Il laboratorio di fisica.blu

Indaga i fenomeni e scopri le leggi

Analizza i dati e fai il grafico con il foglio di calcolo

Scrivi la relazione

con GUARDA!

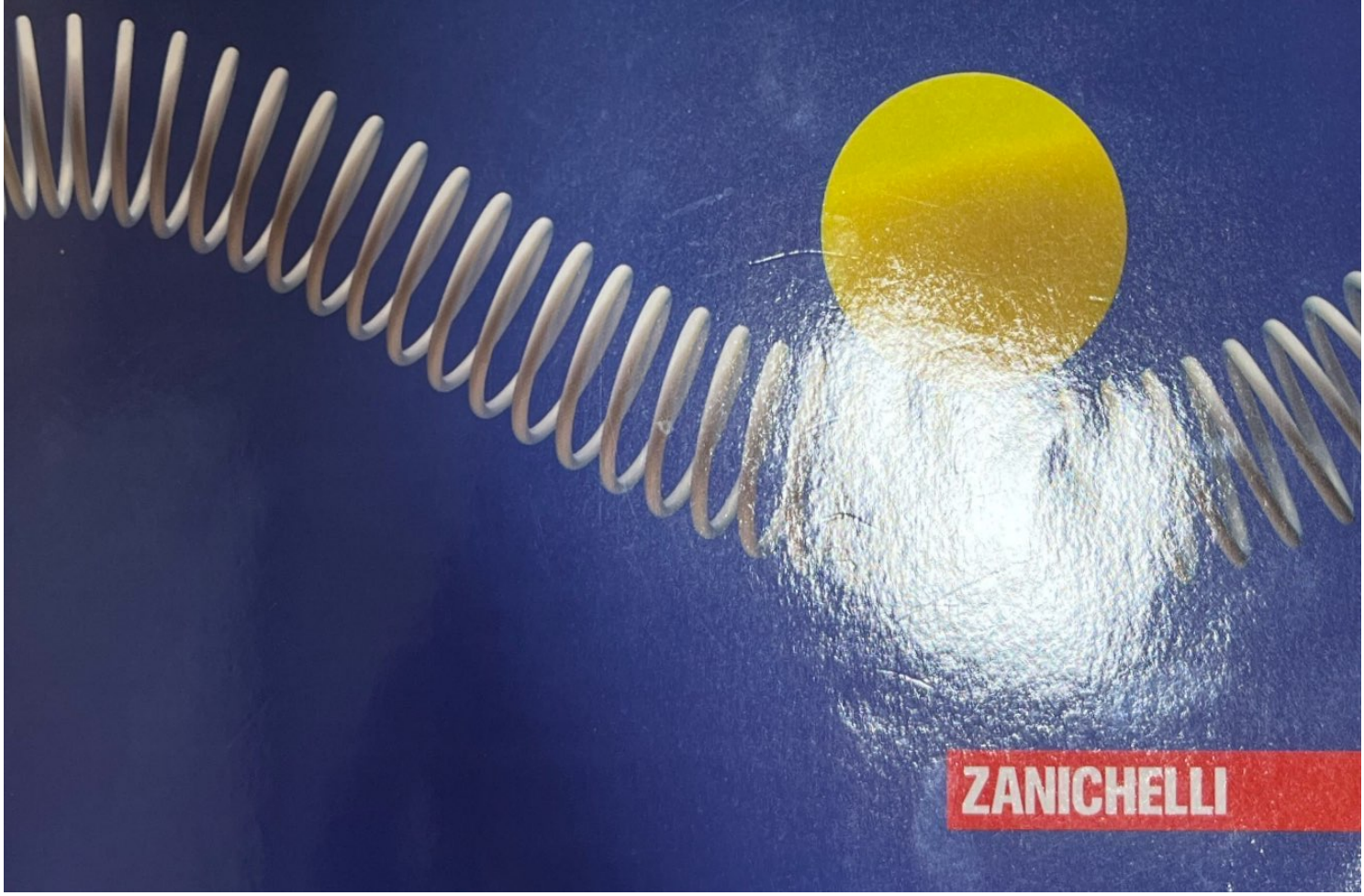
4 svolgimenti delle simulazioni con Python

Vincenzo Nizzo
Filiale di Napoli
vnizzo@zanichelli.it

ZANICHELLI
Via Achille Lauro, 109
80147 Napoli
www.zanichelli.it

+39 081 5707244/58 telefono
+39 081 5707910 fax

CAMPIONE GRATUITO - VIETATA LA VENDITA



ZANICHELLI

Scanned with CamScanner

Indice

METODI E STRUMENTI

1 Il metodo scientifico 2
- 1 Alla ricerca di uno schema 2
- 2 Pattern II: scopri lo schema 3

2 I fondamentali della misura 7
- 1 La misura di una grandezza 7
- 2 Le caratteristiche degli strumenti di misura 10
- 3 L'incertezza di una misura diretta 11
- 4 L'incertezza di una misura indiretta 14
- 5 Le cifre significative di una misura 15
- 6 La notazione scientifica 17
- 7 Gli strumenti di misura 18

3 L'analisi dei dati con il foglio di calcolo 26
- 1 Inserire e modificare i dati 27
- 2 Inserire e modificare le formule 28
- 3 I grafici 31

4 I grafici e le relazioni tra grandezze 34
- 1 Rappresentare i dati in un grafico cartesiano 34
- 2 Le relazioni tra grandezze 36
- 3 Riepilogo delle relazioni tra grandezze 49

5 La relazione di laboratorio 50
- 1 La struttura della relazione 51
- 2 Una relazione di esempio 52

Inquadrami per accedere alle risorse online

Su GUARDA! e nell'ebook

Descrizione di questi strumenti di misura:
- il metro
- il cilindro graduato
- la bilancia
- il cronometro
- il termometro
- il dinamometro

ESPERIMENTI

6 Gli esperimenti 54
- 1 Misure del volume di un corpo 54
- 2 Misure di densità 56
- 3 Misure di tempo: periodo delle piccole oscillazioni di un pendolo 58
- 4 Relazione tra l'allungamento di una molla e la massa di un corpo appeso 60
- 5 Relazione tra il tempo di svuotamento di una bottiglia e il numero di fori 62
- 6 Relazione tra il periodo e la lunghezza di un pendolo 64
- 7 Equilibrio sul piano inclinato 66

A. Misura indiretta dell'altezza di un'aula

B. Relazione tra l'allungamento di una molla e la forza applicata

Scanned with CamScanner

8 Misura del coefficiente di attrito statico con angolo di distacco 68
9 Misura del coefficiente di attrito statico tra due superfici 70
10 Equilibrio di un corpo rigido 72
11 Misura della densità dell'olio con la legge di Stevino 74
12 Spinta di Archimede 76
13 Moto rettilineo uniforme 78
14 Moto uniformemente accelerato 80
15 Misura dell'accelerazione di gravità terrestre 82
16 Forza e accelerazione: il secondo principio della dinamica 84
17 Caduta di una sferetta in un liquido 86
18 Moto parabolico 88
19 Conservazione dell'energia meccanica 90
20 Taratura di un termoscopio 92
21 Calore specifico 94
22 Calore latente di fusione del ghiaccio 96
23 Pressione e volume di un gas a temperatura costante 98
24 Relazione tra la temperatura e il volume di un gas a pressione costante 100
25 Rifrazione della luce 102
26 Legge dei punti coniugati per gli specchi 104

CODING CON PYTHON

7 Programmare con Python 106
1 Uso dei comandi interattivi 107
2 Variabili 109
3 Eseguire programmi da file 110
4 Strutture di controllo: decisioni e cicli 111
5 Liste 113
6 Funzioni 114
7 Grafici 114
8 Quattro esercizi per cominciare a programmare in Python 116
8 Simulare con Python 118
1 Moto uniformemente accelerato 118
2 Moto sotto l'azione di una forza elastica 120
3 Moto con forza di attrito viscoso 123

C. Misura del coefficiente di attrito statico con angolo di distacco (con riga)
D. Massa e accelerazione: il secondo principio della dinamica
E. Riflessione della luce
F. Legge dei punti coniugati per le lenti
Le soluzioni degli esercizi
Valutare il grado di approssimazione
Le soluzioni delle simulazioni
I codici .py

Scanned with CamScanner

GLI ESPERIMENTI

1. Misure del volume di un corpo	●					●
2. Misure di densità	●					●
3. Misure di tempo: periodo delle piccole oscillazioni di un pendolo	●			●		●
A. Misura indiretta dell'altezza di un'aula				●	●	●
4. Relazione tra l'allungamento di una molla e la massa di un corpo appeso		●		●		
B. Relazione tra l'allungamento di una molla e la forza applicata		●		●		
5. Relazione tra il tempo di svuotamento di una bottiglia e il numero di fori	●	●		●		
6. Relazione tra il periodo e la lunghezza di un pendolo		●		●		●
7. Equilibrio sul piano inclinato			●	●	●	
8. Misura del coefficiente di attrito statico con angolo di distacco					●	●
C. Misura del coefficiente di attrito statico con angolo di distacco (con riga)					●	●
9. Misura del coefficiente di attrito statico tra due superfici			●	●		
10. Equilibrio di un corpo rigido			●			
11. Misura della densità dell'olio con la legge di Stevino	●			●		●
12. Spinta di Archimede	●		●			
13. Moto rettilineo uniforme	●		●	●		
14. Moto uniformemente accelerato	●		●	●		
15. Misura dell'accelerazione di gravità terrestre			●	●	●	●
16. Forza e accelerazione: il secondo principio della dinamica			●	●		
D. Massa e accelerazione: il secondo principio della dinamica			●	●		
17. Caduta di una sferetta in un liquido				●	●	
18. Moto parabolico			●		●	●
19. Conservazione dell'energia meccanica			●	●	●	
20. Taratura di un termoscopio	●					
21. Calore specifico	●					
22. Calore latente di fusione del ghiaccio	●					
23. Pressione e volume di un gas a temperatura costante		●		●		●
24. Relazione tra la temperatura e il volume di un gas a pressione costante		●	●	●		
E. Riflessione della luce	●		●			
25. Rifrazione della luce	●		●			
26. Legge dei punti coniugati per gli specchi			●	●		
F. Legge dei punti coniugati per le lenti			●	●		

IMPARA A MISURARE Prendi confidenza con gli strumenti e i metodi di misura.

ESPLORA IL FENOMENO Indaga il fenomeno fisico alla ricerca della legge che lo descrive.

VERIFICA LA LEGGE Verifica una legge fisica che conosci.

FOGLIO DI CALCOLO Usa il foglio di calcolo per elaborare dati e costruire grafici.

CON APP Usa le app dello smartphone per acquisire dati.

A CASA Fai l'esperimento a casa con materiali facili da reperire.

Scanned with CamScanner

1 Il metodo scientifico

1 Alla ricerca di uno schema

La fisica studia e descrive i fenomeni naturali. Ma che cosa significa studiare i fenomeni naturali? Come possiamo *conoscere* la natura?

- Ho lasciato cadere un pallone che ha colpito il terreno dopo 1,2 s.
- Ieri pomeriggio la temperatura nel mio giardino era di 21 °C.

Queste due affermazioni riportano dei dati a proposito di fenomeni naturali, ma non ci aiutano a comprenderli. La maggior parte delle volte non siamo interessati a un preciso valore numerico ma a una relazione generale. Le misure citate sopra potrebbero far sorgere altre domande.

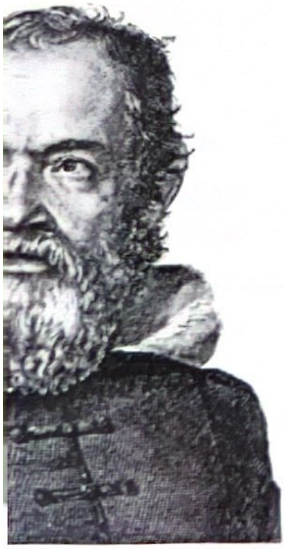
- Quale relazione c'è tra l'altezza da cui cade un pallone e il tempo di caduta?
- Come varia la temperatura nella mia città in relazione all'orario o al periodo dell'anno?

Sono domande di questo tipo che gli scienziati e le scienziate si pongono per studiare la natura.

Per trovare una relazione tra due grandezze possiamo raccogliere dei dati, cioè misurare entrambe le grandezze in diversi esperimenti. Per esempio, lasciamo cadere un pallone da diverse altezze e ogni volta misuriamo sia l'altezza sia il tempo impiegato. Una volta raccolti i dati, tentiamo di cogliere delle regolarità, magari con l'aiuto di un grafico, e cerchiamo di esprimerle con una formula matematica.

Gli schemi che riusciamo a trovare si chiamano **modelli fisici** del fenomeno o anche **leggi fisiche**. I modelli fisici sono formulati nel linguaggio logico-matematico.

Fu Galileo Galilei (1564-1642) il primo scienziato a capire l'importanza di avere un metodo obiettivo e condiviso da tutti gli scienziati e a utilizzarlo consapevolmente.



Questo metodo di lavoro è chiamato **metodo scientifico** e può essere così schematizzato.

1. **OSSERVAZIONE.** Osserviamo e raccogliamo dei dati a partire da fenomeni naturali o esperimenti.
2. **RICERCA DI REGOLARITÀ.** Ci poniamo delle domande per capire se esistono delle regolarità nei dati, se i fenomeni osservati stanno rispettando uno schema decifrabile.
3. **FORMULAZIONE DI IPOTESI.** Tentiamo di individuare uno schema, formulando leggi generali a partire dai casi particolari che abbiamo osservato (*procedimento induttivo*).

   A partire dai modelli ipotizzati, possiamo ricavare altri modelli specifici e fare previsioni su nuovi fenomeni (*procedimento deduttivo*).

Scanned with CamScanner

4. VERIFICA SPERIMENTALE. Facciamo nuove osservazioni e raccogliamo altri dati per verificare se le previsioni sono rispettate o meno.

Tutto il processo può essere ripetuto più volte, perché nuove osservazioni forniscono informazioni sulla bontà del modello, che può essere confermato, limitato o abbandonato.

- **Conferma delle ipotesi** Il modello supera la prova dell'esperimento e la sua validità è confermata fino a prova contraria.
- **Limitazione del campo di applicabilità** Il modello, che si credeva avesse validità generale, in realtà è valido solo a certe condizioni. Se queste condizioni non si verificano, il modello non riesce a descrivere i fenomeni in modo corretto e va ripensato.
- **Abbandono del modello** Il modello si dimostra del tutto inadatto a descrivere i fenomeni osservati e va abbandonato. Dobbiamo così costruirne uno nuovo che si adatti meglio alle osservazioni. Questo potrà essere a sua volta confermato, limitato o abbandonato.

A tutto ciò va aggiunto un altro elemento fondamentale: l'*intuizione*. Riuscire a vedere una possibile relazione tra i dati, distinguere ciò che è rilevante da ciò che è secondario, rendersi conto che esiste una strada promettente che vale la pena di perseguire: tutto questo è frutto dell'intuito di chi indaga i fenomeni naturali. L'intuizione attiva tutto il processo di indagine scientifica e, unita al metodo scientifico, porta alla conoscenza.

Il metodo scientifico è obiettivo, libero dai giudizi personali, e permette di correggere gli errori: se un modello è sbagliato, prima o poi un esperimento lo rivelerà e il modello potrà essere corretto. Grazie al metodo scientifico, le idee si adattano sempre meglio ai fatti e la nostra conoscenza della natura cresce e si raffina nel tempo.

2 Pattern II: scopri lo schema

Ti proponiamo un gioco che ti aiuterà a capire meglio che cosa significa riconoscere uno schema con il metodo induttivo.

Il gioco si chiama *Pattern II* ed è stato inventato nel 1982 da Sid Sackson, un ingegnere creatore e collezionista di giochi da tavolo. Pattern II mostra l'essenza del metodo scientifico e il modo in cui si costruisce un modello di un fenomeno.

Le regole del gioco

- Il numero di giocatori, singoli o in gruppo, deve essere tra 3 e 6.
- In ogni partita, un giocatore a turno assume il ruolo di **modellista** e crea lo schema che gli altri giocatori devono cercare di scoprire.

  Usa una griglia quadrata di 36 caselle (6×6), all'interno delle quali può inserire uno di questi quattro simboli:

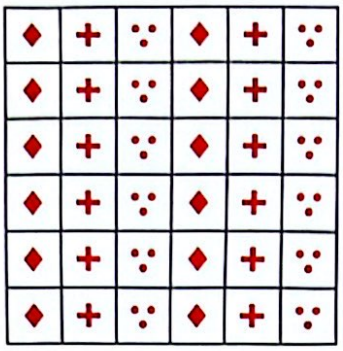
  O + ∵ ♦

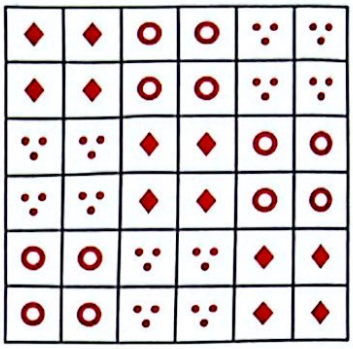
  È libero di disporre i simboli nella griglia come vuole, ma, per ottenere un punteggio alto, gli conviene costruire lo schema secondo una regola precisa e riconoscibile, in modo che almeno uno dei giocatori lo possa scoprire rapidamente.

