sud) si osservano forze (attrattive/repulsive) .....
- Le linee di forza vanno dal polo (nord/sud) ..... al polo (nord/sud) .....

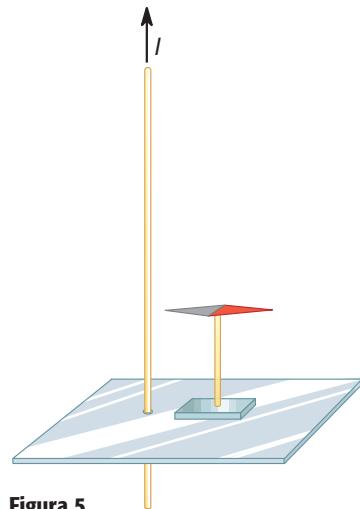
**Parte II: il campo magnetico delle correnti elettriche**

Passiamo a esaminare il magnetismo prodotto dalle correnti elettriche.

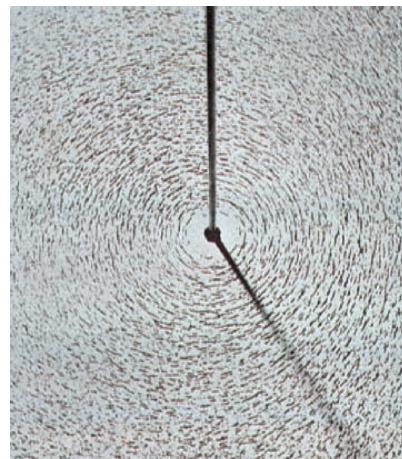
- A un filo rettilineo di materiale conduttore disposto verticalmente, non attraversato da corrente elettrica, avvicina un ago magnetico (fig. 5), in maniera tale per cui l'ago stesso si posiziona in direzione radiale rispetto a esso (vale a dire, uno dei due poli dell'ago punta verso il filo).
- Fai passare la corrente elettrica. Che cosa fa l'ago magnetico?
- Su un piano orizzontale disposto perpendicolarmente al filo rettilineo (fig. 6) spargi della limatura di ferro. Si formano delle linee?
- Fai circolare nel filo la corrente elettrica e dai qualche colpetto al piano. Che cosa fa in questo caso la limatura?
- In due fili rettilinei paralleli a distanza di pochi millimetri l'uno dall'altro, fai passare la corrente elettrica, dapprima nello stesso verso e poi in verso opposto. Che cosa succede nei due casi?

**Completa le frasi**

- Un filo elettrico attraversato da ..... produce un campo ..... come testimonia la circostanza che un ..... posto nelle sue vicinanze modifica il proprio orientamento.
- Attorno a un filo elettrico rettilineo attraversato da ..... si forma un campo ..... le cui linee di ..... sono costituite da (circonferenze/raggi) ..... con centro nel filo stesso.
- Tra due fili rettilinei paralleli attraversati da ..... si registra una forza repulsiva quando il verso delle ..... è (lo stesso/opposto) ..... attrattiva quando il verso delle ..... è (lo stesso/opposto) .....



**Figura 5**



**Figura 6**

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Se per caso hai approfondito l'origine del magnetismo, puoi cercare di spiegare le ragioni fisiche che accomunano un magnete a una corrente elettrica, secondo quanto emerge da questa prova. Altrimenti, puoi brevemente riassumere quanto già rilevato completando le frasi e mettere in rilievo una caratteristica che è tipica delle linee di forza dei campi magnetici, che le distingue nettamente dalle linee di forza dei campi elettrici...

**PREREQUISITI**

Per affrontare la prova devi sapere:

- Modalità di elaborazione di una serie di misure
- Che cos'è un vettore e come si effettua la somma vettoriale
- Significato, definizione e unità di misura di:
  - intensità di corrente elettrica
  - intensità di campo magnetico
- Come si utilizza l'amperometro
- Espressione dell'intensità di campo magnetico di un solenoide

## 1 Titolo

Questa prova è intitolata: **Misurazione del campo magnetico terrestre**.

## 2 Obiettivi

L'obiettivo è quello di giungere a una valutazione di massima del valore locale (cioè del luogo in cui si trova il laboratorio!) del modulo dell'intensità di campo magnetico terrestre.

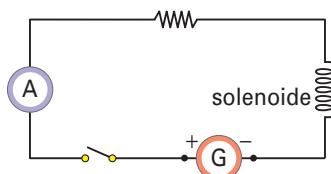
## 3a Schema e/o disegno

In figura 1 è mostrato lo schema del circuito elettrico da utilizzare, nel quale l'unico elemento di novità è il solenoide, all'interno del quale andrà posizionata una bussola.

## 3b Materiale e strumenti

Il materiale utilizzato è:

- bussola;
- solenoide con base;
- resistore;
- cavi di collegamento;
- generatore;
- amperometro;
- goniometro;
- metro a nastro.



**Figura 1**

## 4 Contenuti teorici

I fondamenti teorici del nostro esperimento risiedono nelle caratteristiche generali dei fenomeni magnetici e negli effetti magnetici delle correnti elettriche. Dovrai in particolare focalizzare l'attenzione sul campo magnetico all'interno di un solenoide attraversato da corrente elettrica e sul magnetismo terrestre.

## 5 Descrizione della prova

Dal momento che dovremo fare ricorso a un circuito elettrico, devi osservare tutte le cautele indispensabili in tali situazioni, per cui non attiverai il generatore fino a quando non avrai controllato attentamente tutti i collegamenti.

Come sai, l'ago della bussola indica il polo Nord terrestre. Tuttavia, se si mette la bussola all'interno di un solenoide e in quest'ultimo si fa passare la corrente, l'ago magnetico risulterà essere sottoposto, oltre che al campo magnetico della Terra ( $\vec{B}_T$ ), anche a quello che è presente tra le spire del solenoide ( $\vec{B}_S$ ). Perciò, dal punto di vista operativo è opportuno mettere la bussola in modo tale che il suo ago risulti inizialmente, quando non vi è ancora corrente, perpendicolare all'asse del solenoide (fig. 2).

Dopodiché, si regola la corrente elettrica, aumentandola fino a quando l'ago magnetico forma un angolo di  $45^\circ$  rispetto alla direzione iniziale (fig. 3a). Per raggiungere la posizione finale di equilibrio occorre che i due campi magnetici abbiano uguale intensità (fig. 3b).

Di conseguenza, dato che è possibile calcolare il modulo dell'intensità di campo magnetico  $\vec{B}_S$  relativa al solenoide con la nota formula:

$$B_S = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{l}$$

riusciamo a conoscere il valore del campo magnetico terrestre, essendo in modulo  $B_T = B_S$ . Controlleremo il risultato, invertendo il senso della corrente e ripetendo la misurazione.

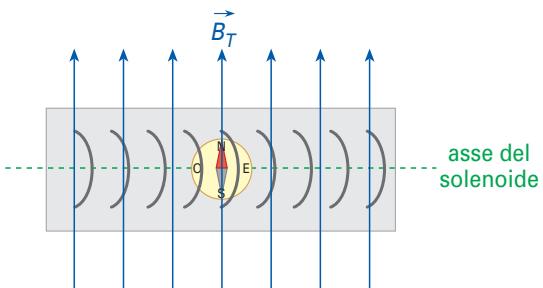


Figura 2

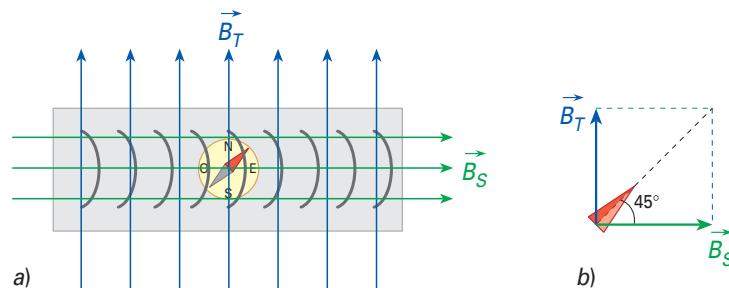


Figura 3

Passiamo all'esecuzione della prova.