Scanned with CamScanner

ESEMPIO

Osserva questi schemi: ti accorgerai che i simboli non sono disposti a caso ed è possibile riconoscere la regola che ha seguito il modellista.





- Mentre il modellista crea il suo schema, ogni giocatore si prepara una griglia 6×6 vuota. Per ottenere informazioni sullo schema, traccia un segno nell'angolo in basso a sinistra di una casella e consegna il foglio al modellista, senza farlo vedere agli altri giocatori. Il modellista disegnerà i simboli corretti nelle caselle segnate e restituirà il foglio.

  Non ci sono turni, né limiti al numero di richieste che un giocatore può fare o al numero di caselle che può chiedere ogni volta.
- Quando un giocatore pensa di aver capito lo schema, riempie tutte le caselle rimaste vuote e completa la griglia.
- Una volta che tutti i giocatori hanno formulato le loro ipotesi e completato le loro griglie, si possono attribuire i punteggi secondo delle regole.

traccia un segno per chiedere al modellista di rivelare il simbolo di quella casella

Non chiedere troppe caselle al primo turno: toglieranno spazio alla possibilità di indovinarle e quindi di guadagnare punti. Meglio procedere poco alla volta e cercare di capire la regola sotto lo schema.

Come si calcola il punteggio

Punti da assegnare a ciascun giocatore	
per ogni casella	punti
richiesta	0
indovinata	+1
sbagliata	−1

Le caselle sbagliate sottraggono punti, pertanto il punteggio finale di un giocatore può essere negativo. Il giocatore o la giocatrice che non ha tentato di ricostruire lo schema totalizza 0 punti.

Il modellista riceve un punteggio p_m pari al doppio della differenza tra il punteggio migliore (p_{max}) e il punteggio peggiore (p_{min}) degli altri giocatori. A questo vengono sottratti 5 punti per il primo giocatore che rinuncia a fornire una soluzione e altri 10 punti per ogni ulteriore giocatore che rinuncia. In una formula si ha:

$$p_M = 2(p_{max} - p_{min}) - (5 + 10n)$$

dove con n indichiamo il numero di giocatori oltre al primo che hanno rinunciato a risolvere lo schema. Se nessun giocatore rinuncia, la seconda parentesi della formula è uguale a zero.

Scanned with CamScanner

ESEMPI

Si gioca in quattro: A, B e C sono i giocatori e M è il modellista.

Situazione 1. Tutti i giocatori propongono una soluzione dello schema: A ottiene 18 punti, B ottiene 15 punti e C ne ottiene 14.

Il punteggio di M è:

$$p_M = 2(p_A - p_C) = 2(18 - 14) = 8$$

Situazione 2. Tutti i giocatori propongono una soluzione dello schema: A ottiene 18 punti, B ottiene 15 punti, mentre C ottiene un punteggio negativo di −2.

Il punteggio di M è:

$$p_M = 2(p_A - p_C) = 2[18 - (-2)] = 40$$

Situazione 3. A ottiene 12 punti, B ne ottiene 7 e C rinuncia ottenendo 0 punti.

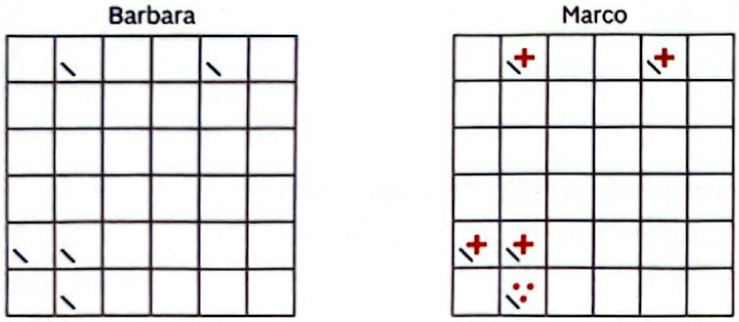
M riceve una penalità di 5 punti:

$$p_M = 2(p_A - p_C) - 5 = 2(12 - 0) - 5 = 19$$

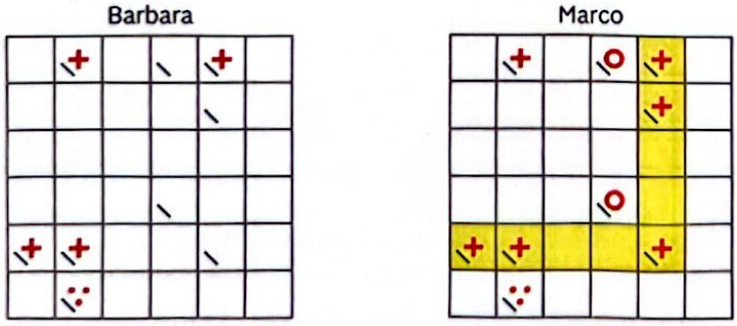
Giochiamo una partita

Ora che conosciamo tutte le regole, seguiamo una partita di esempio; in particolare, analizziamo il gioco tra Marco (il modellista) e Barbara (una giocatrice).

Barbara segna cinque caselle nella sua griglia vuota e Marco le restituisce la griglia con i simboli inseriti.



Le informazioni ricevute non sono sufficienti per identificare una regola nello schema, così Barbara chiede altre quattro informazioni.

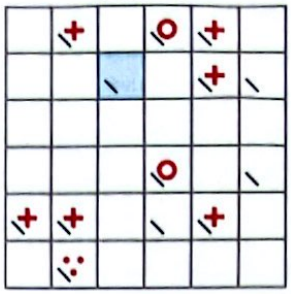


Come si vede dalla risposta di Marco, sembra che le caselle colorate in giallo siano riempite con i simboli "+". Barbara ipotizza anche che l'ultima colonna a destra e l'ultima riga in basso siano riempite con i simboli "·".

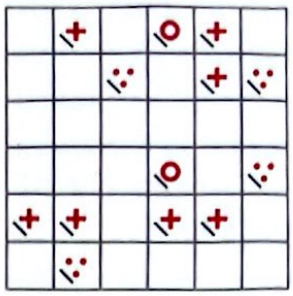
Scanned with CamScanner

Chiede delle nuove caselle per confermare queste ipotesi e decide inoltre di chiedere una casella (in azzurro) in una zona ancora ignota.

Barbara



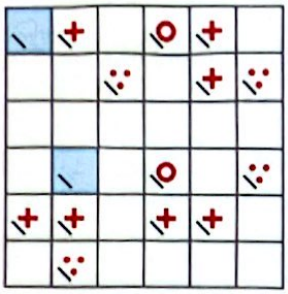
Marco



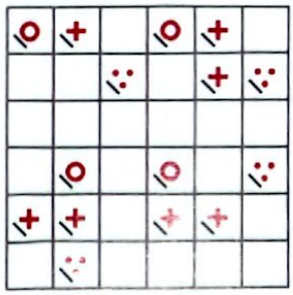
È ora di formulare un'ipotesi. Barbara suppone che l'angolo in alto a sinistra contenga un cerchio e che questo possa essere circondato dai simboli "+", immagina poi un altro giro di simboli "⁘" e un altro ancora di simboli "O", con un'alternanza che si propaga fino all'ultima colonna a destra e all'ultima riga in basso.

Barbara verifica l'ipotesi con due ulteriori richieste (in azzurro).

Barbara

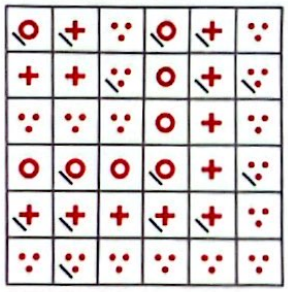


Marco

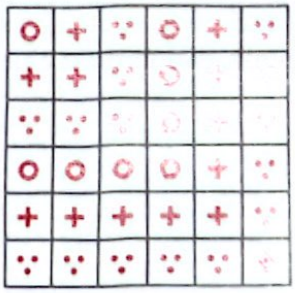


I cerchi compaiono proprio dove Barbara si aspettava, così prova a completare la griglia e consegna la sua soluzione. Quello a destra è lo schema ideato da Marco.

Barbara



Marco



Anche gli altri giocatori consegnano i propri schemi e la partita si conclude. Senza considerare le caselle usate per chiedere informazioni, Barbara ha indovinato 20 caselle e ne ha sbagliata una (l'ultima casella in basso a destra). Il suo punteggio è: $20 - 1 = 19$.

Nel giocare la sua partita, Barbara ha seguito le fasi del metodo scientifico: ha osservato i primi simboli noti cercando le possibili regolarità nello schema, ha formulato delle ipotesi sulla disposizione dei simboli mancanti e, infine, ha raccolto nuovi dati per verificare le sue previsioni.

ORA TOCCA A TE

1 Invita un gruppo di amici a giocare a Pattern II. A turno, tutti devono ricoprire il ruolo di modellista.

2 Cerca online il gioco *New Eleusis* e leggi le sue regole.
- In che modo il gioco è impostato sul metodo scientifico?

Scanned with CamScanner

2 I fondamentali della misura

1 La misura di una grandezza

Grandezza fisica

È una proprietà fisica misurabile di un corpo o di un fenomeno che può essere espressa quantitativamente mediante una misura effettuata con strumenti.

ESEMPIO

La lunghezza, la velocità, il tempo e la temperatura sono alcune grandezze fisiche.

Unità di misura

È una grandezza assunta come riferimento per la misura di una grandezza ad essa omogenea. È anche detta *campione di misura* o *standard*.

ESEMPIO

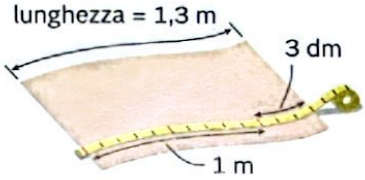
Per la misura delle lunghezze si definisce il *metro* come unità di misura.

Misurare

Significa determinare quante volte l'unità di misura è contenuta in una grandezza.

ESEMPIO

Fornire una misura di 1,3 m significa che la lunghezza misurata contiene 1,3 volte l'unità di misura «metro».



Esprimere una misura

Il risultato di una misura si scrive come un numero seguito da una unità di misura.

Misure dirette e indirette

Una misura è **diretta** quando la grandezza da misurare viene confrontata direttamente con la sua unità di misura.

ESEMPIO

- Misuriamo direttamente la velocità con un tachimetro.
- Misuriamo direttamente il tempo con un cronometro.

Una misura è **indiretta** quando si ricava, con un calcolo, dalla misura di altre grandezze.

ESEMPIO

- Misuriamo indirettamente la velocità media v a partire dalla misura della distanza s percorsa, del tempo t impiegato a percorrerla e calcolando $v = s/t$.

Scanned with CamScanner

Sistema Internazionale ed equivalenze

Il Sistema Internazionale delle unità di misura (SI) fissa **sette grandezze fisiche fondamentali** e le relative unità di misura. È adottato ufficialmente a livello internazionale.

Le sette grandezze fondamentali		
Nome della grandezza	Unità di misura	Simbolo
Lunghezza	metro	m
Massa	kilogrammo	kg
Intervallo di tempo	secondo	s
Intensità di corrente	ampere	A
Temperatura	kelvin	K
Intensità luminosa	candela	cd
Quantità di sostanza	mole	mol

A partire da queste sette grandezze fondamentali si costruiscono le unità di misura di tutte le altre grandezze: per esempio, il volume si misura in metri cubi (m^3) e la velocità in metri al secondo (m/s).

Le unità di misura a volte sono precedute da **prefissi** per ottenere multipli e sottomultipli.

Prefissi			
Nome	Simbolo	Moltiplica per	Potenza di 10
tera	T	1 000 000 000 000	10^{12}
giga	G	1 000 000 000	10^{9}
mega	M	1 000 000	10^{6}
kilo	k	1000	10^{3}
etto	h	100	10^{2}
deca	da	10	10^{1}
		1	
deci	d	0,1	10^{-1}
centi	c	0,01	10^{-2}
milli	m	0,001	10^{-3}
micro	μ	0,000 001	10^{-6}
nano	n	0,000 000 001	10^{-9}
pico	p	0,000 000 000 001	10^{-12}

multipli

sottomultipli

Alcune unità di misura non appartengono al SI ma vengono usate nella pratica quotidiana, per esempio: minuto, ettaro, pollice, quintale e miglia.

ESEMPIO

0,12 km (kilometri) 157 hg (ettogrammi) 0,87 ms (millisecondi)
44 μA (microampere) 0,5 kmol (kilomoli) 800 nm (nanometri)

Negli esercizi è spesso utile convertire le unità di misura di una grandezza in altre unità di misura attraverso le **equivalenze**.

Scanned with CamScanner

Regole	Esempi
▪ Da un multiplo o un sottomultiplo all'unità di misura principale: si sostituisce il prefisso con la moltiplicazione per la relativa potenza del 10.	▪ $8{,}1\ \mu m = 8{,}1 \times 10^{-6}\ m$ ▪ $7{,}35\ TA = 7{,}35 \times 10^{12}\ A$
▪ Da un prefisso verso un altro prefisso: all'esponente della potenza del 10 del prefisso di partenza si sottrae l'esponente della potenza del 10 del prefisso di arrivo.	▪ $5{,}4\ MW = 5{,}4 \times 10^{6} : 10^{-2}\ cW = 5{,}4 \times 10^{6-(-2)}\ cW = 5{,}4 \times 10^{8}\ cW$ ▪ $3{,}7\ nA = 3{,}7 \times 10^{-9} : 10^{3}\ kA = 3{,}7 \times 10^{-9-3}\ kA = 3{,}7 \times 10^{-12}\ kA$

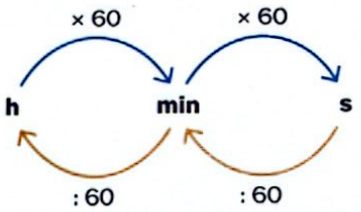
Quando si hanno *unità di misura elevate al quadrato*, la potenza del 10 ottenuta con le regole precedenti va elevata al quadrato e l'esponente raddoppia.

Quando si hanno *unità di misura elevate al cubo*, la potenza del 10 ottenuta con le regole precedenti va elevata al cubo e l'esponente triplica.

ESEMPIO

- $3{,}8\ m^2 = 3{,}8 \times (10^{-3})^2\ mm^2 = 3{,}8 \times 10^{-6}\ mm^2$
- $4{,}25\ dag^3 = 4{,}25 \times (10^{1} : 10^{-2})\ cg^3 = 4{,}25 \times (10^{1-(-2)})^3\ cg^3 = 4{,}25 \times 10^{9}\ cg^3$

Attenzione alle unità di misura del *tempo*: non sono basate su un sistema decimale. Per questo, le conversioni tra ore (h), minuti (min) e secondi (s) non seguono lo schema precedente.



Quando si hanno tempi espressi in ore, minuti e secondi, si convertono le singole unità di misura e si sommano i risultati.

ESEMPIO

$$2\ h\ 35\ min\ 46\ s = 2 \times 3600\ s + 35 \times 60\ s + 46\ s = 9346\ s$$

Quando le unità di misura sono delle frazioni, si convertono separatamente il numeratore e il denominatore e si calcola il rapporto.

ESEMPIO

$$1230\ \frac{kg}{m^3} = 1230 \times \frac{10^3\ g}{10^6\ cm^3} = 1{,}23\ \frac{g}{cm^3}$$

$$450\ \frac{km}{h} = 450 \times \frac{10^3\ m}{3600\ s} = 125\ \frac{m}{s}$$

ORA TOCCA A TE

1 Esegui le seguenti conversioni di unità di misura:

1200 m = ... km

24 mm = ... μm

12 g/cm³ = ... kg/m³

8,75 g = ... mg

25 m/s = ... km/h

1,2 cm³ = ... dm³

864 h 38 min = ... s

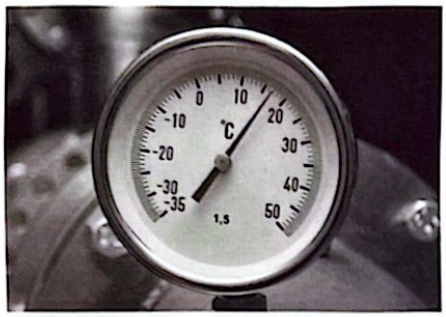
Scanned with CamScanner

2 Le caratteristiche degli strumenti di misura

Gli strumenti di misura che si utilizzano in laboratorio sono molto diversi tra loro a seconda della grandezza fisica che devono misurare. Gli strumenti possono essere *analogici* o *digitali*.

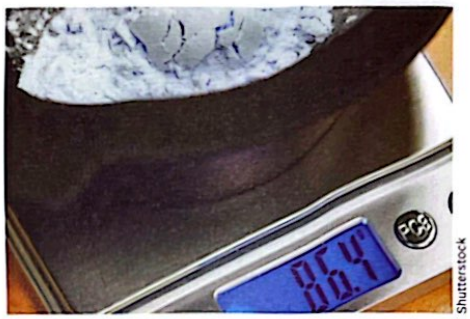
Strumento analogico

Il risultato della misura si legge attraverso un indice mobile su una *scala graduata*.



Strumento digitale

Il risultato della misura è espresso da un insieme di cifre che appaiono su un *display*.



Portata

È il più grande valore della grandezza che lo strumento può misurare.

ESEMPIO

Per questo tachimetro la portata è 240 km/h.

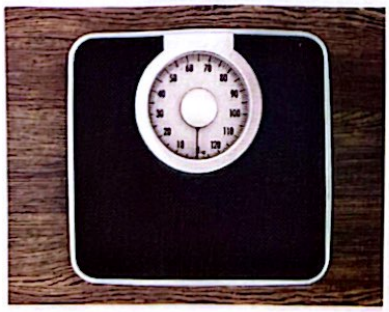
Per questo barometro la portata è 0,6 MPa.

Sensibilità

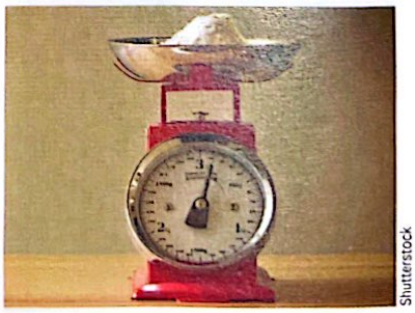
È la più piccola variazione della grandezza che lo strumento può apprezzare. Nel caso di uno strumento analogico, coincide quasi sempre con il valore della singola tacca della scala graduata.

ESEMPIO

Per questa bilancia pesapersone la sensibilità è 1 kg.



Per questa bilancia da cucina la sensibilità è 10 g.



Scanned with CamScanner

Prontezza

È la rapidità con cui uno strumento risponde a una variazione della grandezza da misurare.

ESEMPIO

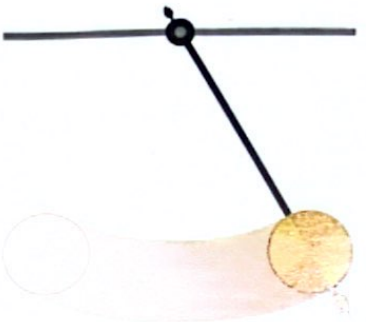
Il termometro a liquido che si usa per misurare la temperatura corporea ha scarsa prontezza: è necessario attendere qualche minuto prima di leggere correttamente il valore della temperatura.

- Alcuni strumenti, prima di essere usati, richiedono l'**azzeramento**, per far coincidere l'indice con lo zero della scala.
- Alcuni strumenti, specialmente quelli per misurare le grandezze elettriche, hanno **più portate**, che vanno scelte di volta in volta con accuratezza in base alla misura da eseguire.
- Tutti gli strumenti analogici richiedono attenzione per evitare **errori di parallasse**, che si verificano quando l'occhio dello sperimentatore non è esattamente sopra l'indice della scala, ma spostato lateralmente.

3 L'incertezza di una misura diretta

A ogni misura è sempre associata un'incertezza, più o meno grande. Questa è dovuta ai limiti dello strumento di misura utilizzato (*sensibilità dello strumento*) e agli *errori casuali* che si compiono nell'atto della misura.

Gli **errori casuali** sono legati al processo di misura e variano in modo imprevedibile da una misura all'altra. Influenzano il risultato qualche volta per eccesso, qualche altra volta per difetto.



ESEMPIO

Ripetendo più volte la misura del periodo di oscillazione di un pendolo, possiamo far partire o fermare il cronometro a volte in anticipo, a volte in ritardo rispetto all'oscillazione presa come riferimento, a causa dei nostri tempi di reazione.

Prove ripetute e incertezza statistica

L'incertezza dovuta agli errori casuali si può calcolare usando alcune tecniche statistiche ed è chiamata **incertezza statistica**. Per stimarla, è bene fare, se possibile, delle **prove ripetute** della stessa misura.

Riportiamo i passi per determinare il risultato della misura e la relativa incertezza statistica.

Valore medio

In una serie di misure ripetute della stessa grandezza, il **valore medio** $\overline{x}$ è il rapporto tra la somma delle misure e il numero N delle misure:

$$\overline{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \ldots + x_N}{N}$$

Scanned with CamScanner

Semidispersione assoluta o errore massimo

In una serie di misure la **semidispersione assoluta** e è la differenza tra il valore massimo x_{max} e il valore minimo x_{min} delle misure, divisa per due:

$$e = \frac{x_{max} - x_{min}}{2}$$

La semidispersione assoluta è una stima dell'incertezza statistica.

Scarto quadratico medio

Se il numero di misure effettuate è alto (per i nostri esperimenti, indicativamente maggiore o uguale a 5), si può effettuare una stima più rigorosa dell'incertezza statistica calcolando lo *scarto quadratico medio.*

Effettuate N misure $x_1, \ldots, x_N$ con media $\overline{x}$, si possono calcolare gli scarti di ogni misura dalla media $s_i = x_i - \overline{x}$, per $i = 1, \ldots, N$.

In una serie di misure lo **scarto quadratico medio** σ è la radice quadrata della media dei quadrati degli scarti.

Il simbolo Σ indica la *sommatoria* di molti termini, tutti costruiti con la medesima regola.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \overline{x})^2}{N}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} s_i^2}{N}}$$

ESEMPIO

La massa di un oggetto è stata misurata cinque volte e si sono ottenute le seguenti misure: 7,8 g; 7,6 g; 7,9 g; 7,7 g; 8,0 g.

- Il valore medio è:

$$\overline{m} = \frac{7{,}8\ \text{g} + 7{,}6\ \text{g} + 7{,}9\ \text{g} + 7{,}7\ \text{g} + 8{,}0\ \text{g}}{5} = 7{,}8\ \text{g}$$

- La semidispersione assoluta è:

$$e = \frac{(8{,}0 - 7{,}6)\ \text{g}}{2} = 0{,}2\ \text{g}$$

- Lo scarto quadratico medio è:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(7{,}8 - 7{,}8)^2 + (7{,}6 - 7{,}8)^2 + \ldots + (8{,}0 - 7{,}8)^2}{5}} = 0{,}141\ \text{g} \approx 0{,}1\ \text{g}$$

ORA TOCCA A TE

2 Nel raccogliere misure ripetute di intervalli di tempo, si sono ottenuti i seguenti valori: 12,4 s; 10,8 s; 11,2 s; 11,7 s; 12,2 s. Calcola:
- il valore medio;
- la semidispersione assoluta;
- lo scarto quadratico medio.

L'incertezza di una misura

L'incertezza di una misura è il valore più grande tra l'incertezza statistica (calcolata come semidispersione assoluta o scarto quadratico medio) e la sensibilità dello strumento.

ESEMPIO

Riferendosi all'esempio precedente, se la sensibilità della bilancia è 0,1 g e la semidispersione assoluta è 0,2 g, il risultato della misura si scrive: (7,8 ± 0,2) g.

Scanned with CamScanner

Il risultato di una misura

Si esprime scrivendo il valor medio $\overline{x}$ più o meno l'incertezza Δx, con la relativa unità di misura u:

$$x = (\overline{x} \pm \Delta x)\text{u}$$

Nel risultato di una misura l'incertezza va arrotondata a 1 cifra significativa [▶ cap. 2, par. 5] e il valore medio arrotondato alla cifra decimale corrispondente alla cifra indicata dall'incertezza.

ORA TOCCA A TE

3 Con una bilancia di sensibilità 0,01 g è stata eseguita una serie di misure di massa che ha fornito come valore medio 4,543 g e come semidispersione assoluta 0,04 g.

▶ Esprimi il risultato della misura con la sua incertezza.

Incertezza relativa e incertezza relativa percentuale

L'incertezza relativa e_r è il rapporto tra l'incertezza della misura e il suo valore medio:

$$e_r = \frac{\Delta x}{\overline{x}}$$

Moltiplicando per 100 il valore di e_r possiamo trovare l'incertezza relativa percentuale $e_{\%}$:

$$e_{\%} = (e_r \times 100)\%$$

ESEMPIO

Riferendosi all'esempio precedente delle misure di massa, l'incertezza relativa e l'incertezza relativa percentuale valgono:

$$e_r = \frac{0{,}2\ \text{g}}{7{,}8\ \text{g}} = 0{,}0256 \approx 0{,}03$$

$$e_{\%} = 0{,}03 \times 100 = 3\%$$

Osserva che l'incertezza relativa non ha unità di misura perché è il rapporto tra due grandezze omogenee, espresse con la stessa unità di misura.

ORA TOCCA A TE

4 Una certa quantità di acqua è stata pesata più volte su una bilancia e si sono ottenute le seguenti misure:
124 g; 125 g; 122; 123 g; 126 g; 125 g.

▶ Trova l'incertezza relativa percentuale.

Oltre agli errori casuali, è possibile commettere *errori sistematici*.

Gli **errori sistematici** influenzano il risultato sempre nello stesso modo: o per eccesso o per difetto.

Quando ci si accorge che le misure sono affette da errori sistematici, si può intervenire per eliminarli, perché, il più delle volte, sono dovuti a un uso non corretto o a un malfunzionamento dello strumento.

ESEMPIO

Una bilancia non ben azzerata può indicare un valore sempre maggiore o sempre minore di quello corretto.

Scanned with CamScanner

4 L'incertezza di una misura indiretta

Quando si vuole stimare l'incertezza di una misura indiretta, si usano delle regole a seconda del calcolo eseguito per ottenere il valore della misura.

Prodotto per una costante

L'incertezza sul prodotto di una costante per una misura è uguale al prodotto della costante per l'incertezza della misura.

$$\Delta(k \cdot a) = k \cdot \Delta a$$

Quale formula ti serve?
Ricorda che la lunghezza di una circonferenza C è data dal prodotto tra il diametro d (o il doppio del raggio r) e il numero trascendente $\pi = 3{,}14159$:

$$C = \pi d = 2\pi r$$

ESEMPIO

Vogliamo ottenere il valore della lunghezza di una circonferenza sapendo che la misura del diametro ha fornito il valore $d = (4{,}3 \pm 0{,}1)$ cm.

- Il valore della lunghezza della circonferenza è:

$$\overline{C} = \pi\overline{d} \approx 3{,}14159 \cdot (4{,}3 \text{ cm}) = 13{,}509 \text{ cm}$$

- L'incertezza sulla misura della circonferenza è:

$$\Delta C = \pi \cdot \Delta d = \pi(0{,}1 \text{ cm}) \approx 0{,}314 \text{ cm} \approx 0{,}3 \text{ cm}$$

- Il risultato finale è: $C = (13{,}5 \pm 0{,}3)$ cm.

Somma e differenza

L'incertezza sulla somma o sulla differenza di risultati sperimentali è uguale alla somma delle corrispondenti incertezze:

$$\Delta(a + b) = \Delta a + \Delta b$$
$$\Delta(a - b) = \Delta a + \Delta b$$

ESEMPIO

La misura dei lati a e b di una superficie rettangolare ha fornito i seguenti risultati:

$$a = (8{,}5 \pm 0{,}2) \text{ cm}$$

$$b = (22{,}7 \pm 0{,}4) \text{ cm}$$

Vogliamo calcolare la misura del semiperimetro p.

- Il valore del semiperimetro è:

$$\overline{p} = \overline{a} + \overline{b} = (8{,}5 + 22{,}7) \text{ cm} = 31{,}2 \text{ cm}$$

- L'incertezza sulla misura del semiperimetro è:

$$\Delta p = \Delta a + \Delta b = (0{,}2 + 0{,}4) \text{ cm} = 0{,}6 \text{ cm}$$

- Il risultato finale è: $p = (31{,}2 \pm 0{,}6)$ cm.

Prodotto e quoziente

L'incertezza relativa sul prodotto o sul quoziente di due misure è uguale alla somma delle incertezze relative sulle singole misure:

$$\frac{\Delta(a \cdot b)}{\overline{a} \cdot \overline{b}} = \frac{\Delta a}{\overline{a}} + \frac{\Delta b}{\overline{b}} \quad ; \quad \frac{\Delta\left(\frac{a}{b}\right)}{\frac{\overline{a}}{\overline{b}}} = \frac{\Delta a}{\overline{a}} + \frac{\Delta b}{\overline{b}}$$

Osserva che la regola per l'incertezza relativa sul prodotto e sul quoziente è la stessa.

Scanned with CamScanner

ESEMPIO

La misura dei lati a e b di una superficie rettangolare ha fornito i seguenti risultati: $a = (8{,}5 \pm 0{,}2)$ cm; $b = (22{,}7 \pm 0{,}4)$ cm.

Vogliamo calcolare la misura dell'area A.

- Il valore dell'area è:

$$\overline{A} = \overline{a} \cdot \overline{b} = (8{,}5 \text{ cm})(22{,}7 \text{ cm}) = 193 \text{ cm}^2$$

- L'incertezza relativa sull'area è:

$$\frac{\Delta A}{\overline{A}} = \frac{\Delta a}{\overline{a}} + \frac{\Delta b}{\overline{b}} = \frac{0{,}2}{8{,}5} + \frac{0{,}4}{22{,}7} = 0{,}04$$

- L'incertezza dell'area risulta:

$$\Delta A = \overline{A} \cdot \frac{\Delta A}{\overline{A}} = (193 \text{ cm}^2) \cdot 0{,}04 = 7{,}7 \text{ cm}^2 \approx 8 \text{ cm}^2$$

- L'area è: $A = (193 \pm 8)$ cm^2.

ORA TOCCA A TE

5 La misura del lato di una lamina quadrata ha fornito il valore $L = (18{,}5 \pm 0{,}5)$ cm.
▶ Esprimi il valore del perimetro con la sua incertezza.

6 La misura dei lati a e b di una superficie rettangolare ha fornito i seguenti risultati: $a = (18{,}4 \pm 0{,}2)$ cm; $b = (9{,}5 \pm 0{,}5)$ cm.
▶ Esprimi il valore della differenza tra i due lati con la sua incertezza.
▶ Esprimi il valore dell'area della superficie con la relativa incertezza.

5 Le cifre significative di una misura

Le **cifre significative** sono costituite dalle cifre certe e dalla prima cifra incerta della misura.

Se scriviamo che la distanza percorsa da un'auto è 743 m, intendiamo che l'ultima cifra riportata (3) è incerta e le cifre significative sono tre. Se scriviamo la stessa distanza come 743,1 m, significa che l'incertezza ora ricade sulla prima cifra decimale e le cifre significative sono quattro.

Bisogna prestare particolare attenzione alla cifra 0. Essa:

- è significativa quando si trova alla fine del numero dopo la virgola, come in 43,0 s (tre cifre significative);
- non è significativa quando è all'inizio del numero, come in 0,0021 (due cifre significative).

Inoltre:

- nella misura (400 ± 20) m l'ultimo zero non è significativo;
- nella misura (560 ± 2) g lo zero finale è significativo, perché è la prima cifra sulla quale ricade l'incertezza riportata.

ORA TOCCA A TE

7 Quante cifre significative hanno i seguenti numeri?
0,103 346 9,0 0,00017

Scanned with CamScanner

L'arrotondamento

L'**arrotondamento** è la scrittura del risultato di una misura con un numero minore di cifre significative.

A seconda dei casi, si arrotonda *per difetto* o *per eccesso*.

Per difetto

Se la prima cifra da cancellare è compresa tra 0 e 4 (estremi inclusi), si lascia invariata la cifra che precede.

prima cifra da cancellare compresa tra 0 e 4

$21{,}973 \approx 21{,}97$

questa cifra rimane invariata

Per eccesso

Se la prima cifra da cancellare è compresa tra 5 e 9 (estremi inclusi), si aumenta di una unità la cifra che precede.

prima cifra da cancel compresa tra 5 e 9

$3{,}268 \approx 3{,}27$

questa cifra aumenta di una unità

ESEMPIO

per eccesso

0,02915 (4 cifre significative) → **0,0292** (3 cifre significative)

per difetto

0,02915 (4 cifre significative) → **0,029** (2 cifre significative)

Le cifre significative nelle operazioni

Vediamo alcune regole pratiche per fornire un risultato compatibile con le cifre significative dei dati usati nei calcoli, senza ricorrere alle formule di propagazione degli errori.

Regole

- Nella **moltiplicazione** e nella **divisione di una misura per un numero**, il risultato deve avere lo stesso numero di cifre significative della misura.
- Nella **moltiplicazione** e nella **divisione di misure**, il risultato deve avere lo stesso numero di cifre significative della misura meno precisa.
- Nell'**addizione** e nella **sottrazione di misure**, il risultato va approssimato alla cifra decimale della misura la cui incertezza cade sulla cifra più significativa, cioè quella con la posizione decimale più grande.

Esempi

- $0{,}819\ \text{g} \times 8 = 6{,}552\ \text{g} = 6{,}55\ \text{g}$

  3 cifre significative

- $\frac{4{,}5\ \text{km}}{163{,}4\ \text{s}} = 0{,}02754\ \text{km/s} = 0{,}028\ \text{km}$

  2 cifre significative

- $3{,}7\ \text{km} + 1{,}58\ \text{km} + 0{,}041\ \text{km} = 5{,}321\ \text{km} = 5{,}3\ \text{km}$

  arrotondiamo a una cifra decimale come nella misura 3,7 km

Scanned with CamScanner

ORA TOCCA A TE

8 Esegui le operazioni e scrivi il risultato con l'approssimazione corretta.
- (271 m)/6 = ...
- 8,9 km × 5 = ...
- (57,32 g)/(1,8 cm^3) = ...
- 0,78 m × 1,22 m = ...
- 5,2 cm + 3,47 cm + 2,184 cm = ...