- Conta il numero di spire  $N$  del solenoide, riportandolo nella colonna 1 di una tabella (vedi pag. seguente).
- Effettua la misurazione della lunghezza del solenoide in varie posizioni (almeno due) con il metro a nastro, trascrivendole correttamente:  

$$l_1 = (24,8 \pm 0,1) \text{ cm} \quad l_2 = (25,0 \pm 0,1) \text{ cm}$$
- Monta il circuito (ma senza effettuare ancora il collegamento con il generatore), seguendo il disegno riportato in figura 4.
- Colloca, il più centralmente possibile, nella base attorno alla quale si avvolge il solenoide, la bussola (che deve avere dimensioni minori del diametro delle spire).
- Orienta la base, controllando eventualmente con un goniometro, in modo tale che l'ago sia diretto perpendicolarmente all'asse del solenoide (ricorda che la direzione di  $\vec{B}_S$  coincide con l'asse).
- Alimenta il circuito con il generatore e regola la manopola fino a quando l'ago magnetico ha ruotato di  $45^\circ$ , posizionandosi su Nord/Nord-Est.
- Leggi sull'amperometro il valore dell'intensità di corrente e la sua incertezza, inserendoli nelle colonne 4 e 5 relative alla riga I della tabella.
- Apri il circuito: l'ago magnetico torna nella posizione iniziale e indica nuovamente il Nord terrestre.
- Inverti gli spinotti al generatore, in modo tale da poter fare circolare la corrente elettrica nel solenoide in senso inverso.

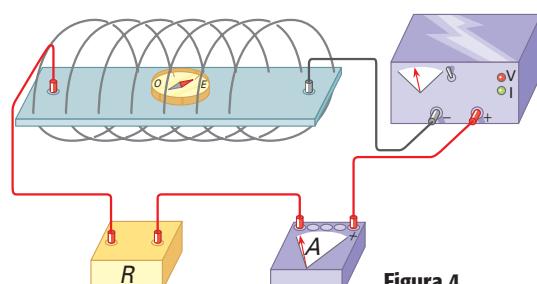


Figura 4

- l) Ricontrolla la perpendicolarità tra l'asse del solenoide e l'ago.  
 m) Ripeti le istruzioni dalla f alla h, tenendo conto che l'ago ruoterà in direzione opposta rispetto a quella precedente, per cui ruotando di  $-45^\circ$  dovrà fermarsi su Nord/Nord-Ovest.

La parte sperimentale vera e propria è terminata.

## 6 Raccolta dei dati

La tabella 1 riportata qui di seguito verrà completata dopo l'elaborazione dei dati, inserendo nella colonna 2 la lunghezza media del solenoide e nella colonna 6 l'intensità del campo magnetico generato dalla corrente all'interno del solenoide. I valori da noi messi nelle caselle sono semplici dati campione. (Le colonne 3 e 7, riguardanti le incertezze, devono essere utilizzate solo su indicazione del docente.)

**Tabella 1**

	1	2	3	4	5	6	7
n. lettura	N	$\ell_M$ (cm)	$\Delta x(\ell)$ (cm)	I (A)	$\Delta x(I)$ (A)	$B_S = \mu_0 N I / \ell$ ( $\cdot 10^{-4}$ T)	$\Delta x(B_S)$ ( $\cdot 10^{-4}$ T)
I	25	24,9	0,1	0,28	0,02	0,35	0,03
II	25	24,9	0,1	0,30	0,02	0,38	0,03

## 7 Elaborazione

Per quanto riguarda la lunghezza  $l$ , ne calcoliamo il valore medio  $l_M$  tra i due valori di  $l_1$  ed  $l_2$ , e lo trascriviamo nella colonna 2:

$$l_M = \frac{l_1 + l_2}{2} = \frac{24,8 + 25,0}{2} = 24,9 \text{ cm}$$

(Per la corrispondente incertezza  $\Delta x(l)$ , nel caso ti venga richiesta, consulta il punto 7 della parte I della Scheda 2.)

A questo punto, possiamo calcolare  $B_S$ . Ricordando che il valore della permeabilità magnetica  $\mu_0$  è  $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$  e che la lunghezza va scritta in metri, abbiamo:

$$B_S = \mu_0 \frac{N \cdot I}{l} = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{25 \cdot 0,28}{0,249} = 353,27 \cdot 10^{-7} = 0,35327 \cdot 10^{-4} \cong 0,35 \cdot 10^{-4} \text{ T}$$

(Per determinare la sua incertezza, utilizzando per  $\pi$  almeno sei cifre significative  $\pi = 3,14159$ , puoi trascurare l'incertezza di  $\mu_0$ , così come di  $N$ . Rimangono solo le incertezze di  $I$  ed  $l$ , cioè di un semplice rapporto...)

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Dato che quando l'angolo dell'ago magnetico è di  $45^\circ$  si ha  $B_T = B_S$ , allora, per valutare la plausibilità dei tuoi risultati, che ovviamente dovrebbero essere vicini fra loro, devi tenere presente che in generale il campo magnetico terrestre assume valori che vanno da  $0,3 \cdot 10^{-4}$  T fino a  $0,7 \cdot 10^{-4}$  T circa.

Se hai fatto uso anche della propagazione degli errori, allora puoi valutare la coerenza fra  $B_S(I)$  e  $B_S(II)$ , tramite la verifica della compatibilità fra i rispettivi intervalli di indeterminazione (come illustrato in figura 5).

I fattori che indubbiamente condizionano la prova sono legati alle seguenti circostanze:

- non vengono valutate le incertezze sugli angoli dell'ago della bussola;
- le spire del solenoide sono piuttosto distanti fra loro, a scapito dell'uniformità del campo magnetico dentro il solenoide;
- abbiamo considerato la permeabilità magnetica del vuoto anziché dell'aria.

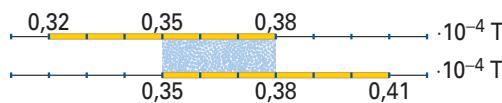


Figura 5

**PREREQUISITI**

Per affrontare la prova devi sapere:

- Quali sono le caratteristiche dei magneti
- Definizione e unità di misura del campo magnetico
- Che cos'è una sostanza ferromagnetica
- Che cosa sono la d.d.p. e l'intensità di corrente elettrica
- Quali sono gli elementi costitutivi del motore elettrico

## 1 Titolo

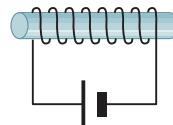
Vedremo due applicazioni legate ai fenomeni magnetici, per cui il titolo è in sostanza un brevissimo elenco: **L'elettrocalamita e il motore elettrico**.

## 2 Obiettivi

Gli obiettivi di questa prova sono quello di costruire una elettrocalamita e osservare come funziona. Quindi, potendo usufruire di un dispositivo assemblato o modificato in laboratorio, valutare i principi che sono alla base del motore elettrico.

## 3a Schema e/o disegno

Per quanto riguarda la prima parte, puoi schematizzare l'elettrocalamita così come riportato in figura 1.



**Figura 1**

## 3b Materiale e strumenti

La prima parte della prova potresti effettuarla anche da solo, infatti ti serve:

- filo elettrico, cilindro di ferro (o bullone di una decina di cm di lunghezza), vari oggetti metallici;
- bussola o ago magnetico;
- pila da 9 V;
- motore elettrico e generatore.

## 4 Contenuti teorici

Per non correre il rischio di essere troppo dispersivo, puoi accennare al solenoide e alle proprietà dei materiali ferromagnetici. In merito al funzionamento del motore elettrico è sufficiente che spieghi in quale maniera una spira si mette in rotazione all'interno di un campo magnetico.

## 5-6-7 Descrizione della prova, raccolta dei dati, elaborazione

La prova è di tipo qualitativo, nel senso che non otteniamo dei dati da elaborare matematicamente. Tuttavia, dovrai completare alcune frasi e rispondere a qualche domanda in modo da sintetizzare quanto da te osservato.

## Parte I: l'eletrocalamita

Sfruttiamo le caratteristiche del campo magnetico del solenoide e delle sostanze ferromagnetiche per sperimentarne una semplice applicazione.

- a) Prendi un bullone abbastanza lungo e verifica che non sia magnetizzato avvicinandolo a degli oggetti metallici, come per esempio dei fermagli: questi ultimi non vengono attirati.
- b) Sul bullone avvolgi un filo di rame ricoperto con materiale isolante e fissalo in prossimità sia della punta sia della testa con del nastro isolante (fig. 2).
- c) Collega le due estremità del filo elettrico al polo positivo e a quello negativo di una pila da 9 volt.
- d) Avvicina adesso il bullone, tenendolo per l'avvolgimento isolato, ai fermagli e sollevali.
- e) Mentre i fermagli sono attaccati al bullone, stacca il filo da uno qualsiasi dei due poli. Che cosa accade?
- f) Disponi il bullone, con il filo non collegato alla pila, su un piano orizzontale vicino a una piccola bussola, possibilmente in modo tale che l'ago magnetico della bussola e il bullone siano all'incirca perpendicolari (fig. 3).
- g) Collega il filo alla pila. Che cosa fa l'ago?
- h) Dopo aver staccato il collegamento dalla pila, estrai il bullone dall'avvolgimento fatto con il filo conduttore, facendo sì che quest'ultimo mantenga la sua forma elicoidale (solenoide).
- i) Ripeti l'azione precedente con la bussola, mettendo il solenoide perpendicolare all'ago magnetico e collegando nuovamente il filo alla pila. Succede qualcosa? Che cosa cambia rispetto a prima?

### Completa le frasi

- Quando nel filo che avvolge il bullone passa la corrente elettrica, il bullone (attira/non attira/respinge) ..... i fermagli metallici a causa del .....
- Quando non passa corrente elettrica, il bullone non è più .....  
.....
- Il fatto che il bullone si comporti come un ..... è dimostrato dal fatto che l'ago della bussola .....
- Il bullone è quindi classificabile come materiale (ferromagnetico/paramagnetico/diamagnetico) .....
- Se all'interno del solenoide non c'è la parte metallica del bullone, l'ago della bussola (si muove/non si muove) ....., da cui si deduce che (c'è/non c'è) ..... un .....



**Figura 2**



**Figura 3**

## Parte II: il motore elettrico

Per questa esperienza devi disporre di un'apparecchiatura, di non complessa realizzazione, analoga a quella riportata nella figura 4.

- a) Collega i morsetti posti sulla base del dispositivo a un generatore tramite due cavetti, accertandoti prima che quest'ultimo sia spento.
- b) Accendi il generatore e ruota in senso orario la manopola, in modo tale da aumentare gradualmente la tensione messa a disposizione e, quindi, la corrente che circola nelle spire del rotore.
- c) Non appena il rotore e la ruota a esso accoppiata si mettono a girare, non aumentare più la tensione e osserva per qualche secondo ciò che accade.

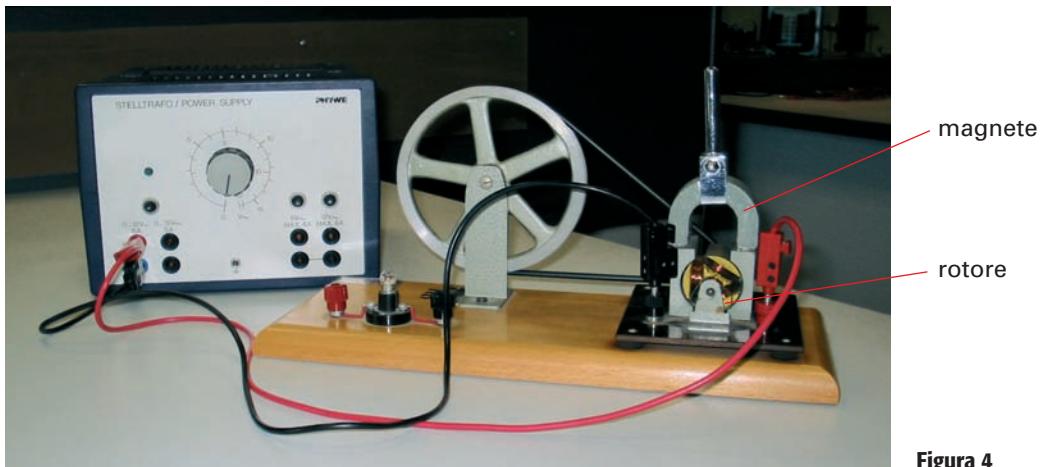


Figura 4

- d) Riporta a zero la manopola del generatore e spegnilo.
- e) Stacca adesso la calamita dai due supporti di materiale ferromagnetico posti attorno al rotore. In questa maniera, tra gli avvolgimenti del rotore non c'è più il campo magnetico della calamita.
- f) Fai nuovamente passare corrente nel circuito. Si muove il rotore?
- g) Azzera la tensione e riposiziona la calamita sui supporti ferromagnetici, però invertendo le polarità, scambiando cioè il polo nord con il sud.
- h) Fai passare corrente. Qual è adesso il senso di rotazione del motorino?
- i) Spegni il generatore. Inverti la polarità elettrica, collegando i morsetti della base del dispositivo al generatore in modo contrario rispetto al caso precedente.
- l) Che cosa succede ora al motore elettrico per quanto riguarda il senso di rotazione?
- m) Spegni il generatore e analizza con particolare attenzione il contatto che porta corrente al rotore e gli avvolgimenti di quest'ultimo.

#### Completa le frasi e rispondi alle domande

- Il motore elettrico trasforma energia ..... in energia .....
- Quando è assente il campo ..... generato dalla calamita, il rotore (si muove/non si muove) ..... in quanto .....
- Questa trasformazione energetica avviene grazie all'interazione tra .....  
.....
- Quando si inverte la polarità della calamita utilizzata nel motore elettrico, il rotore (si ferma/gira nello stesso senso/gira in senso opposto) .....
- Quando si inverte la polarità del collegamento elettrico al generatore, il rotore (si ferma/gira nello stesso senso/gira in senso opposto) .....
- Qual è la particolarità dei contatti che consentono il passaggio della corrente elettrica agli avvolgimenti del rotore? Perché non si utilizza una singola spira? .....  
.....

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Mettendo insieme le due parti della prova (il campo magnetico prodotto da un solenoide attraversato da corrente elettrica con l'interazione tra la corrente elettrica e un campo magnetico esterno) puoi concludere sottolineando le caratteristiche generali del motore elettrico.

**PREREQUISITI**

Per affrontare la prova devi sapere:

- Come si utilizza il voltmetro in un circuito elettrico
- Che cos'è l'induzione magnetica
- In che modo si caratterizzano la tensione e l'intensità di corrente elettrica alternate
- Qual è il principio di funzionamento del trasformatore statico

## 1 Titolo

Il titolo della prova è: **Analisi del trasformatore statico**.

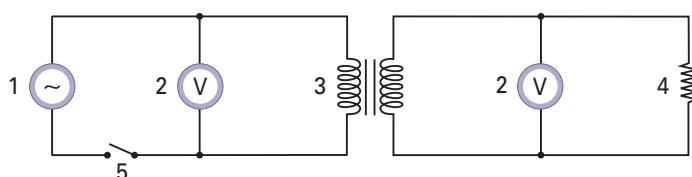
## 2 Obiettivi

Vogliamo verificare che effettivamente il rapporto tra la tensione alternata in ingresso al trasformatore e quella in uscita (valori massimi o efficaci è indifferente) è costante e uguale in particolare al rapporto di trasformazione tra il numero di spire del circuito primario e il numero di spire del secondario.