6 La notazione scientifica

Un numero in **notazione scientifica** è scritto come il prodotto di due fattori: un coefficiente, compreso tra 1 e 10, e una potenza del 10.

$$3{,}75 \times 10^6 \text{ m}$$

coefficiente compreso tra 1 e 10 — potenza del 10

ESEMPIO

Scriviamo in notazione scientifica il numero 154,7.
- Per ottenere un coefficiente compreso tra 1 e 10, **dividiamo** per 100, ovvero per 10^2, e otteniamo 1,547.
- Moltiplichiamo il coefficiente per 10^2 per ottenere il numero iniziale: $1{,}547 \times 10^2$.

Scriviamo in notazione scientifica il numero 0,00436.
- Per ottenere un coefficiente compreso tra 1 e 10, **moltiplichiamo** per 1000, ovvero per 10^3, e otteniamo 4,36.
- Moltiplichiamo il coefficiente per 10^{-3} per ottenere il numero iniziale: $4{,}36 \times 10^{-3}$.

Quando si divide il coefficiente, la potenza del 10 ha *esponente positivo*. *Quando si moltiplica* il coefficiente, la potenza del 10 ha *esponente negativo*.

L'ordine di grandezza

L'**ordine di grandezza** di un numero è la potenza di 10 che più si avvicina a quel numero.

Per determinare l'ordine di grandezza, si può scrivere il numero in notazione scientifica. L'ordine di grandezza:
- coincide con la potenza del 10 quando il coefficiente è minore di 5,5;

$$3{,}51 \times 10^4 \text{ kg}$$

coefficiente minore di 5,5 — l'ordine di grandezza è 10^4

- è uguale alla potenza del 10 successiva a quella riportata quando il coefficiente è maggiore o uguale a 5,5.

$$7{,}92 \times 10^4 \text{ kg}$$

coefficiente maggiore di 5,5 — l'ordine di grandezza è 10^5

ORA TOCCA A TE

9 Determina l'ordine di grandezza dei seguenti numeri:
0,0021 0,079 1432 62590 299792458

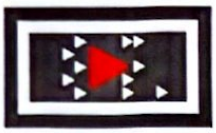
Scanned with CamScanner

7 Gli strumenti di misura

Nella tabella trovi una sintesi delle caratteristiche principali di alcuni strumenti di misura che userai per fare gli esperimenti.

Sintesi delle caratteristiche di alcuni strumenti

Strumento	Grandezza misurata	Portata	Sensibilità
Metro	lunghezza	da pochi decimetri (1-2 dm) ad alcune decine di metri (10-20 m)	1 mm
Cilindro graduato	volume dei liquidi	da una decina di millilitri a un litro o più	da 0,1 mL a 10 mL
Bilancia	massa	da pochi centesimi di grammo fino a molti kilogrammi	da 0,01 g a 1 g
Cronometro	tempo	da alcune decine di minuti a varie ore	da 0,01 s a 1 s
Termometro	temperatura	da poche decine a oltre un centinaio di gradi Celsius	da 0,1 °C a 1 °C
Dinamometro	forza	da 0,1 N a 100 N	da 0,01 N a 1 N

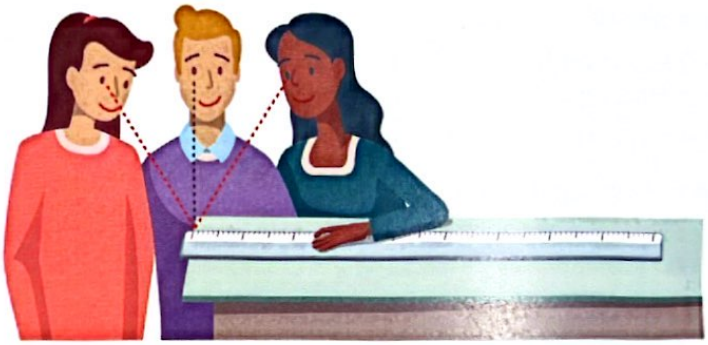


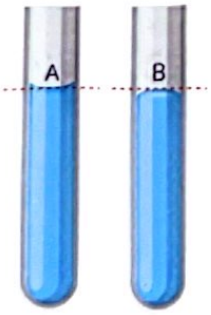
Descrizione di questi strumenti di misura:
- il metro
- il cilindro graduato
- la bilancia
- il cronometro
- il termometro
- il dinamometro

Errore di parallasse

Nella lettura degli strumenti dotati di scala graduata, per esempio il metro, si può incorrere nell'*errore di parallasse*. Quando si osserva una scala graduata o si controlla l'allineamento con un oggetto, occorre guardare da una posizione perpendicolare alla scala.

Dei tre osservatori nella figura sotto, solo quello al centro può valutare correttamente l'allineamento tra il bordo del tavolo e il righello graduato.





Lettura del menisco

Negli strumenti in cui è presente un liquido in un contenitore stretto, come il cilindro graduato o il capillare di un termometro a liquido, a volte la superficie del liquido non è perfettamente piana, ma si presenta curva vicino alle pareti del recipiente. Si forma così il *menisco*.

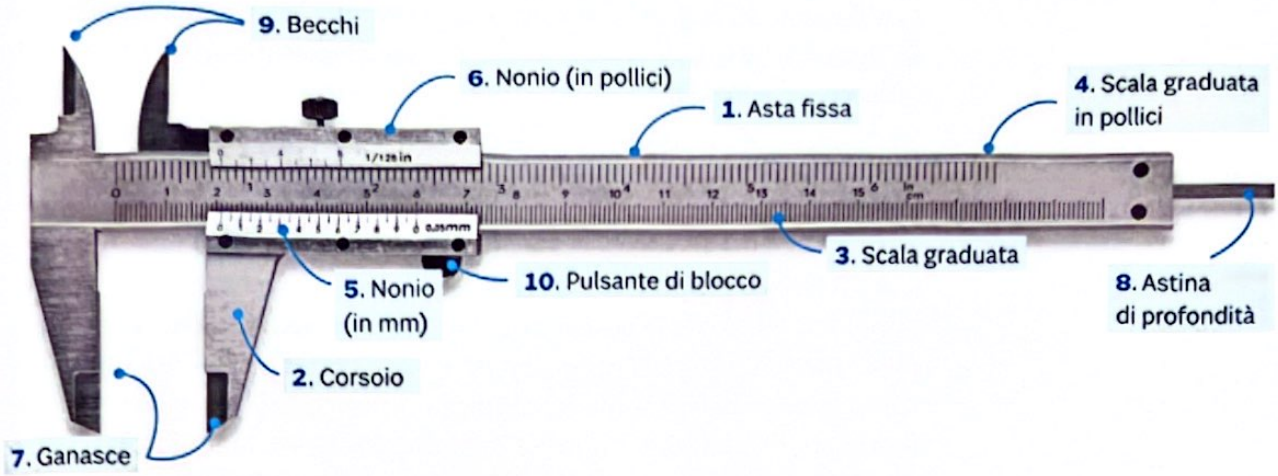
Nel caso A della figura, tipico dell'acqua, si effettua la lettura in corrispondenza della parte inferiore del menisco. Nel caso B, tipico del mercurio, si effettua la lettura in corrispondenza della parte superiore del menisco.

Azzeramento

Prima di usare alcuni strumenti, come la bilancia e il dinamometro, bisogna controllare che siano azzerati in modo corretto. Per esempio, l'indice di un dinamometro deve segnare zero quando non è applicata alcuna forza alla sua estremità. Se così non fosse, bisogna tarare lo strumento per evitare di introdurre errori sistematici nelle misure.

Scanned with CamScanner

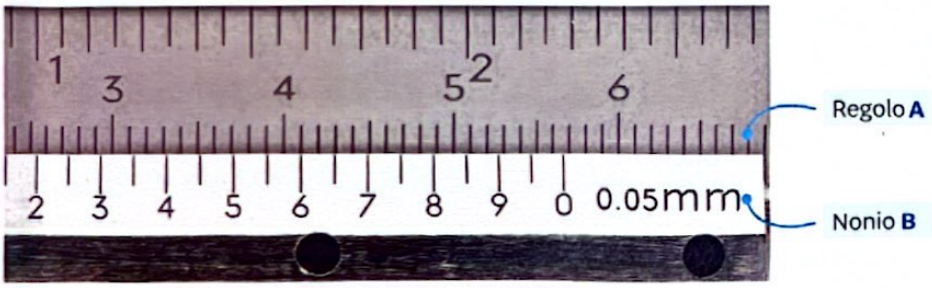
Il calibro



Descrizione

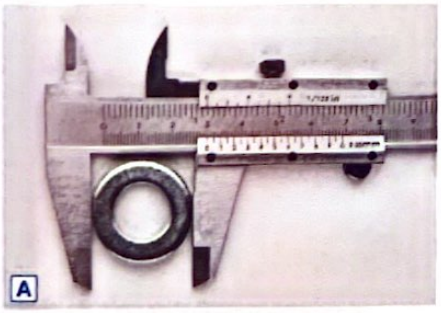
È costituito da un'asta fissa (**1**) su cui è incisa una scala graduata in mm (**3**) e in pollici (**4**) e da una parte mobile, detta corsoio (**2**), scorrevole sulla precedente, con scale a nonio in corrispondenza della scala millimetrica (**5**) e di quella in pollici (**6**).

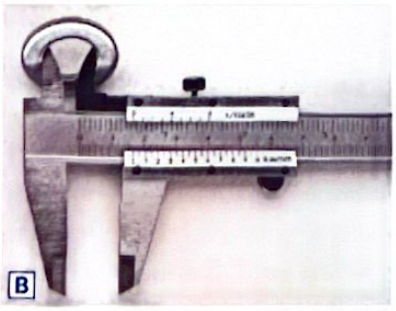
Il **nonio** è un dispositivo costituito da un regolo (**A**) su cui è riportata una scala graduata, per esempio in millimetri, e da un altro regolo, detto nonio (**B**), scorrevole rispetto al precedente, anch'esso dotato di scala.

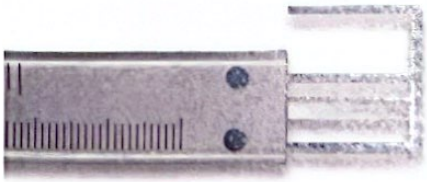


Grandezza misurata

Il calibro misura la lunghezza. Permette misure: di esterni (**figura A**), come spessori di oggetti, con le ganasce (**7**); di interni (**figura B**), come il diametro di un foro, con i becchi (**9**); di profondità (**figura C**) con l'astina (**8**).


A


B


C

Portata

I calibri più comuni consentono di misurare lunghezze fino a 15 cm.

Scanned with CamScanner

Sensibilità

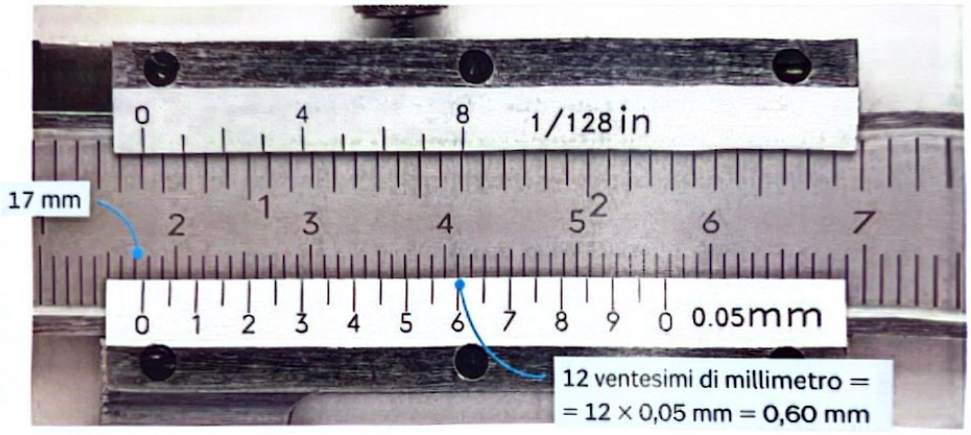
I calibri più diffusi sono «ventesimali», ovvero hanno una sensibilità di 1/20 mm, cioè 0,05 mm. Esistono anche calibri decimali (0,1 mm) e cinquantesimali (0,02 mm).

Come si usa

Supponiamo di avere un regolo graduato in millimetri con un nonio ventesimale. Si apre il calibro premendo il pulsante di blocco (**10**) e si stringe con precisione l'oggetto da misurare tra le ganasce o i becchi. Si rilascia il pulsante e si osserva la posizione dello zero del nonio rispetto alla scala fissa (**3**): questo fornisce il valore intero dei millimetri della lunghezza. Si cerca la prima tacca del nonio (**5**) allineata con una della scala fissa per avere il numero di ventesimi di millimetro da aggiungere (ogni tacca sul nonio vale 0,05 mm). Esistono calibri digitali in cui il risultato della misura si legge direttamente su un display inserito sullo strumento.

Esempio di lettura

(17,60 ± 0,05) mm



Attenzione

- La lettura dello strumento va fatta in corrispondenza della tacca 0 del nonio, e non dell'inizio del corsoio.
- È opportuno sistemarsi davanti al calibro, con gli occhi ben di fronte alla scala, per effettuare la lettura evitando errori di parallasse.

Il sonar

Descrizione

Il sonar emette onde ultrasonore con frequenze superiori a 20 000 Hz, non percepibili dall'uomo. Se le onde si riflettono contro un ostacolo, ritornano al dispositivo che misura il tempo impiegato nel tragitto di andata e ritorno; sulla base del tempo e della velocità del suono, il software calcola la posizione dell'oggetto. Se l'oggetto si muove nel campo d'azione del sonar, il software usa i dati raccolti per costruire i grafici della posizione, della velocità e dell'accelerazione in funzione del tempo.

Scanned with CamScanner

Grandezza misurata

Il sonar misura la posizione. Da due posizioni successive il software può calcolare la velocità; da due velocità successive, il software può calcolare l'accelerazione.

A volte, a causa della presenza di errori casuali, le velocità e le accelerazioni calcolate dal software su intervalli brevi possono essere molto irregolari ed è opportuno valutare se calcolare queste grandezze su intervalli di tempo più lunghi, a partire dai dati della posizione o della velocità.

Portata

Di solito va da alcuni centimetri a qualche metro.

Sensibilità

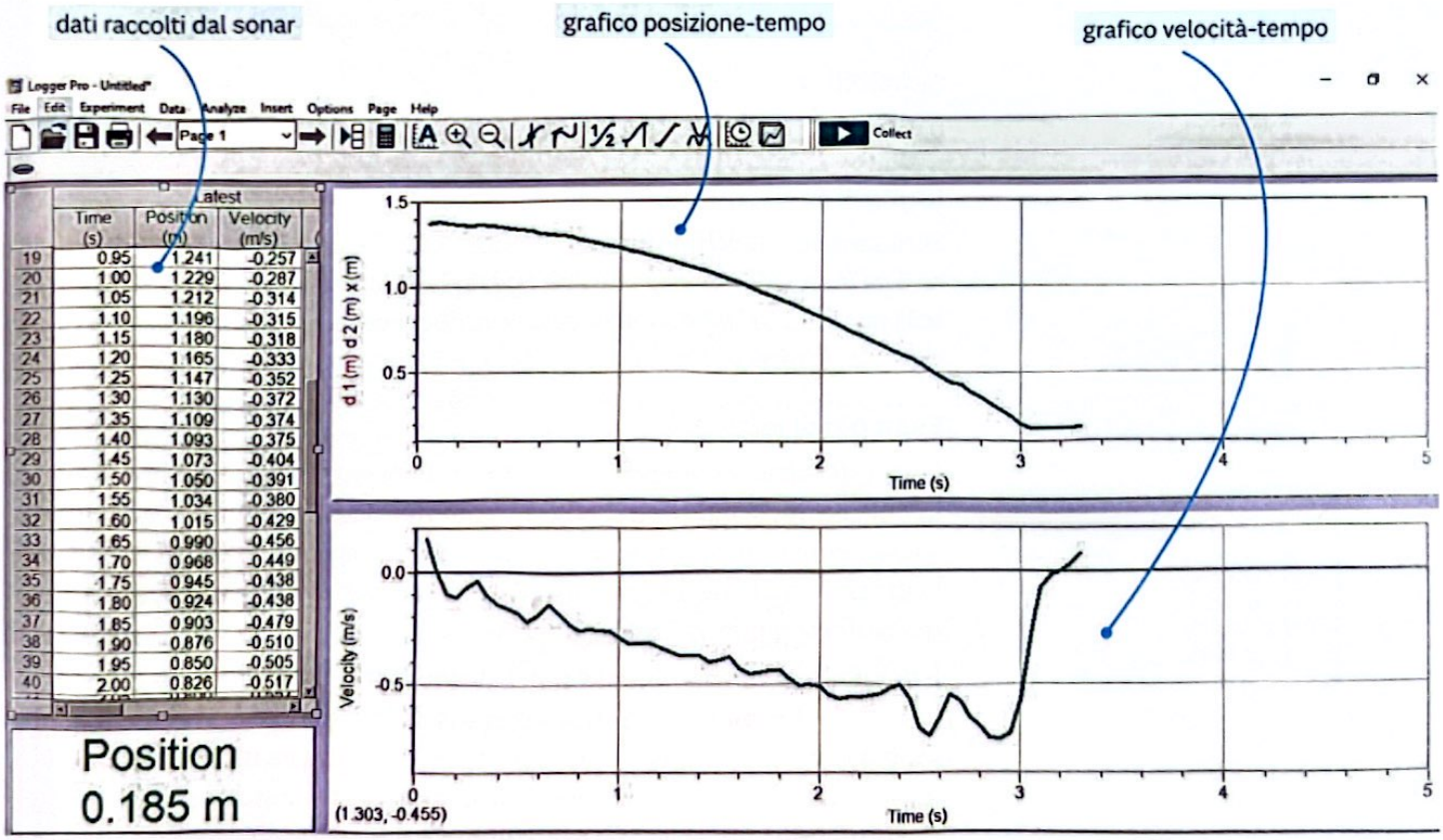
All'incirca un millimetro.