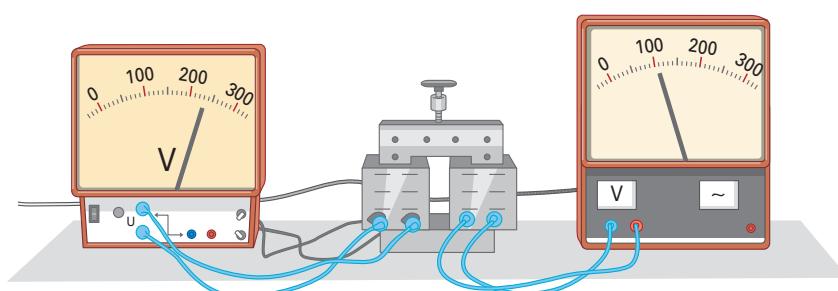
## 3a Schema e/o disegno

Nelle figure riportiamo sia lo schema elettrico (fig. 1) sia il disegno del circuito effettivo (fig. 2).

**Figura 1** (1) Generatore di tensione alternata; (2) voltmetri; (3) trasformatore; (4) resistore (utilizzatore); (5) interruttore.



**Figura 2**



## 3b Materiale e strumenti

Gli elementi che occorrono sono:

- trasformatore (possibilmente scomponibile con bobine di diverso numero di spire);
- generatore di tensione alternata;
- resistore;
- cavi di collegamento;
- due voltmetri;
- oscilloscopio (opzionale).

## 4 Contenuti teorici

I contenuti teorici della prova sono consistenti e relativamente complessi. Infatti, per spiegare il principio grazie al quale funziona il trasformatore statico, si deve partire dalla prima esperienza di Faraday, illustrando poi la legge di Faraday-Neumann e, infine, l'effetto che si ottiene in una macchina elettrica, detta trasformatore, accoppiando due circuiti elettrici con avvolgimenti che presentano un differente numero di spire.

## 5 Descrizione della prova

Avendo a che fare con un circuito elettrico, dovrai come sempre procedere con estrema cautela e seguire le raccomandazioni degli insegnanti. Quindi, dopo aver montato il circuito di figura 2 (che può presentare ovviamente delle varianti a seconda del materiale e degli strumenti a disposizione), devi modificare in successione il valore della tensione alternata in ingresso  $\Delta V_1$ , andando poi a leggere quello della tensione alternata in uscita  $\Delta V_2$ . Dato che il loro rapporto dovrebbe essere uguale al rapporto di trasformazione  $N_1/N_2$  (da te conosciuto), devi aspettarti che  $\Delta V_2$  cambi proporzionalmente a  $\Delta V_1$ :

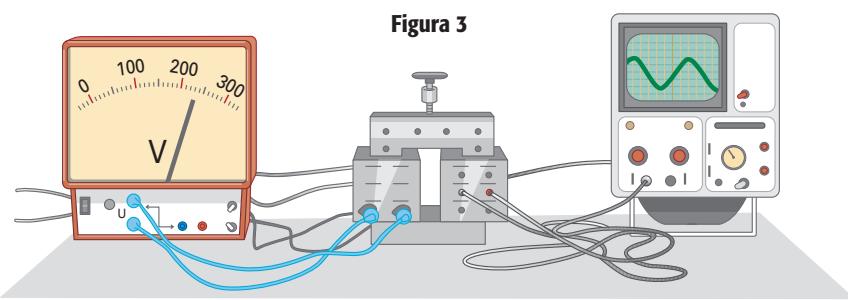
$$\frac{\Delta V_1}{\Delta V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \text{costante}$$

Le operazioni da eseguire sono le seguenti.

- Monta il circuito (ma senza effettuare ancora il collegamento con il generatore), seguendo il disegno della figura 2.  
Ricordati che adesso il voltmetro deve essere predisposto per misurare la tensione alternata; inoltre, per evitare che vada oltre il fondo scala, tieni inizialmente la portata su un valore di sicurezza, per poi abbassarla successivamente.
- Rileva il numero di spire  $N_1$  ed  $N_2$  delle due bobine, riportandoli nelle colonne 1 e 2 di una tabella come quella a pagina seguente.
- Quando hai il permesso, porta la tensione di ingresso  $\Delta V_1$  al valore desiderato, trascrivendola nella colonna 4 della tabella (la corrispondente incertezza, cioè l'errore di sensibilità del voltmetro, inseriscila nella colonna 5).
- Leggi sul voltmetro disposto ai capi del circuito secondario in uscita, la tensione  $\Delta V_2$ , inserendola nella colonna 6 (nella 7 metti la sua incertezza).
- Aumenta il valore della tensione  $\Delta V_1$  nel circuito primario e leggi la nuova  $\Delta V_2$ .
- Ripeti l'istruzione e) il numero di volte necessario (almeno quattro).
- Se ti viene richiesto, ripeti le istruzioni dalla a) alla f), sostituendo una o entrambe le bobine con altre aventi differente numero di spire.
- Alla fine, spegni il generatore e smonta il circuito.

Se in uscita si inserisce un oscilloscopio (fig. 3), si può visualizzare che nel secondario si ha una tensione alternata (il cui valore efficace è rilevabile a partire dall'individuazione del suo valore massimo).

La parte esecutiva è così conclusa.



## 6 Raccolta dei dati

La tabella è di facile interpretazione. Le colonne in cui devi riportare i risultati dei tuoi calcoli sono la 3, dove c'è il rapporto di trasformazione  $N_1/N_2$  che è fisso fintanto che le bobine restano le stesse, e la 8, con il rapporto tra le tensioni efficaci. Al solito, devi utilizzare la colonna 9 soltanto se ti viene richiesta l'applicazione delle leggi di propagazione degli errori.

**Tabella 1**

1	2	3	4	5	6	7	8	9
$N_1$	$N_2$	$N_1/N_2$	$\Delta V_1$ (V)	$\Delta x(\Delta V_1)$ (V)	$\Delta V_2$ (V)	$\Delta x(\Delta V_2)$ (V)	$\Delta V_1/\Delta V_2$	$\Delta x(\Delta V_1/\Delta V_2)$
1100	400	2,75	10,0	0,2	3,8	0,2	2,6	0,2
1100	400	2,75	20,0	0,2	7,0	0,2	2,9	0,2
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...

## 7 Elaborazione

Prima di tutto determina il rapporto di trasformazione:  $\frac{N_1}{N_2} = \frac{1100}{400} = 2,75$ . Dopodiché passa al corrispondente rapporto tra le tensioni del primario e del secondario:

$$\frac{\Delta V_1}{\Delta V_2} = \frac{10,0}{3,8} = 2,63158 \cong 2,6$$

Nota che trattandosi di un rapporto tra grandezze omogenee, cioè dello stesso tipo, il risultato è adimensionale, non ha in altre parole l'unità di misura.

(Nell'**help 1** riportiamo il calcolo dell'incertezza, nel caso dovesse servirti.)

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

La prova è riuscita se  $\Delta V_1/\Delta V_2$  presenta valori molto vicini a  $N_1/N_2$  oppure se gli intervalli di indeterminazione del rapporto  $\Delta V_1/\Delta V_2$  verificano la compatibilità (presentano cioè una zona in comune) e contemporaneamente se il valore del rapporto di trasformazione  $N_1/N_2$  cade all'interno della parte comune (fig. 4). Il fatto che il rapporto fra il numero delle spire di primario e secondario coincida nei limiti degli errori sperimentali con il rapporto tra le rispettive tensioni è legato all'ipotesi che nel trasformatore non ci siano dispersioni, per cui la potenza in ingresso è uguale a quella in uscita. Ma questa è esattamente una condizione ideale... Risultati poco soddisfacenti potrebbero

essere dovuti a:

- fenomeni di dispersioni energetiche nel trasformatore;
- instabilità nell'alimentazione.