Come si usa

Si imposta la frequenza di raccolta dei dati e la durata dell'acquisizione, si orienta l'emettitore del sonar verso l'oggetto di cui si vuole misurare il movimento e si avvia la misura.

Esempio di lettura

Nella figura vediamo una tabella a sinistra che riporta i dati raccolti dal sonar (tempo, posizione e velocità) e, a fianco, i grafici posizione-tempo e velocità-tempo.

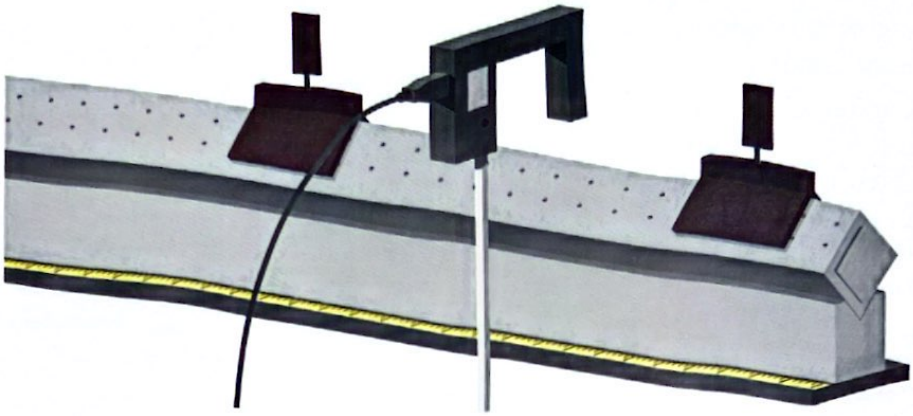


Attenzione

Bisogna orientare con cura il sonar verso il bersaglio, prestando attenzione all'ambiente circostante, per evitare riflessioni non volute. L'oggetto in moto deve avere una superficie in grado di riflettere efficacemente le onde.

Scanned with CamScanner

La fotocellula



Descrizione

È formata da un trasmettitore e un ricevitore a infrarossi montati su una forcella in plastica. La fotocellula è collegata a un software in grado di rilevare quando il segnale trasmesso non viene ricevuto dal ricevitore. Questo permette di registrare il passaggio di un oggetto che oscuri il ricevitore. Molte forcelle sono dotate di una spia che si accende durante l'oscuramento.

Grandezza misurata

La fotocellula misura gli istanti di inizio e fine oscuramento del ricevitore (misura diretta), e la velocità media di attraversamento (misura indiretta).

Sensibilità

0,001 ms.

Come si usa

Si fissano le fotocellule lungo il percorso dell'oggetto di cui si vuole rilevare il passaggio, controllando che questo in effetti oscuri il ricevitore durante il transito. Si imposta un'opportuna durata di acquisizione e si avvia la misura.

Esempio di lettura

	Latest		
	Time (s)	State 1	State 2
1	1.451784		1
2	1.611220		0
3	2.192686	1	
4	2.300586	0	
5			

Grazie al software collegato alla fotocellula è possibile conoscere gli istanti in cui comincia e finisce l'oscuramento del ricevitore. Le fotocellule sono solitamente montate sulle rotaie ad aria e rilevano il passaggio del carrello in transito grazie un supporto (bersaglio) posizionato al centro, che permette di raggiungere l'altezza dei rivelatori.

È possibile, per esempio, calcolare la velocità media del carrello in un tratto inserendo due fotocellule a una certa distanza sulla rotaia. In figura si possono osservare i tempi di inizio (1) e fine (0) oscuramento di ciascuna delle due fotocellule (i cui stati sono indicati rispettivamente in rosso e in blu).

Da questi dati possiamo ottenere la durata Δt di passaggio del carrello tra i due traguardi calcolando la differenza dei due tempi di inizio (o di fine) oscuramento delle due fotocellule. Nota poi la distanza s tra le due fotocellule, è possibile calcolare la velocità media v_m del carrello tra le due fotocellule come $v_m = \frac{s}{\Delta t}$.

Scanned with CamScanner

È anche possibile calcolare la velocità istantanea v di passaggio del carrello attraverso una fotocellula. Prima di mettere in moto il carrello, misuriamo lo spazio percorso dal carrello durante la fase di oscuramento della fotocellula: muoviamo manualmente il carrello molto lentamente, registriamo la sua posizione quando la fotocellula si oscura e quando la fotocellula si riattiva, calcoliamo la distanza d percorsa come differenza tra queste due posizioni. Calcoliamo il tempo di passaggio Δt come differenza tra i tempi di fine e inizio oscuramento e infine la velocità di attraversamento (quasi istantanea essendo l'intervallo temporale molto piccolo) come $v = \frac{d}{\Delta t}$.

Il laboratorio RTL (Real Time Lab)

A B

Descrizione

Spesso nei laboratori scolastici sono disponibili sistemi di acquisizione e analisi dati «in tempo reale» (RTL). Questi sistemi di misura sono costituiti essenzialmente da sensori, interfaccia e calcolatrici grafiche (**figura A**) o sensori e computer (**figura B**). I sensori sono dispositivi sensibili alle variazioni di una grandezza fisica; queste variazioni sono tradotte in segnali elettrici che vengono inviati al computer direttamente o attraverso un'interfaccia di collegamento. Con la tecnologia bluetooth è possibile collegare i sensori a piattaforme di acquisizione su PC, tablet o smartphone.

Grandezza misurata

I sensori permettono di misurare direttamente un'ampia gamma di grandezze fisiche: posizione, accelerazione, forza, temperatura, pressione, tensione e corrente elettriche, intensità luminosa, ecc.

Si può regolare la frequenza e la durata dell'acquisizione dati.

Come si usa

Sul computer, un software specifico visualizza i dati raccolti sotto forma di tabelle e grafici. È un laboratorio «in tempo reale» perché sul display della calcolatrice o del computer si possono seguire «in diretta» la raccolta e la visualizzazione dei dati e il software ne facilita l'analisi e l'interpretazione.

Scanned with CamScanner

Lo smartphone

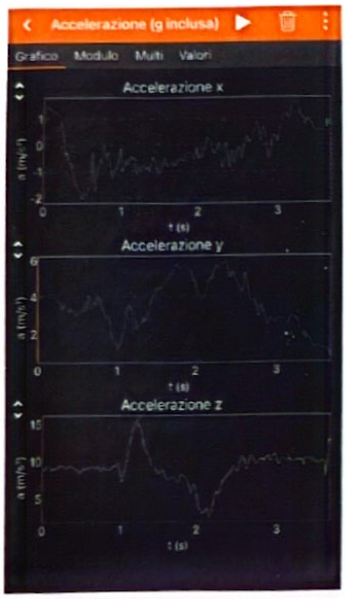
Descrizione

Lo smartphone è un piccolo ma potente computer, dotato di sensori che permettono di utilizzarlo per fare esperimenti di fisica. Alcune app consentono di raccogliere e analizzare dati.

Grandezze misurate

In base ai sensori e alle app in dotazione, con lo smartphone si possono misurare:

- accelerazioni, con gli accelerometri;
- velocità angolari, con il giroscopio;
- pressione atmosferica, con il barometro;
- campi magnetici, con il magnetometro;
- intensità luminosa, con il sensore di luminosità;
- intensità sonora, con il microfono;
- tempo, con l'app cronometro.



Portata

È una proprietà dei chip dell'hardware dello smartphone diversa per ogni grandezza misurata. Gli accelerometri più diffusi hanno una portata di $\pm 2g = \pm 19{,}6\ m/s^2$, i giroscopi di 35 rad/s.

Sensibilità

È una proprietà dei chip dell'hardware dello smartphone diversa per ogni grandezza misurata. Gli accelerometri più diffusi hanno una sensibilità di $0{,}001\ m/s^2$, i giroscopi di 0,001 rad/s.

Come si usa

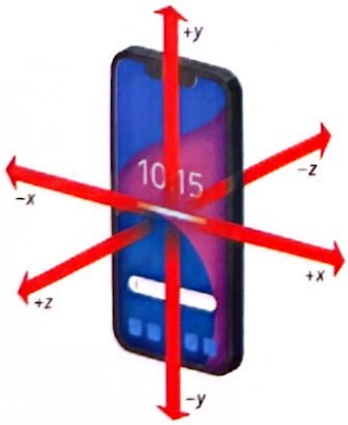
Per effettuare misure tramite i sensori interni, occorrono delle app per leggerne i valori e presentarli con grafici o tabelle. Sono dei veri e propri RTL.

Le app dipendono dal sistema operativo usato dallo smartphone. Tra le più comuni e gratuite, citiamo:

- *Physics Toolbox Sensor Suite* (Vieyra Software) per iOS e Android;
- *Phyphox* (The Apache Software Foundation- RWTH Aachen University) per iOS e Android.

Esempio di lettura

L'applicazione Phyphox sfrutta l'accelerometro per misurare l'accelerazione a cui è sottoposto lo smartphone lungo le tre direzioni dello spazio.



Attenzione

Con alcuni sensori (accelerometro, giroscopio, magnetometro) occorre posizionare accuratamente lo smartphone perché la misura delle grandezze corrispondenti viene effettuata lungo tre direzioni, secondo lo schema a fianco.

Per esempio, in base a questa impostazione, vengono misurate e visualizzate le accelerazioni a_x, a_y, a_z, lungo i tre assi ortogonali x, y, z.

Scanned with CamScanner

I software per l'analisi di un video

App VidAnalysis

È un'applicazione disponibile per smartphone con sistemi Android.

Dopo aver caricato il video, si comincia l'analisi che richiede di:

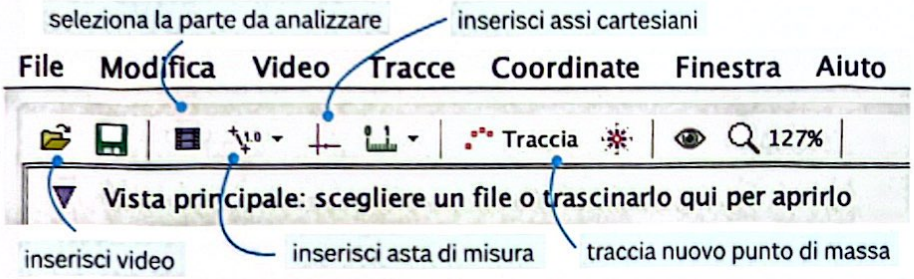
- individuare una scala di misura (fornendo le dimensioni di un corpo presente nella prima immagine del video, sullo stesso piano dell'oggetto di cui si vuole studiare il moto);
- scegliere il sistema di riferimento spaziale;
- inserire, fotogramma per fotogramma, la posizione dell'oggetto di cui si vuole studiare il moto.

Terminata questa parte, l'app produce una tabella delle posizioni, delle velocità e delle accelerazioni, e i relativi grafici.

È importante effettuare le riprese *a telecamera fissa*, in modo che gli spostamenti dell'oggetto siano attribuibili al moto dell'oggetto stesso e non a quello della telecamera.

Tracker

Tracker è un software per PC disponibile gratuitamente sul sito physlets.org per i sistemi operativi Windows, MacOS e Linux.



- Dal menù `File` seleziona `Apri` e scegli il file video da caricare.
- Il numero rosso a sinistra sotto il video rappresenta il fotogramma mostrato. Scorri il filmato per decidere l'intervallo di tempo da analizzare e seleziona il primo e l'ultimo fotogramma col comando `Video/Impostazione clip` (disponibile anche dalla terza icona dei comandi rapidi, che rappresenta una pellicola).
- Inserisci e posiziona gli assi coordinati (quinto comando rapido).
- Utilizza l'asta di misura (quarto comando rapido) per specificare la lunghezza di un oggetto di dimensione nota nel filmato e fornire così al software un'unità di misura.
- Poni il filmato all'inizio del tratto da considerare.
- Dal comando `Traccia` (settimo comando rapido) scegli l'opzione `Nuovo punto di massa`.
- Tieni premuto il tasto `maiusc`; osserva che il puntatore del mouse ha la forma di un mirino quadrato.
- Clicca sulla posizione dell'oggetto di cui vuoi studiare il moto.
- Il filmato avanza di un fotogramma. Tenendo premuto `maiusc` clicca sulla nuova posizione; ripeti questa operazione fino al termine del moto.
- Mentre selezioni le posizioni dell'oggetto, sulla destra si forma il grafico del moto e la tabella dei dati.
- Al termine dell'acquisizione dei dati puoi cliccare sulle didascalie degli assi del grafico e modificare le grandezze rappresentate.

Scanned with CamScanner

3 L'analisi dei dati con il foglio di calcolo

Il foglio di calcolo è uno strumento informatico per l'elaborazione e l'analisi dei dati.

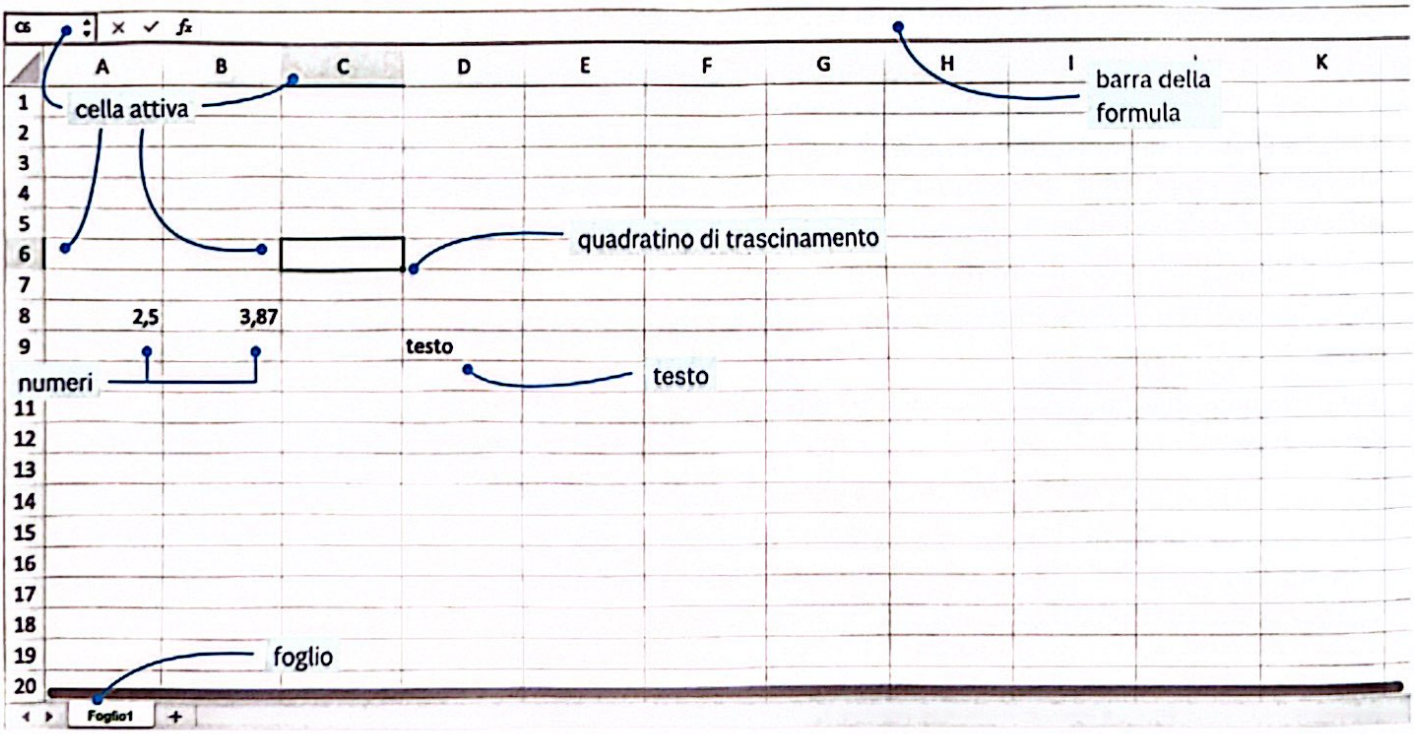
Con il suo aiuto possiamo organizzare i dati in tabelle ed eseguire un'ampia serie di operazioni matematiche per elaborare e analizzare dati scientifici.

Esistono diversi programmi di foglio di calcolo, alcuni dei quali anche molto sofisticati come, per esempio, Microsoft Excel, Numbers, Google Docs Fogli, LibreOffice Calc e Apache OpenOffice Calc.

Tutti i fogli di calcolo presentano caratteristiche generali di funzionamento simili e le operazioni più comuni vengono eseguite con le stesse istruzioni nella maggior parte dei programmi. Perciò, una volta imparati i principi base di uno di essi, non è difficile cominciare a usarne un altro.

Ogni file creato da un foglio di calcolo rappresenta una *cartella di lavoro*, che contiene a sua volta più *fogli di lavoro*. Ciascun foglio di lavoro è formato da una grande tabella di *celle*; la posizione delle celle nel foglio (*indirizzo*) è identificata da una lettera e da un numero (per esempio, la cella C6 si trova nella terza colonna, chiamata C, e nella sesta riga) che sono il suo *riferimento di cella*.

Una cella può contenere parole, numeri, date o formule.



Scanned with CamScanner

1 Inserire e modificare i dati

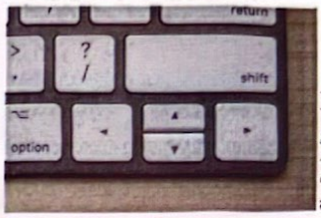
Per **scrivere** all'interno di una cella, è necessario selezionarla puntandola col mouse e facendo clic su di essa. La cella selezionata si *attiva* e il suo indirizzo compare nel riquadro in alto a sinistra.

Il testo digitato in una cella viene contemporaneamente riprodotto nella barra della formula. Per confermare l'immissione premiamo `Invio`, oppure un *tasto freccia* sulla tastiera che porta a un'altra cella.

Se l'immissione è riconosciuta come testo, viene allineata a sinistra della cella; se è riconosciuta come numero, viene allineata a destra.

Si può **selezionare** un insieme di celle facendo clic con il mouse sulla prima e, tenendo premuto il pulsante, trascinando il cursore fino all'ultima. Per selezionare gruppi di celle non adiacenti, si seleziona il primo gruppo e poi si procede con i successivi tenendo premuto il tasto CTRL (oppure il tasto Command).

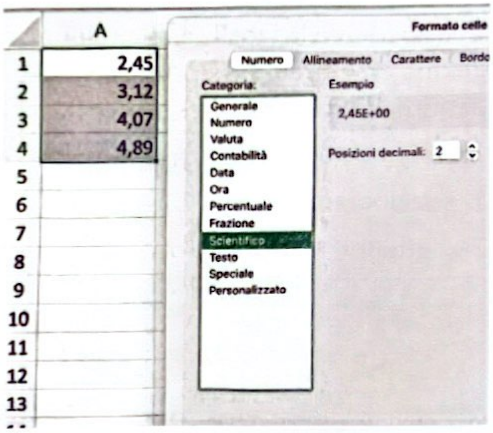
Per muoverti più agevolmente da una cella all'altra, puoi usare le frecce che trovi sulla tastiera.



Clay Banks/Unsplash

Formato di una cella

Il formato di una cella determina come viene mostrato il suo contenuto. Per esempio, se vogliamo visualizzare numeri in notazione scientifica, scegliamo il menu `Formato`, poi `Celle` e infine, nella finestra di dialogo che comparirà, scegliamo la scheda `Numeri` e la categoria `Scientifico` (se digitiamo il numero 0,000005 e premiamo invio, nella cella comparirà 5,00E-06).



Il numero può anche essere inserito direttamente in notazione scientifica, per esempio come 3E+6 per indicare 3×10^6.

Utilizzando invece il menù `Formato/Celle/Numero` possiamo scegliere quante cifre decimali di ogni numero mostrare, per facilitare la lettura e il confronto. I dati sono comunque registrati e utilizzati con tutte le cifre con cui sono stati inseriti o calcolati e la modifica riguarda solo la loro presentazione grafica.

ESEMPIO

Nella colonna A della figura sono stati inseriti quattro numeri decimali, di cui due in notazione scientifica. I numeri sono stati copiati nella colonna B, formattata con due cifre decimali, e nella colonna C, formattata in notazione scientifica con una cifra decimale.

	A	B	C
1	345,67	345,67	3,5E+02
2	0,01267	0,01	1,3E-02
3	1,00E+05	100000,00	1,0E+05
4	4,57E-06	0,00	4,6E-06
5			

Scanned with CamScanner

2 Inserire e modificare le formule

Una **formula** è un'espressione che, digitata in una cella, effettua automaticamente dei calcoli o delle operazioni sui dati del foglio di calcolo. Ogni formula deve essere preceduta dal simbolo =.

ESEMPIO

La cella A2 contiene il valore 2,5 e la cella B2 contiene il valore 3,5. Se nella cella C2 digitiamo =A2+B2 e premiamo `Invio`, in essa comparirà il valore 6, ossia la somma dei contenuti delle celle A2 e B2.

C2 × ✓ fx =A2+B2

	A	B	C
1			
2	2,5	3,5	6
3			

Riferimenti relativi

Consideriamo la tabella a due colonne rappresentata nella figura a lato. Vogliamo eseguire il prodotto tra i dati *x* della colonna A e i corrispondenti dati *y* della colonna B, e scrivere il risultato nella colonna C.

Dobbiamo allora eseguire le seguenti operazioni:

1. selezioniamo la cella C2;
2. digitiamo la formula =A2*B2;

C2 × ✓ fx

	A	B	C
1	x	y	x*y
2	2,0	3,0	
3	5,0	5,7	
4	6,0	4,0	
5	7,5	-5,0	
6	12,0	8,0	
7			

SOMMA × ✓ fx =A2*B2

	A	B	C
1	x	y	x*y
2	2,0	3,0	=A2*B2
3	5,0	5,7	
4	6,0	4,0	
5	7,5	-5,0	
6	12,0	8,0	
7			

3. premiamo `Invio` e nella cella C2 compare il risultato del prodotto;
4. selezioniamo di nuovo la cella C2;
5. facciamo clic sul quadratino di trascinamento (nell'angolo in basso a destra della cella) e, tenendo premuto, lo trasciniamo fino alla cella C6.

	A	B	C
1	x	y	x*y
2	2,0	3,0	6,0
3	5,0	5,7	28,5
4	6,0	4,0	24,0
5	7,5	-5,0	-37,5
6	12,0	8,0	96,0
7			

In questo modo appariranno i prodotti A3*B3 in C3, A4*B4 in C4 e così via. Osserviamo dunque che la formula è stata copiata *adattando riga per riga i riferimenti*, che per questa ragione sono detti *relativi*.

Scanned with CamScanner

Riferimenti assoluti

Supponiamo ora di voler moltiplicare ciascun dato della colonna A per il coefficiente costante $k = 3$, memorizzato nella cella con riferimento E2, e scrivere i risultati nella colonna B.

Se seguissimo i passaggi descritti in precedenza, il foglio eseguirebbe i seguenti calcoli: A2*E2 in B2, A3*E3 in B3, ecc. Non è quello che vogliamo, perché il secondo fattore deve rimanere sempre E2 in tutta la colonna B.

Per ottenere questo risultato, è sufficiente ripetere le operazioni descritte in precedenza con la differenza che nel passaggio 2 si deve digitare la formula `=A2*$E$2`.

Con l'aggiunta del simbolo $ nella scrittura si specifica che, in tutti i prodotti, il riferimento al contenuto della cella E2 deve rimanere fisso, cioè *assoluto*.

SOMMA ✕ ✓ fx =A2*E2

	A	B	C	D	E
1	x	k*x			
2	2,0	=A2*E2		k=	3
3	5,0				
4	6,0				
5	7,5				
6	12,0				

Cliccando sul quadratino di trascinamento possiamo completare la colonna B.

B2 ✕ ✓ fx =A2*E2

	A	B	C	D	E
1	x	k*x			
2	2,0	6,0		k=	3
3	5,0	15,0			
4	6,0	18,0			
5	7,5	22,5			
6	12,0	36,0			
7					

Ricalcolo automatico

Proviamo ora a cambiare il dato nella cella E2: inseriamo il valore 2 al posto di 3 e premiamo `Invio`. Tutti i valori contenuti nella colonna B, che si basano sul valore di E2, si modificano in modo automatico.

	A	B	C	D	E
1	x	k*x			
2	2,0	4,0		k=	2
3	5,0	10,0			
4	6,0	12,0			
5	7,5	15,0			
6	12,0	24,0			

Il foglio ha effettuato il *ricalcolo automatico*, utilizzando le formule introdotte in precedenza nelle celle della colonna B, ma aggiornando il risultato del prodotto.

Scanned with CamScanner

Funzioni integrate

Un foglio di calcolo contiene una *libreria di funzioni*, cioè di formule predefinite che svolgono automaticamente le operazioni usate più di frequente. Per esempio, se vogliamo sommare i numeri della colonna B della tabella nella figura, possiamo usare la funzione predefinita `SOMMA`.

La sintassi di una funzione è definita dal *nome* e dagli *argomenti*.

ESEMPIO

Nella funzione `SOMMA(B1:B6)`, `SOMMA` è il nome (che definisce ciò che la funzione fa) e `B1:B6` è l'argomento (il gruppo di celle con valori da sommare).

SOMMA | ✕ ✓ fx =SOMMA(B1:B6)

	A	B	C	D
1		2,3		
2		7,6		
3		4,1		
4		9,8		
5		1,1		
6		0,5		
7	somma:	=SOMMA(B1:B6)		
8		SOMMA(num1; [num2]; ...)		

Dal menù `Formula` compare un elenco di tutte le formule, divise per categorie (statistiche, matematiche, finanziarie, logiche, ...), in cui è possibile trovare una veloce guida della sintassi di utilizzo.

Le funzioni che useremo nell'analisi dei dati sono `MEDIA` e `DEV.ST.P`.

- `MEDIA` calcola la media di un insieme di dati. L'argomento, proprio come per `SOMMA`, specifica gli indirizzi iniziale e finale dei dati da analizzare.
- `DEV.ST.P` calcola lo scarto quadratico medio di un insieme di dati, detto anche *deviazione standard* (da cui il nome della funzione). L'argomento, come nei casi precedenti, specifica gli indirizzi iniziale e finale dei dati da analizzare.

Queste due funzioni possono essere utili per valutare la media e l'incertezza di un insieme di misure ripetute.

ESEMPIO

Inseriamo nelle celle da B2 a B11 le misure della durata dell'oscillazione di un pendolo e calcoliamo:

- la media, che fornisce il valore più attendibile;
- lo scarto quadratico medio, che fornisce l'incertezza statistica.

B12 | ✕ ✓ fx =MEDIA(B2:B11)

	A	B
1		Periodo (s)
2		1,55
3		1,51
4		1,63
5		1,58
6		1,52
7		1,52
8		1,54
9		1,60
10		1,55
11		1,57
12	T medio:	1,56
13		
14		

B13 | ✕ ✓ fx =DEV.ST.P(B2:B11)

	A	B
1		Periodo (s)
2		1,55
3		1,51
4		1,63
5		1,58
6		1,52
7		1,52
8		1,54
9		1,60
10		1,55
11		1,57
12	T medio:	1,56
13	ΔT:	0,04
14		

Scanned with CamScanner

3 I grafici

La rappresentazione grafica di una serie di dati è fondamentale per la loro interpretazione: ci permette di cogliere in modo visuale se c'è o meno una correlazione tra due grandezze e di che tipo sia.

Il foglio di calcolo permette di realizzare grafici di diversi tipi, come grafici cartesiani, grafici a barre, areogrammi e istogrammi.

Per l'analisi dei dati raccolti negli esperimenti useremo dei grafici cartesiani, che nel foglio di calcolo si chiamano *Grafici a dispersione XY*.

Grafici cartesiani

Un **grafico cartesiano** rappresenta punti che corrispondono a *coppie di valori* e si usa per studiare l'eventuale relazione tra due grandezze.

Ecco i passaggi che dobbiamo seguire per costruire un grafico cartesiano a partire dai dati raccolti in una tabella.

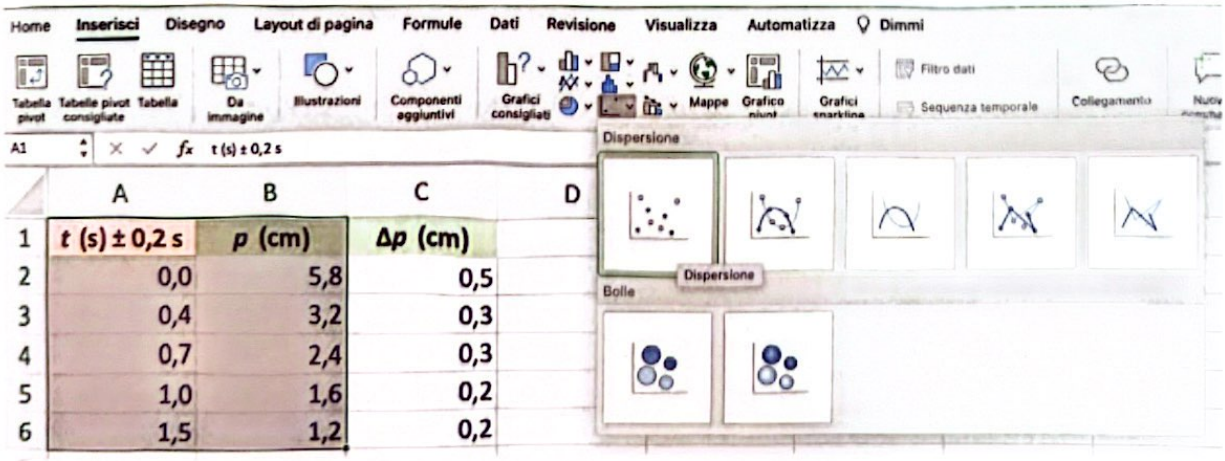
1. Inseriamo i dati in due colonne adiacenti, scrivendo nella prima riga il nome della grandezza e la sua unità di misura.
2. Se vogliamo inserire anche le incertezze, dobbiamo distinguere due casi:
   - se l'incertezza di una grandezza è la stessa per tutti i dati, possiamo inserirla nella riga di intestazione;
   - se l'incertezza è diversa a seconda dei dati, aggiungiamo una colonna che riporta l'incertezza per ogni dato.

ESEMPIO

Nella tabella sono raccolti i dati di posizione p e tempo t per un oggetto in movimento. Le incertezze sul tempo sono di 0,2 s per tutte le misure, mentre le incertezze sulla posizione variano, quindi è stata aggiunta una colonna Δp.

	A	B	C
1	t (s) ± 0,2 s	p (cm)	Δp (cm)
2	0,0	5,8	0,5
3	0,4	3,2	0,3
4	0,7	2,4	0,3
5	1,0	1,6	0,2
6	1,5	1,2	0,2

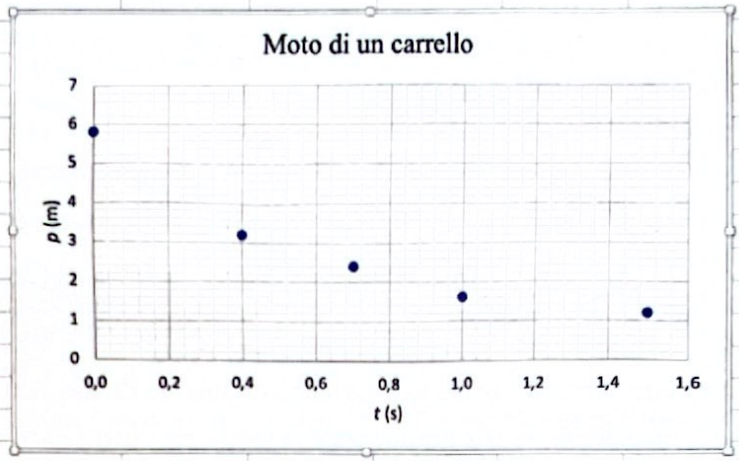
3. Selezioniamo le celle che contengono i dati da rappresentare (trascuriamo per ora l'eventuale colonna delle incertezze).
4. Seguiamo il percorso `Inserisci/Oggetto/Grafico` o selezioniamo direttamente l'icona corrispondente a `Inserisci grafico`: appare una finestra di dialogo in cui si può selezionare il tipo di grafico.
5. Per ottenere un grafico cartesiano bisogna scegliere `Dispersione`.



Scanned with CamScanner

6. Scegliamo inoltre di rappresentare solo i punti, senza nessun tipo di connessione tra di essi.
7. Modifichiamo il *titolo del grafico* e aggiungiamo i *titoli degli assi*, inserendo le grandezze e le rispettive unità di misura.
8. Selezionando con il tasto destro gli assi cartesiani, possiamo inserire la *griglia secondaria* ed eventualmente modificare l'intervallo da rappresentare su ogni asse.

	A	B	C
1	t (s) ± 0,2 s	p (cm)	Δp (cm)
2	0,0	5,8	0,5
3	0,4	3,2	0,3
4	0,7	2,4	0,3
5	1,0	1,6	0,2
6	1,5	1,2	0,2



Elementi accessori per l'analisi dei dati

Ai grafici è possibile aggiungere alcuni elementi che ci aiutano ad analizzare i dati, come le *barre di errore* e la *linea di tendenza*.