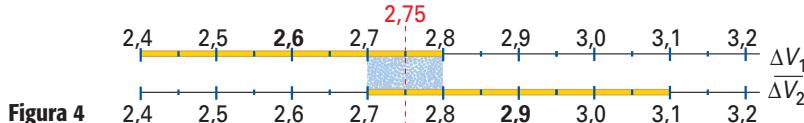


Figura 4

### help 1

L'incertezza è di semplice determinazione, trattandosi di un rapporto tra grandezze. Dunque, abbiamo:

$$\begin{aligned} \Delta x\left(\frac{\Delta V_1}{\Delta V_2}\right) &= \left[ \frac{\Delta x(\Delta V_1)}{\Delta V_1} + \frac{\Delta x(\Delta V_2)}{\Delta V_2} \right] \cdot \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2} = \left[ \frac{0,2}{10,0} + \frac{0,2}{3,8} \right] \cdot 2,63158 = \\ &= [0,02 + 0,05263] \cdot 2,63158 = 0,07263 \cdot 2,63158 = 0,19113 \cong 0,2 \end{aligned}$$

Anche l'incertezza trovata non ha, così come  $\Delta V_1/\Delta V_2$ , unità di misura.

Non calcoliamo l'incertezza di  $N_1/N_2$  in quanto  $N_1$  ed  $N_2$  sono il frutto di un conteggio e non di una vera e propria misurazione, quindi li consideriamo senza errore.

**PREREQUISITI**

Per affrontare la prova devi sapere:

- Definizione e unità di misura della velocità
- Quali sono le caratteristiche principali di un'onda:
  - periodo e frequenza
  - lunghezza d'onda
  - ampiezza
- Relazione che lega fra loro velocità di propagazione, frequenza e lunghezza d'onda

## 1 Titolo

Il titolo di questa esperienza di laboratorio è: **Misurazione della velocità di un'onda meccanica**.

## 2 Obiettivi

L'intento consiste nel riuscire a utilizzare un particolare dispositivo (l'ondoscopio) innanzitutto per misurare la lunghezza d'onda di un fenomeno ondulatorio (perturbazione superficiale dell'acqua) e quindi per determinarne in modo indiretto la velocità di propagazione.

## 3a Schema e/o disegno

Il disegno di figura 1 è particolarmente schematico, pur riproducendo i componenti essenziali, in quanto, a seconda delle apparecchiature più o meno sofisticate disponibili, ci possono essere differenze significative, anche se non sostanziali.

## 3b Materiale e strumenti

Ciò che ci occorre è costituito da (fig. 1):

- ondoscopio completo di meccanismo vibrante con frequenza variabile (1);
- stroboscopio digitale a frequenza variabile (2);
- foglio di carta del formato necessario (3);
- acqua (4);
- righello e asta millimetrata.

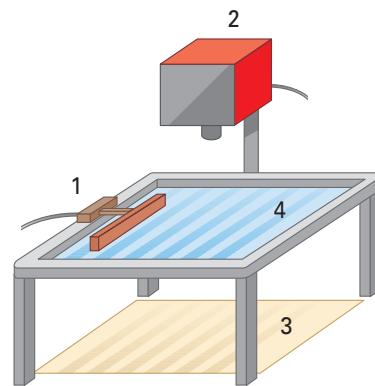


Figura 1

## 4 Contenuti teorici

La premessa teorica riguarda le nozioni di base relative ai fenomeni ondulatori, i concetti fondamentali di frequenza  $f$  (e periodo  $T$ ), lunghezza d'onda  $\lambda$  e velocità di propagazione  $v$ , la rappresentazione grafica dell'onda e dell'oscillazione del singolo punto.

## 5 Descrizione della prova

Prima di tutto dobbiamo cercare di capire in quale modo possiamo misurare la lunghezza d'onda. Nella vaschetta dell'ondoscopio, tramite una sbarretta che vibra con una frequenza opportuna, vengono create delle onde regolari. Grazie a un proiettore, le onde vengono visualizzate su un foglio bianco, posto su un piano sotto il fondo trasparente dell'ondoscopio. Dato che con le onde in movimento sarebbe difficile rilevare  $\lambda$ , si varia la frequenza dello stroboscopio (che produce una successione di rapidi flash) fino a farla coincidere con quella dell'onda: il risultato è che quest'ultima appare ferma. Segnando con la matita sul foglio di carta sottostante le creste dell'onda, che appaiono più chiare, è così possibile pervenire alla determinazione della lunghezza d'onda. (Più avanti vedremo in quale maniera si corregge l'effetto di ingrandimento dovuto alla proiezione delle immagini dalla vasca al piano di appoggio.) Dopo aver letto la  $f$  sul display dello stroboscopio digitale, si utilizza la formula:

$$v = \lambda \cdot f$$

Passiamo a questo punto alle istruzioni da seguire.

- a) Versa nella vaschetta l'acqua, fino a raggiungere una profondità di  $0,5 \div 1,0$  cm. Inoltre, se sul fondo trasparente della vaschetta non c'è una scala graduata, metti sul fondo, parallelamente ai bordi laterali, un oggetto di lunghezza nota  $L$  (per esempio un righello di 20 cm):

$$L = (\dots \pm \dots) \text{ cm}$$

- b) Accendi il proiettore e segna con una matita, sul foglio che si trova sul piano su cui è appoggiato l'ondoscopio, gli estremi dell'oggetto immerso (o meglio la distanza fra 0 e 20 cm del righello), misurando la distanza fra di essi con l'asta millimetrata:

$$L' = (\dots \pm \dots) \text{ cm}$$

Quindi togli l'oggetto (il righello) dall'acqua. La conoscenza del rapporto  $L/L'$  ti permetterà di risalire dalle lunghezze d'onda misurate sul foglio a quella reale, in quanto la proiezione provoca un ingrandimento (vedi fig. 2).

- c) Se è possibile regolarla (talvolta non lo è), scegli il valore della frequenza di vibrazione e accendi il sistema che fa oscillare la sbarretta. Vedrai nella vaschetta propagarsi le onde e sul foglio bianco muoversi le loro proiezioni (le parti chiare sono le creste e le parti scure le gole).

- d) Aziona lo stroboscopio, che farà lampeggiare rapidamente la luce, regolando la sua frequenza fino a quando l'immagine delle onde sul foglio non risulta ferma. Questo vuol dire che tra un flash e quello successivo l'onda è avanzata esattamente di  $\lambda$ : è per questo motivo che dove c'era una cresta appare un'altra cresta e, di conseguenza, l'onda sembra ferma.

(In realtà, tale effetto lo si potrebbe avere anche se la frequenza dello stroboscopio fosse un multiplo della frequenza di vibrazione della sbarretta. Tuttavia, quando la frequenza dello stroboscopio diventa il doppio di quella delle onde, si vede sul foglio la lunghezza d'onda diventare la metà rispetto alla precedente immagine fissa; possiamo allora essere sicuri che la frequenza corretta è quella di prima. In certi casi puoi avere addirittura la sensazione che l'onda torni indietro...).

- e) Rileva il valore della frequenza sul frequenzimetro collegato allo stroboscopio (da inserire in colonna 1 nella tabella a pagina seguente) e la corrispondente incertezza (colonna 2):

$$f = (\dots \pm \dots) \text{ Hz}$$

- f) Segna sul foglio le posizioni di una cresta e di un'altra non immediatamente successiva (fig. 3) e misura la distanza fra di esse (in colonna 3 metti  $d'$  e in colonna 4 la sua incertezza, che nei dati campione abbiamo preso pari a 0,5 cm, avendo la misurazione un'imprecisione sicuramente maggiore di un millimetro):

$$d' = (\dots \pm \dots) \text{ cm}$$

Il fatto di misurare più lunghezze d'onda è finalizzato a ridurre l'incertezza di  $\lambda$ . Come constaterai, in questa prova le incertezze hanno un'incidenza rilevante.