Barre di errore

Le barre di errore ci permettono di visualizzare in modo grafico le incertezze sulle misure raccolte.

Possiamo chiedere al foglio di calcolo di mostrare le barre di errore sul grafico.

1. Selezioniamo i punti sul grafico con il tasto destro del mouse.
2. Si apre un menù specifico per inserire le incertezze. Bisogna specificare se l'incertezza è la stessa per tutti i dati o se si vuole selezionare una colonna con le diverse incertezze.

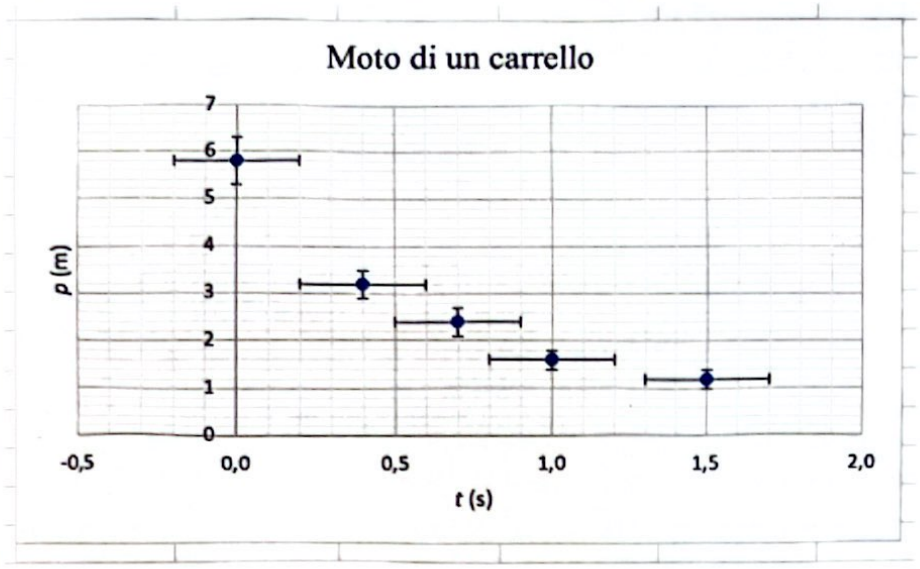
In alternativa, è possibile inserire le barre di errore seguendo il percorso `Struttura grafico/Aggiungi elemento grafico/Barre d'errore`. In `Altre opzioni barre d'errore` è possibile stabilire nel dettaglio i valori da assegnare alle barre su entrambi gli assi.

Se le barre sono troppo piccole per essere visualizzate, non le inserire nel grafico ma fai in modo che gli errori siano scritti altrove, per esempio nella tabella di raccolta e di elaborazione dei dati. Così, chi legge può sempre trovare l'informazione sugli errori nella tua relazione.

Scanned with CamScanner

ESEMPIO

In questo grafico abbiamo impostato la stessa incertezza per tutte le misure di tempo in ascissa e un'incertezza variabile per le misure in ordinata.



Linea di tendenza

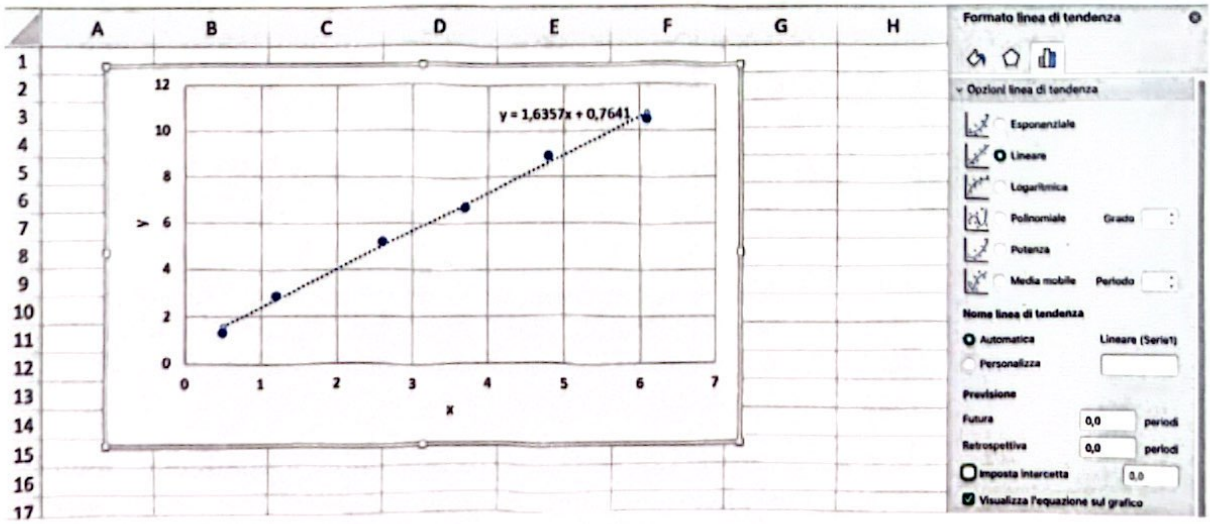
La **linea di tendenza** è la retta che meglio approssima i dati rappresentati.

Possiamo chiedere al foglio elettronico di tracciare la linea di tendenza e di scriverne l'equazione.

1. Quando il grafico è attivo, clicchiamo col tasto destro sui punti e selezioniamo `Aggiungi linea di tendenza`.
2. Nella finestra di dialogo che si apre, scegliamo `Visualizza l'equazione sul grafico`.
3. Se riteniamo che la relazione sia di proporzionalità diretta, quindi che la retta debba passare per l'origine, selezioniamo anche l'opzione `Imposta intercetta 0,0`.

ESEMPIO

In questo grafico è stata selezionata una linea di tendenza senza fissare un valore dell'intercetta. L'equazione della retta è visualizzata sul grafico.



Scanned with CamScanner

4 I grafici e le relazioni tra grandezze

1 Rappresentare i dati in un grafico cartesiano

Quando si studia un fenomeno fisico si cerca una relazione tra due o più grandezze; per esempio, nello studio del moto di un corpo si cerca la relazione tra la posizione del corpo e il tempo, oppure tra la velocità e il tempo.

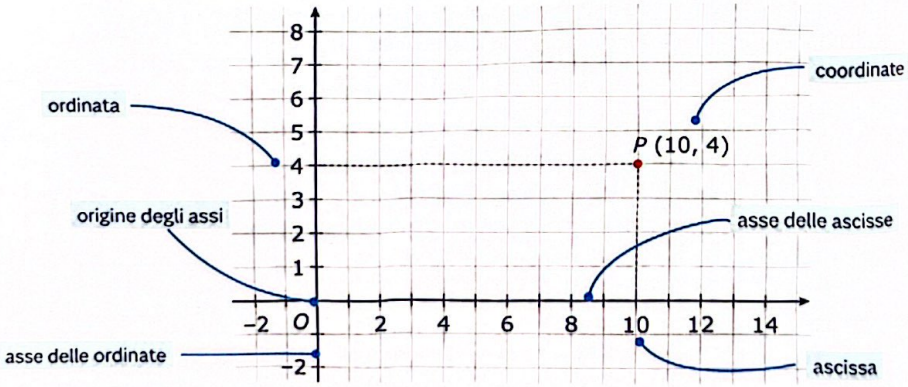
Per determinare la relazione che lega due grandezze fisiche è spesso di grande aiuto rappresentare i dati in un *grafico cartesiano*, perché a ogni tipo di relazione corrisponde una diversa curva su cui i dati si dispongono.

Come possiamo passare dai dati raccolti a un grafico cartesiano?

La geometria analitica stabilisce una corrispondenza tra elementi geometrici ed elementi algebrici. In particolare, possiamo partire dalla corrispondenza tra punti del piano e coppie di numeri reali e rappresentare le curve geometriche piane attraverso equazioni.

Per costruire un grafico cartesiano, si tracciano sul piano due rette perpendicolari: una orizzontale, detta *asse delle ascisse*, e una verticale, detta *asse delle ordinate*. Su ciascun asse si scelgono un'origine (che corrisponde alla posizione del numero zero), un'unità di misura e un verso che indica la direzione crescente sull'asse. Di norma, gli zeri di entrambi gli assi coincidono con il loro punto di intersezione, chiamato *origine degli assi*.

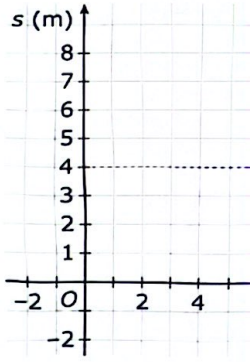
Un punto del piano è identificato con una coppia di numeri reali: si proietta il punto su entrambi gli assi tracciando le perpendicolari passanti per il punto e, dove le perpendicolari intersecano gli assi, si leggono le *coordinate* del punto. La coppia di numeri che si ottiene rappresenta il punto.



In fisica possiamo rappresentare le coppie numeriche di dati raccolti con dei punti nel piano cartesiano, le cui coordinate identificano le misure.

Per realizzare un grafico compl-

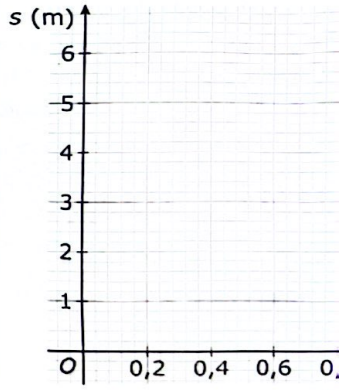
- segnare su ciascun asse alcun
- scrivere la grandezza rappre- usata vicino alla freccia che i:
- rappresentare con dei punti ri più probabili.



Inoltre, è possibile riportare nel g grandezza si valuta a quanto cor do l'unità di misura scelta e si ri una croce, che individua un retta

ESEMPIO

Per rappresentare un punto di co segmento orizzontale da 1,2 a 1,8 ti sul punto (1,5; 4,8).



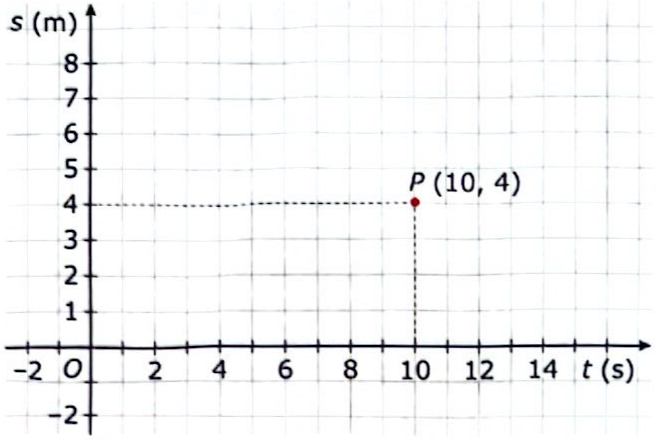
Il grafico cartesiano qui sotto rip raccolte durante il moto di un ogg

t (s)	s (cm)	Δt (s)	Δs (c
0,0	5,8	0,2	0,3
0,4	3,2	0,2	0,2
0,7	2,4	0,2	0,2
1,0	1,6	0,2	0,1
1,5	1,2	0,2	0,1

Scanned with CamScanner

Per realizzare un grafico completo di tutte le informazioni è necessario:

- segnare su ciascun asse alcuni valori di riferimento, a intervalli regolari;
- scrivere la grandezza rappresentata e, tra parentesi, l'unità di misura usata vicino alla freccia che indica il verso su ciascun asse;
- rappresentare con dei punti le coppie di valori corrispondenti ai valori più probabili.



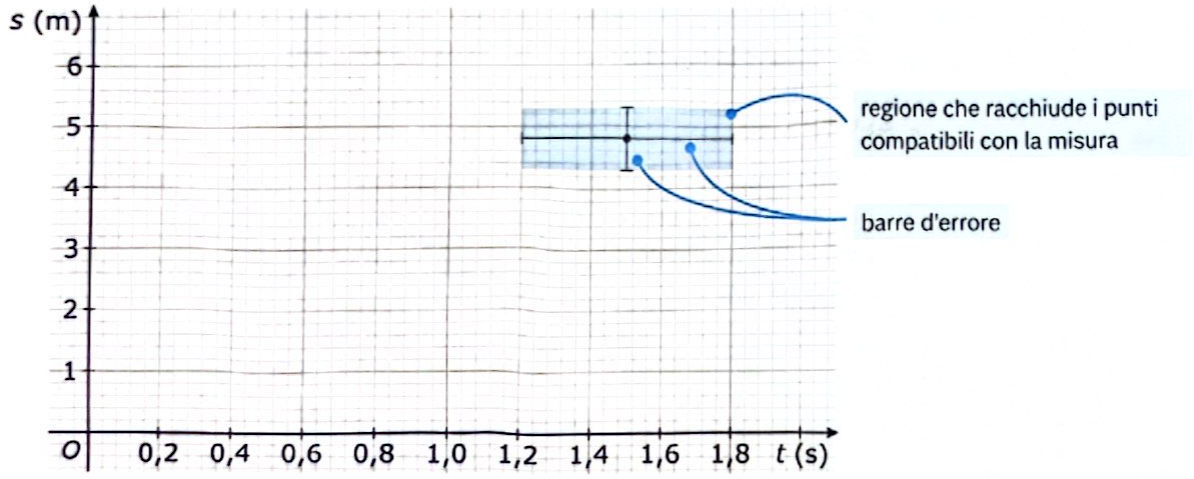
Le coordinate dei punti corrispondono a valori misurati in laboratorio, che sono sempre affetti da incertezze. Per questo motivo i punti sul grafico corrispondono ai valori più probabili.

Inoltre, è possibile riportare nel grafico le incertezze sulle misure: per ogni grandezza si valuta a quanto corrisponde l'incertezza delle misure secondo l'unità di misura scelta e si riporta tale incertezza attorno al punto con una croce, che individua un rettangolo di punti compatibili con la misura.

Se l'incertezza nel grafico corrisponde a meno di un millimetro, si tralascia.

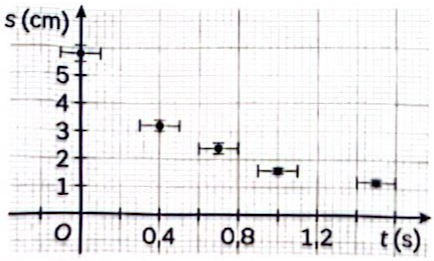
ESEMPIO

Per rappresentare un punto di coordinate (1,5 ± 0,3; 4,8 ± 0,5) tracciamo un segmento orizzontale da 1,2 a 1,8 e un segmento verticale da 4,3 a 5,3, centrati sul punto (1,5; 4,8).



Il grafico cartesiano qui sotto riporta coppie di misure tempo-posizione (t; s) raccolte durante il moto di un oggetto.

t (s)	s (cm)	Δt (s)	Δs (cm)
0,0	5,8	0,2	0,3
0,4	3,2	0,2	0,2
0,7	2,4	0,2	0,2
1,0	1,6	0,2	0,1
1,5	1,2	0,2	0,1



Scanned with CamScanner

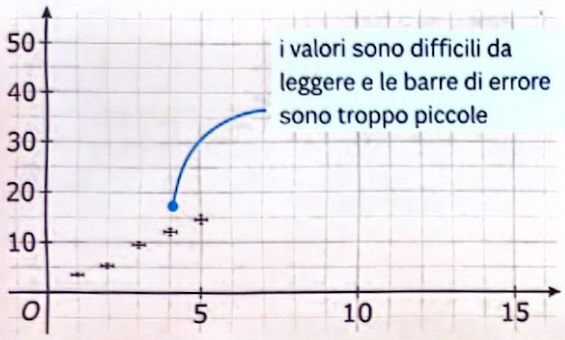
Un buon grafico deve essere:

CHIARO Chi legge non deve fare lo sforzo di capire cosa hai inserito nel grafico: devi essere tu a fare lo sforzo di rendere la fruizione del grafico semplice e immediata.

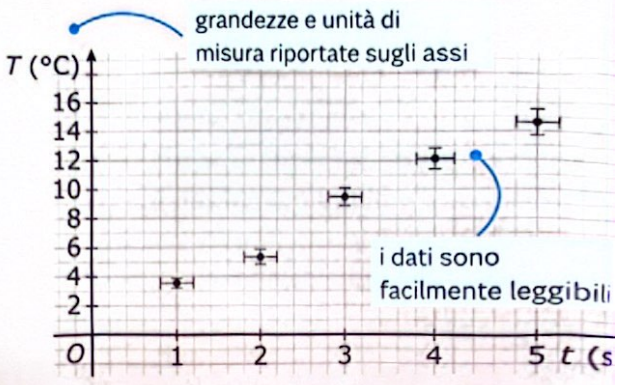
COMPLETO Chi legge deve poter ricavare tutte le informazioni di cui ha bisogno direttamente dal grafico, senza doverle cercare altrove.

Ecco alcuni suggerimenti.