- g) Se ti è possibile, ripeti le istruzioni dalla c alla f per modificare un certo numero di volte (comunque almeno quattro) la frequenza della sbarretta e quindi delle onde, trovando così altre serie di dati.

La parte esecutiva è così conclusa.

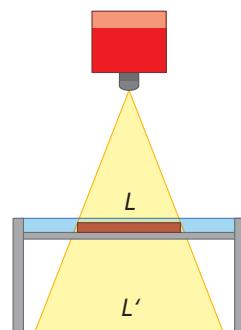


Figura 2

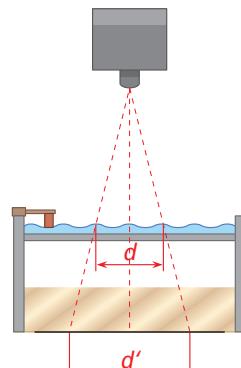


Figura 3

## 6 Raccolta dei dati

Gli unici dati che non compaiono in tabella sono quelli relativi a  $L$  ed  $L'$ , dal momento che restano invariati. Li puoi scrivere prima della tabella 1:

$$L = (20,0 \pm 0,1) \text{ cm} \quad L' = (42,6 \pm 0,1) \text{ cm}$$

**Tabella 1**

1 $f$ (Hz)	2 $\Delta x(f)$ (Hz)	3 $d'$ (cm)	4 $\Delta x(d')$ (cm)	5 $d = d' \cdot L/L'$ (cm)	6 $\lambda = d/2$ (cm)	7 $v = \lambda f$ (cm/s)	8 $\Delta x(v)$ (cm/s)
3,6	0,1	41,5	0,5	19,5	9,7	35	2
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...

## 7 Elaborazione

Se  $d'$  è la distanza fra i due segni sul foglio, in base alla proporzione illustrata in figura 2, la distanza  $d$  reale di due lunghezze d'onda sarà:

$$d = d' \cdot \frac{L}{L'} = 41,5 \cdot \frac{20,0}{42,6} = 19,48357 \cong 19,5 \text{ cm}$$

La lunghezza d'onda è allora:

$$\lambda = \frac{d}{2} = \frac{19,48357}{2} = 9,74179 \cong 9,7 \text{ cm}$$

Infine, la prima velocità  $v_1$  dell'onda che determini è:

$$v_1 = \lambda \cdot f = 9,74179 \cdot 3,6 = 35,07044 \cong 35 \text{ cm/s}$$

(Per il calcolo dell'incertezza della velocità è sufficiente sommare gli errori relativi di  $d'$ ,  $L$ ,  $L'$  ed  $f$  e poi...)

I valori della velocità che si trovano in colonna 7, dovrebbero essere vicini l'uno all'altro. Li puoi elaborare ulteriormente, determinandone il valore medio:

$$v_M = \frac{v_1 + v_2 + \dots + v_n}{n} = \dots \text{ cm/s}$$

(Per individuare l'errore massimo o semidispersione della velocità, vedi il punto 7 della parte I della Scheda 2.)

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

A seconda che i valori delle velocità trovate in colonna 7 siano più o meno dispersi, cioè distribuiti su un intervallo più o meno ampio, potrai ritenere riuscita la prova e assumere il loro valore medio come velocità dell'onda analizzata.

In caso positivo, potrai perciò sostenere di aver constatato che all'aumentare della frequenza, a parità di liquido e profondità, diminuisce la lunghezza d'onda, in maniera tale che il loro prodotto, cioè la velocità di propagazione della perturbazione, rimane costante.

Risultati poco soddisfacenti potrebbero essere dovuti a frequenze non rilevate in modo corretto.

**PREREQUISITI** Per affrontare la prova devi sapere:

- Quali sono le caratteristiche principali della luce
- Che cos'è la rifrazione e quali sono le leggi che la regolano

(Si consiglia la lettura del paragrafo sulle *Funzioni trigonometriche* del capitolo *Fare amicizia... con la calcolatrice* che si trova nella sezione *NonsoloMatematica* del libro di testo).

## 1 Titolo

La prova consiste, per lo meno in parte, in una verifica, per cui può esser intitolata: **Verifica della seconda legge della rifrazione.**

## 2 Obiettivi

L'obiettivo consiste nel valutare sperimentalmente la validità della legge in questione, per la quale il rapporto tra il seno dell'angolo di incidenza e il seno dell'angolo di rifrazione rimane costante per una data sostanza e, conseguentemente, nella misurazione per tale sostanza del suo indice di rifrazione.

## 3a Schema e/o disegno

La figura 1 riproduce i componenti essenziali necessari per l'esperimento.

## 3b Materiale e strumenti

Il materiale e gli strumenti classici richiesti sono:

- semicilindro di plexiglas;
- proiettore (o laser);
- disco graduato (disco di Hartl).



**Figura 1**

## 4 Contenuti teorici

Il tema da trattare teoricamente nelle linee essenziali concerne le caratteristiche di propagazione della luce, la rappresentazione della luce tramite il concetto di raggio e, infine, l'esposizione delle leggi della rifrazione, in particolare la seconda:

$$\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = n_{12} = \text{costante}$$

## 5 Descrizione della prova

- Disponi il semicilindro di plexiglas al centro del disco graduato, in modo tale che la faccia piana sia perpendicolare al diametro del disco passante per  $0^\circ$ .
- Accendi il proiettore (o il laser) e cerchi di allineare il sottile fascio di luce al disco, facendo sì che lo lambisca opportunamente, per cui il raggio luminoso che si forma su di esso appare nitido, e passi per il centro del disco.
- Dopo aver ruotato il disco con il plexiglas affinché il raggio incidente  $\hat{i}$  formi con la perpendicolare alla superficie piana aria-plexiglas del semicilindro l'angolo voluto, vai a leggere, sempre rispetto alla medesima verticale, il valore dell'angolo di rifrazione  $\hat{r}$ : il raggio rifratto, infatti, dopo aver attraversato il materiale in questione, ritornando nell'aria prosegue senza cambiare traiettoria a causa della forma circolare della superficie di separazione plexiglas-aria.
- Ruota il disco e ripeti le letture degli angoli  $\hat{i}$  ed  $\hat{r}$  il numero di volte desiderato.

(Pur facendo scrivere comunque, per consolidare l'abitudine, le incertezze degli angoli – tra l'altro pari a  $2^\circ$  a causa della larghezza del fascio –, in questa prova tralasciamo il calcolo dell'incertezza dell'indice di rifrazione  $n_{12}$ ).

## 6 Raccolta dei dati

La tabella per i dati può essere impostata come quella proposta qui sotto.

**Tabella 1**

1 $\hat{i}$ ( $^\circ$ )	2 $\Delta x(\hat{i})$ ( $^\circ$ )	3 $\hat{r}$ ( $^\circ$ )	4 $\Delta x(\hat{r})$ ( $^\circ$ )	5 $\sin \hat{i}$	6 $\sin \hat{r}$	7 $n_{12} = \frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}}$
30	2	20	2	0,500	0,342	1,46
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...

## 7 Elaborazione

Con l'aiuto della calcolatrice determini il valore di  $\sin \hat{i}$ , quindi quello di  $\sin \hat{r}$ , e poi trovi il loro rapporto, che costituisce l'indice di rifrazione aria-plexiglas:

$$n_{12} = \frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = \frac{\sin 30^\circ}{\sin 20^\circ} = \frac{0,500}{0,342} \approx 1,46$$

(L'indice di rifrazione è adimensionale.)

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

L'analisi del risultato può essere effettuata tramite le seguenti considerazioni:

- osservando se i valori trovati degli indici di rifrazione possono essere ritenuti costanti, pur nell'ambito delle incertezze connesse con le misurazioni;
- confrontando i vari  $n_{12}$  determinati con quello noto (per esempio, nel caso del materiale qui indicato, l'indice di rifrazione in genere assume un valore pari all'incirca a  $1,48 \div 1,49$ ).

**PREREQUISITI** Per affrontare la prova devi sapere:

- Quali sono le caratteristiche principali della luce
- Definizione e unità di misura della lunghezza d'onda e della frequenza
- Che cosa sono l'interferenza e la diffrazione

**1 Titolo**

La prova viene normalmente indicata come *Esperimento di Young*, ma un titolo di più immediata comprensione, anche se più lungo, potrebbe essere: **Misurazione della lunghezza d'onda di un raggio di luce monocromatico**.

**2 Obiettivi**

L'esperimento si propone di misurare la lunghezza d'onda di un raggio luminoso monocromatico prodotto da un opportuno proiettore o laser, sfruttando il fenomeno dell'interferenza ottenuta facendo passare il raggio stesso attraverso due fenditure molto vicine e di distanza nota.

**3a Schema e/o disegno**

Il disegno della figura 1 riproduce il dispositivo necessario, mentre la figura 2 è più importante per comprendere la modalità con la quale si perviene effettivamente al valore di  $\lambda$ .

**3b Materiale e strumenti**

L'occorrente necessario per eseguire la prova è:

- sorgente luminosa (proiettore o laser);
- banco ottico (composto da guida e morsetti);
- diaframma con due fenditure e relativo supporto;
- schermo;
- asta millimetrata.

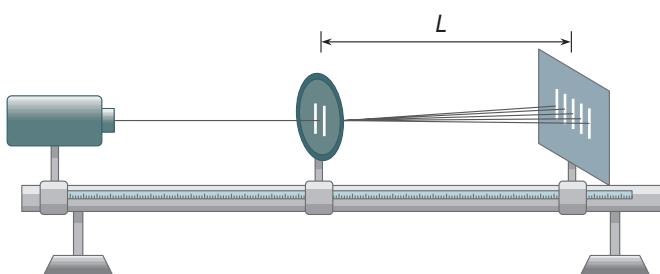


Figura 1

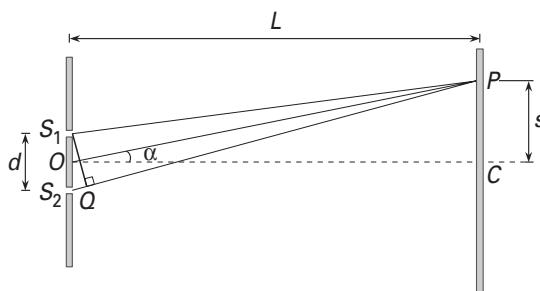
## 4 Contenuti teorici

L'esposizione delle conoscenze teoriche su cui si basa la prova può riguardare le caratteristiche della luce, il significato della lunghezza d'onda e della frequenza, in che cosa consiste il fenomeno dell'interferenza, sottolineando nello specifico la differenza tra interferenza costruttiva e distruttiva. Infine, in quale maniera si sfrutta la diffrazione per ottenere due sorgenti coerenti.

## 5 Descrizione della prova

- Nel banco ottico posiziona il proiettore (ovvero il laser) e lo schermo.
- Fissa un foglio di carta millimetrata sullo schermo e, accendendo il proiettore, individua con un segno di matita il punto centrale  $C$ .
- Spenta la sorgente di luce, disponi il supporto in cui si trova il diaframma con due fenditure.
- Riacendi il proiettore, che invia un sottile fascio di luce monocromatico, caratterizzato cioè da una sola frequenza. Il raggio passa attraverso le due fenditure (distanti  $d$  fra loro) le quali per diffrazione danno origine a due sorgenti coerenti di luce. Le due onde corrispondenti producono interferenza sia costruttiva sia distruttiva e generano sullo schermo un'alternanza di zone luminose e zone scure (frange di interferenza).

Nella figura 2 è schematizzata la costruzione geometrica che consente di calcolare la lunghezza d'onda.



**Figura 2**

Nelle zone dello schermo dove si ha un'interferenza costruttiva, il percorso delle onde che vi arrivano diffrisce per un numero intero  $n$  di lunghezze d'onda:  $n \cdot \lambda$ . (Se rispetto al punto centrale dello schermo si tratta della prima frangia luminosa a destra o a sinistra, allora  $n = 1$ ; se è la seconda, invece  $n = 2$ , e così via.)

Quando l'angolo  $\alpha$  è piccolo, con una buona approssimazione possono essere considerati simili i due triangoli  $OCP$  e  $S_1QS_2$ , di conseguenza si ha che  $OC : PC = S_1Q : S_2Q$ .

E dato che  $S_1Q \cong S_1S_2 = d$  e  $S_2Q \cong n \cdot \lambda$ , si ottiene:

$$L : s = d : (n \cdot \lambda) \quad \text{da cui} \quad \lambda = \frac{s \cdot d}{n \cdot L}$$

- Fai un segno sul foglio in corrispondenza della frangia di interferenza costruttiva subito a destra o a sinistra di quella centrale, nell'eventualità che stia considerando  $n = 1$ , e misura la distanza  $s$  di tale segno dal centro.

(Per ridurre l'incertezza, può essere conveniente rilevare il tratto in cui sono comprese più frange, per esempio tre a destra e tre a sinistra rispetto a quella centrale, e quindi dividere sia la distanza sia la sua incertezza per il numero di frange.)

- Rileva la distanza  $L$  tra il supporto con il diaframma e lo schermo.
- Ripeti la misurazione modificando  $L$  o, se sono disponibili, utilizzando diaframmi con diversa distanza  $d$  tra le due fenditure.

La distanza  $d$  tra le fenditure è un dato fornito dal costruttore.

## 6 Raccolta dei dati

La tabella può essere organizzata nel modo seguente.

**Tabella 1**

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>n</i>	<i>L</i> (m)	$\Delta x(L)$ (m)	<i>s</i> ( $\cdot 10^{-3}$ m)	$\Delta x(s)$ ( $\cdot 10^{-3}$ m)	<i>d</i> ( $\cdot 10^{-4}$ m)	$\Delta x(d)$ ( $\cdot 10^{-4}$ m)	$\lambda = \frac{s \cdot d}{n \cdot L}$ ( $\cdot 10^{-7}$ m)	$\Delta x(\lambda)$ ( $\cdot 10^{-7}$ m)
1	1,16	0,01	3,3	0,2	2,4	0,1	6,8	0,8
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...

## 7 Elaborazione

È sufficiente applicare la formula vista precedentemente, sostituendo i valori misurati:

$$\lambda = \frac{s \cdot d}{n \cdot L} = \frac{3,3 \cdot 10^{-3} \cdot 2,4 \cdot 10^{-4}}{1 \cdot 1,16} = \dots$$

(Il calcolo dell'incertezza è riportato nell'**help 1**.)

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Ipotizzando di conoscere la lunghezza d'onda emessa dal proiettore o dal laser (per esempio, quella relativa al rosso è compresa all'incirca tra  $6,4 \cdot 10^{-7}$  m e  $7,0 \cdot 10^{-7}$  m), puoi controllare che tale valore rientri nell'intervallo di indeterminazione trovato.

### help 1

L'eventuale incertezza viene trovata così (considerando che *n* è privo di incertezza):

$$\Delta x(\lambda) = \left[ \frac{\Delta x(s)}{s} + \frac{\Delta x(d)}{d} + \frac{\Delta x(L)}{L} \right] \cdot \lambda$$

# Le lenti convergenti

## PREREQUISITI Per affrontare la prova devi sapere:

- Quali sono le caratteristiche principali della luce
- In che cosa consiste il fenomeno della rifrazione
- Che cos'è una lente sottile e qual è la formula corrispondente

## 1 Titolo

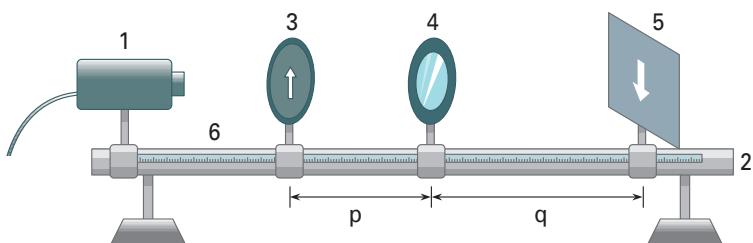
Possiamo intitolare questa esperienza di laboratorio: **Misurazione della distanza focale di una lente convergente.**

## 2 Obiettivi

Data una lente convergente di caratteristiche non note, vogliamo determinarne la distanza focale, cioè il punto sull'asse ottico nel quale si concentrano, a causa della rifrazione attraverso la lente, i raggi che incidono parallelamente all'asse medesimo.

## 3a Schema e/o disegno

Nella figura 1 viene illustrata l'apparecchiatura necessaria per eseguire la prova, la quale può essere realizzata tutto sommato con materiale facilmente reperibile.



**Figura 1**

## 3b Materiale e strumenti

Il materiale essenziale è (fig. 1):

- sorgente luminosa (lampada, proiettore...) (1);
- banco ottico (composto da guida e morsetti) (2);
- diaframma con relativo supporto (3);
- lente convergente con relativo supporto (4);
- schermo (5);
- asta millimetrata (6).

## 4 Contenuti teorici

Dopo aver esposto sinteticamente le caratteristiche principali della luce in quanto onda, puoi descrivere più in dettaglio gli effetti legati alle lenti sottili convergenti, dicendo che cos'è la distanza focale, come si formano le immagini a seconda della distanza dell'oggetto dalla lente, come si esprime in termini matematici la formula delle lenti sottili.

## 5 Descrizione della prova

Dopo aver disposto il materiale secondo le indicazioni della figura 1, una volta scelta rispetto alla lente la posizione dell'oggetto, che nel nostro caso è determinata dal diaframma riprodotto nel disegno (la freccia), spostiamo lo schermo avanti e indietro fino a quando individuiamo una posizione in cui l'immagine dell'oggetto che si forma su di esso risulta nitida o, come si dice normalmente, *a fuoco*.

A quel punto, ricorriamo alla nota formula delle lenti sottili:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

al fine di determinare la distanza focale  $f$  a partire dalla misurazione della distanza  $p$  dell'oggetto (freccia) e della distanza  $q$  dell'immagine (schermo) dalla lente.

Vediamo che cosa è necessario fare.

- Disponi su uno stesso asse con l'aiuto del banco ottico la sorgente di luce, il diaframma, la lente e, infine, lo schermo (fig. 1).
- Misura tramite l'asta millimetrata collocata sulla guida (o con il ricorso a un'asta millimetrata esterna) la posizione, della lente ( $x_L$ ), che rimarrà presumibilmente fissa durante l'esperimento:

$$x_L = (\dots \pm \dots) \text{ cm}$$

- Leggi la posizione del diaframma ( $x_p$ ), riportando il suo valore nella colonna 1 della tabella 1:

$$x_p = (\dots \pm \dots) \text{ cm}$$

- Accendi il proiettore.

- Sposta lo schermo lungo la guida fino a quando su di esso non vedi formarsi l'immagine nitida, a fuoco, dell'oggetto riprodotto nel diaframma.

- Rileva la posizione dello schermo ( $x_q$ ) per mezzo dell'asta millimetrata, trascrivendone il valore nella colonna 4 della tabella:

$$x_q = (\dots \pm \dots) \text{ cm}$$

- Modifica la posizione del diaframma e trascrivi il nuovo valore ( $x_p$ ), inserendolo nella colonna 1.

- Esegui nuovamente le istruzioni e) ed f).

- Ripeti le misurazioni il numero di volte necessario.

L'esecuzione pratica della prova è terminata.

## 6 Raccolta dei dati

In tabella non abbiamo messo la posizione della lente (in quanto probabilmente non cambia), che per esempio potrebbe essere:

$$x_L = (65,0 \pm 0,1) \text{ cm}$$

e nemmeno le incertezze  $\Delta x(x_p)$  e  $\Delta x(x_q)$ , pari comunque all'errore di sensibilità dell'asta millimetrata (0,1 cm).

**Tabella 1**

1	2	3	4	5	6	7	8
$x_p$ (cm)	$p = x_L - x_p$ (cm)	$\Delta x(p)$ (cm)	$x_q$ (cm)	$q = x_q - x_L$ (cm)	$\Delta x(q)$ (cm)	$f$ (cm)	$\Delta x(f)$ (cm)
15,0	50,0	0,2	97,8	32,8	0,2	19,8	0,3
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...

## 7 Elaborazione

Per quanto riguarda la distanza dell'oggetto (freccia) e dell'immagine reale (schermo) dalla lente, trascritti rispettivamente nelle colonne 2 e 5, basta fare la differenza fra le varie posizioni:

$$p = x_L - x_p = 65,0 - 15,0 = 50,0 \text{ cm}$$

$$q = x_q - x_L = 97,8 - 65,0 = 32,8 \text{ cm}$$

(Le incertezze corrispondenti da mettere nelle colonne 3 e 6 le trovi nell'**help 1**.)

Dopodiché, per determinare la distanza focale, ci possiamo basare direttamente sulla formula:

$$f = \frac{p \cdot q}{p + q}$$

da cui:

$$f = \frac{50,0 \cdot 32,8}{50,0 + 32,8} = \frac{1640}{82,8} = 19,80676 \cong 19,8 \text{ cm}$$

(L'incertezza di  $f$  indicato nella colonna 8 della tabella 1 viene calcolata nell'**help 2**.)

I valori della distanza focale, trascritti in colonna 7, dovrebbero essere vicini fra loro. Elaborandoli come serie di misure, puoi determinarne il valore medio e l'errore massimo:

$$f_M = \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_n}{n} = \dots \text{ cm} \quad \Delta x(f) = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{2} = \dots \text{ cm}$$

La scrittura finale del risultato è perciò:

$$f = (\dots \pm \dots) \text{ cm}$$

## 8 Analisi dei risultati e conclusioni

Se sulla montatura della lente è indicata la distanza focale, puoi valutare l'attendibilità della prova da te effettuata in base al fatto che il valore fornito dal costruttore rientri nell'intervallo di indeterminazione individuato a conclusione dell'elaborazione dei dati. Altrimenti, dovrai semplicemente considerare l'entità della dispersione dei valori della  $f$  indicati nella penultima colonna della tabella: quanto più sono vicini fra loro, tanto più accurata è stata la misurazione.

### help 1

Sia per  $p$  sia per  $q$ , basta fare la somma delle incertezze degli addendi:

$$\Delta x(p) = \Delta x(x_L) + \Delta x(x_p) = 0,1 + 0,1 = 0,2 \text{ cm}$$

### help 2

Utilizzando le leggi di propagazione degli errori, per la distanza focale della lente si ha:

$$\begin{aligned} \Delta x(f) &= \left[ \frac{\Delta x(p)}{p} + \frac{\Delta x(q)}{q} + \frac{\Delta x(p+q)}{p+q} \right] \cdot f = \left[ \frac{0,2}{50,0} + \frac{0,2}{32,8} + \frac{0,2+0,2}{50,0+32,8} \right] \cdot 19,80676 = \\ &= 0,01493 \cdot 19,80676 = 0,29571 \cong 0,3 \text{ cm} \end{aligned}$$