- *Identifica il valore massimo* da rappresentare per ciascuna delle due grandezze e, in base allo spazio a disposizione, scegli un'unità di misura che permetta di fare rientrare il valore massimo nel grafico. Se sono presenti anche valori negativi, bisogna tenere conto anche del valore minimo.
- *Occupa tutto lo spazio* che hai a disposizione. Ricorda che puoi scegliere scale diverse sui due assi cartesiani.
- *Indica sempre le grandezze* sui due assi con le relat unità di misura: chi legge deve sempre sapere a cos si riferiscono i valori che vede.
- *Crea scale chiare* sui due assi. Scrivi i valori a interv regolari (ogni unità, oppure ogni 2 unità, oppure 5 unità, ecc...) per tutta la lunghezza di un asse. Non indicare i valori in corrispondenza dei soli punti sperimentali.
- Se lo ritieni utile, *aggiungi un titolo* che chiarisce ci che il grafico mostra.
- *Cura la grafica*, ma ricorda che l'estetica deve supportare la chiarezza. Se, per esempio, la scelta un colore che ti piace rende il grafico meno leggibil non è una buona scelta.



Questo non è un buon grafico



Questo è un buon grafico

2 Le relazioni tra grandezze

Proporzionalità diretta

Se i dati rappresentati su un grafico cartesiano si dispongono, almeno approssimativamente, su di una retta che passa per l'origine, possiamo ipotizzare che tra le grandezze in esame sussista una relazione di *proporzionalità diretta*.

In una **proporzionalità diretta**, due grandezze x e y sono legate dalla relazione:

$$y = kx$$

dove k è una costante. L'unità di misura di k è il rapporto tra le unità di misura di y e di x.

ESEMPIO

Consideriamo la tabella di dati a lato.

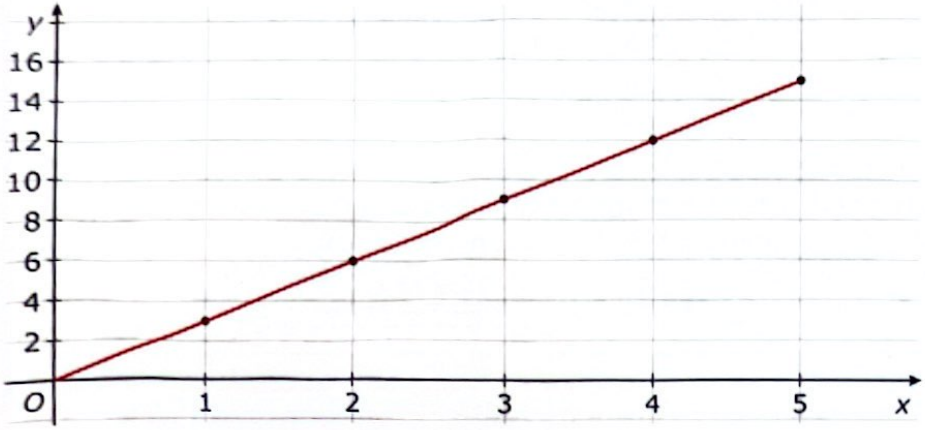
x	1	2	3	4	5
y	3	6	9	12	15

Si può osservare che i valori della grandezza y sono sempre il triplo della corrispondente grandezza x, per cui il rapporto y/x è costante ed è sempre uguale a 3. Vale quindi la relazione $y = 3x$.

Scanned with CamScanner

In generale, possiamo controllare analiticamente che due grandezze sono direttamente proporzionali verificando che il rapporto y/x dia sempre lo stesso risultato, cioè che $y/x = k$ per ogni coppia di misure $(x; y)$.

Se inseriamo i valori della tabella in un piano cartesiano, otteniamo il seguente grafico.



Il grafico di una proporzionalità diretta è una **retta passante per l'origine degli assi.**

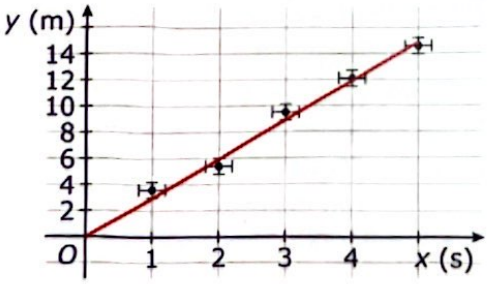
Nella realtà, quando raccogliamo dati da misure, non possiamo aspettarci che tra loro ci sia una relazione così chiara e netta come nell'esempio appena mostrato. Infatti, ogni misura è affetta da una incertezza e a essa non viene assegnato un valore esatto, ma un intervallo. Di conseguenza, una misura non viene rappresentata sul grafico da un punto preciso ma da un rettangolo di dimensioni pari alle barre di errore.

Dunque, non dobbiamo chiederci se i punti sperimentali sono allineati tra loro e con l'origine degli assi, ma se è possibile tracciare una retta uscente dall'origine che passi per tutti i rettangoli, cioè che sia compatibile con i dati entro le incertezze.

ESEMPIO

Consideriamo i seguenti dati (il tempo sull'asse delle ascisse e la posizione sull'asse delle ordinate) e la loro rappresentazione grafica.

x (s)		y (m)	
1,0	± 0,2	3,6	± 0,6
2,0	± 0,2	5,4	± 0,6
3,0	± 0,2	9,5	± 0,6
4,0	± 0,2	12,1	± 0,6
5,0	± 0,2	14,6	± 0,6



La retta uscente dall'origine non passa esattamente per i punti centrali, ma attraversa tutti i rettangoli rappresentati dalle barre di errore ed è quindi compatibile con i dati stessi.

Se i dati, con le loro incertezze, appartengono a una retta passante per l'origine, allora sono compatibili con una relazione di proporzionalità diretta tra le due grandezze. Come si fa allora a trovare il parametro k che la definisce? Proponiamo due metodi, uno analitico e uno grafico.

Scanned with CamScanner

Metodo analitico

Vediamo un esempio. Usiamo la tabella dei dati precedenti e calcoliamo per ciascuna coppia di valori, ricordando che $k = y/x$.

x (s)	y (m)	k = y/x (m/s)
1,0	3,6	3,6
2,0	5,4	2,7
3,0	9,5	3,2
4,0	12,1	3,0
5,0	14,6	2,9

Il rapporto k non è esattamente costante a causa delle incertezze sperimentali. Consideriamo allora il suo valore medio:

$$\bar{k} = \frac{(3{,}6 + 2{,}7 + 3{,}2 + 3{,}0 + 2{,}9)\ \text{m/s}}{5} = 3{,}1\ \text{m/s}$$

Troviamo lo scarto tra ogni valore di k e $\bar{k}$.

x (s)	y (m)	k = y/x (m/s)	scarto (m/s)
1,0	3,6	3,6	0,5
2,0	5,4	2,7	−0,4
3,0	9,5	3,2	0,1
4,0	12,1	3,0	−0,1
5,0	14,6	2,9	−0,2

Attribuiamo a $\bar{k}$ un'incertezza $\Delta\bar{k}$ data dallo scarto quadratico medio:

$$\bar{k} = \sqrt{\frac{[0{,}5^2 + (-0{,}4)^2 + 0{,}1^2 + (-0{,}1)^2 + (-0{,}2)^2]}{5}}\ \text{m/s} \approx 0{,}3\ \text{m/s}$$

Quindi, la relazione ipotizzata è $y = kx$, con $k = (3{,}1 \pm 0{,}3)$ m/s.

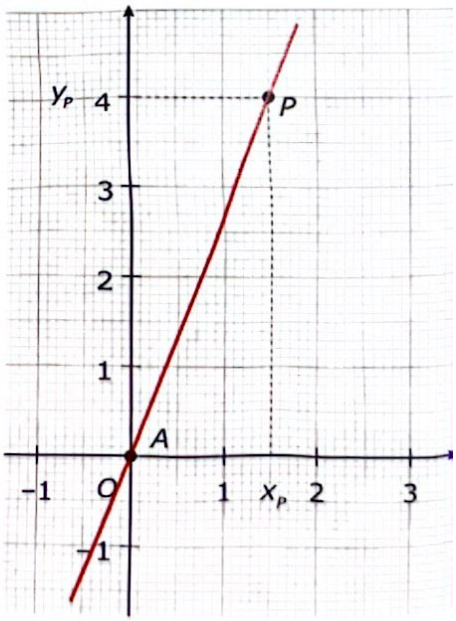
Metodo grafico

Questo metodo è comodo se si riportano i dati a mano su carta.

Il parametro k della formula $y = kx$ è chiamato anche *pendenza* della retta e si può ricavare direttamente dal grafico. È sufficiente scegliere un punto P qualsiasi sulla retta, ricavarne le coordinate $(x_P; y_P)$ e calcolare il rapporto:

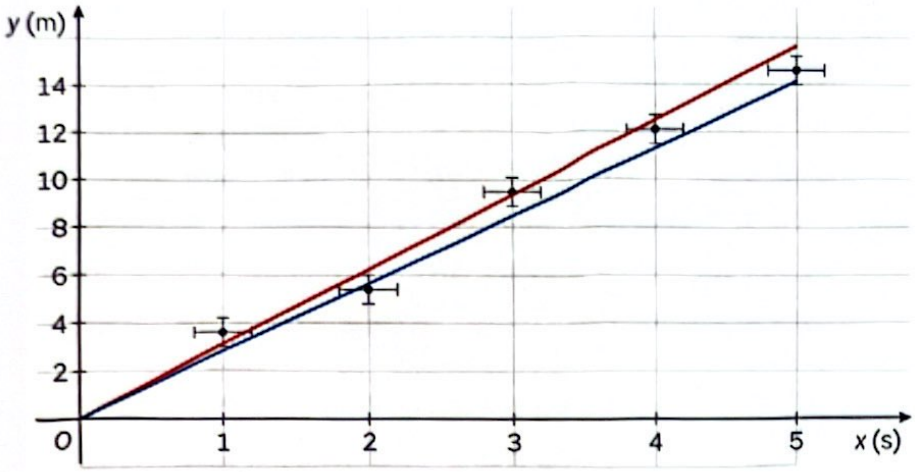
$$k = \frac{y_P}{x_P}$$

Se vogliamo ricavare anche l'incertezza su k, tracciamo due rette: la più pendente e la meno pendente, compatibili con i dati entro le incertezze (la retta deve passare per il rettangolo definito dalle barre



Scanned with CamScanner

di errore, non necessariamente intersecare le barre stesse). Per ciascuna di esse seguiamo il procedimento indicato. Otteniamo così due valori di k, uno più alto per la retta più pendente, che indichiamo con k_{max}, e uno più basso per quella meno pendente, che indichiamo con k_{min}.



Il valore più attendibile per k sarà il valor medio $\bar{k} = \frac{k_{max} + k_{min}}{2}$ e l'incertezza sarà data dalla semidispersione $k = \frac{k_{max} - k_{min}}{2}$.

Nel caso in figura possiamo osservare che la retta superiore passa per il punto (3,0; 9,5) e la retta inferiore passa per (3,5; 10,0). Otteniamo da questi valori:

$$k_{max} = \frac{9{,}5\ \text{m}}{3{,}0\ \text{s}} = 3{,}2\ \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad ; \quad k_{min} = \frac{10{,}0\ \text{m}}{3{,}5\ \text{s}} = 2{,}9\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Quindi:

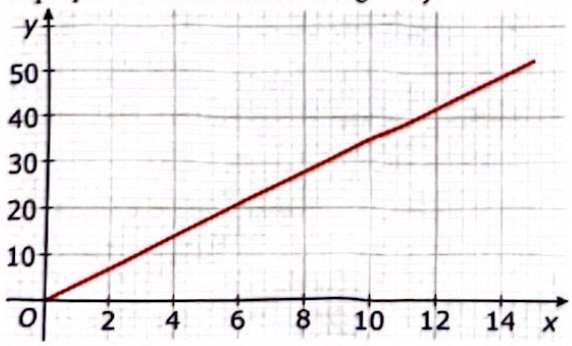
$$\bar{k} = \frac{(3{,}2 + 2{,}9)}{2}\ \frac{\text{m}}{\text{s}} = 3{,}1\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta k = \frac{(3{,}2 - 2{,}9)}{2}\ \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0{,}15\ \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 0{,}2\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La relazione ipotizzata sarà $y = kx$ con $k = (3{,}1 \pm 0{,}2)$ m/s, valore compatibile con il risultato analitico.

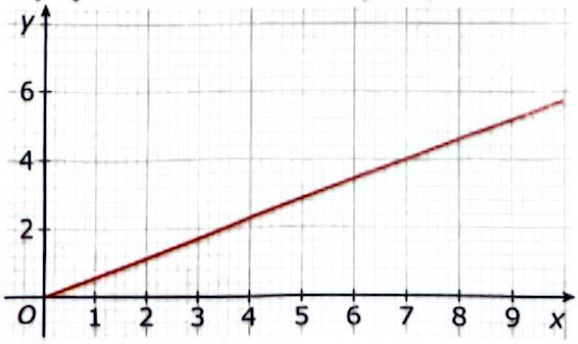
ORA TOCCA A TE

1 Ricava dal grafico il parametro k e scrivi l'equazione di proporzionalità diretta che lega x e y.



[$y = 3{,}5x$]

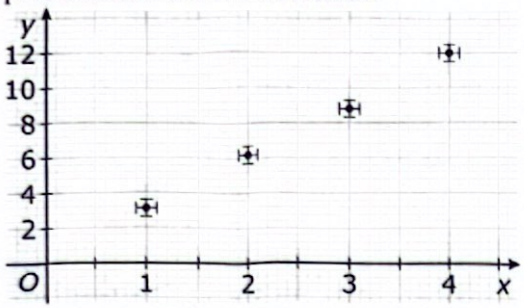
2 Ricava dal grafico il parametro k e scrivi l'equazione di proporzionalità diretta che lega x e y.



[$y = 0{,}57x$]

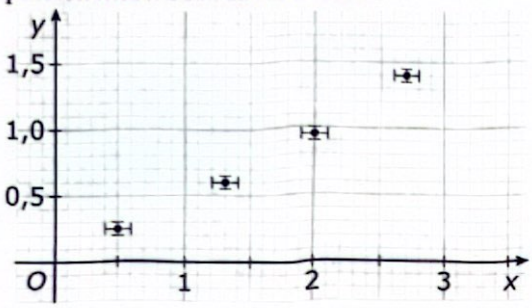
Scanned with CamScanner

3 Verifica che i dati nel grafico sono compatibili con una relazione di proporzionalità diretta. Ricava graficamente il valore del parametro di proporzionalità k e la sua incertezza.



[$k = 3{,}0 \pm 0{,}1$]

4 Verifica che i dati nel grafico sono compatibili con una relazione di proporzionalità diretta. Ricava graficamente il valore del parametro di proporzionalità k e la sua incertezza.



[$k = 0{,}50 \pm 0{,}02$]

5 Rappresenta i dati riportati nella tabella in un grafico cartesiano e verifica che sono compatibili con una relazione di proporzionalità diretta. Ricava il parametro di proporzionalità k con la sua incertezza e scrivi l'equazione della relazione. In base alla formula trovata, calcola il valore di y per $x = 6$.

x (s) ± 0,1 s	y (m) ± 0,5 m
1,0	5,8
2,0	10,9
3,0	17,0
4,0	22,0

[$k = (5{,}60 \pm 0{,}01)\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$; $y(6) = (33{,}60 \pm 0{,}06)$ m]

6 Rappresenta i dati riportati nella tabella in un grafico cartesiano e verifica che sono compatibili con una relazione di proporzionalità diretta. Ricava il parametro di proporzionalità k con la sua incertezza e scrivi l'equazione della relazione.

x (m²) ± 0,2 m²	x (kg) ± 0,3 kg
2,6	1,8
4,0	3,0
5,5	4,7
8,1	6,8

[$k = (0{,}78 \pm 0{,}07)$ kg/m^2]

Proporzionalità inversa

Tra due grandezze x e y sussiste una relazione di *proporzionalità inversa* quando: se una raddoppia, l'altra si dimezza; se una triplica, l'altra diventa un terzo e così via.

In una **proporzionalità inversa**, due grandezze x e y sono legate dalla relazione:

$$y = \frac{k}{x}$$

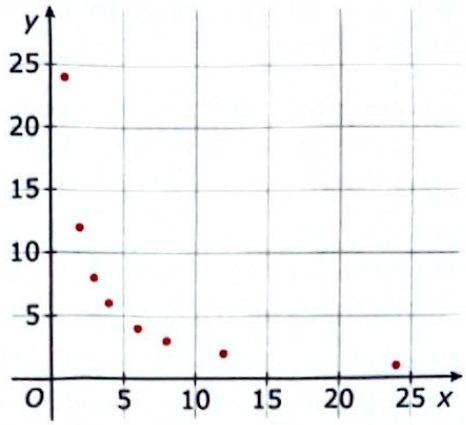
dove k è una costante. L'unità di misura di k è il prodotto delle unità di misura di x e di y.

Possiamo controllare analiticamente che due grandezze sono inversamente proporzionali verificando che il prodotto $x \cdot y$ dia sempre lo stesso risultato, cioè che $x \cdot y = k$.

Consideriamo per esempio la relazione $y = \frac{24}{x}$: possiamo costruire una tabella e realizzare il corrispondente grafico.

Scanned with CamScanner

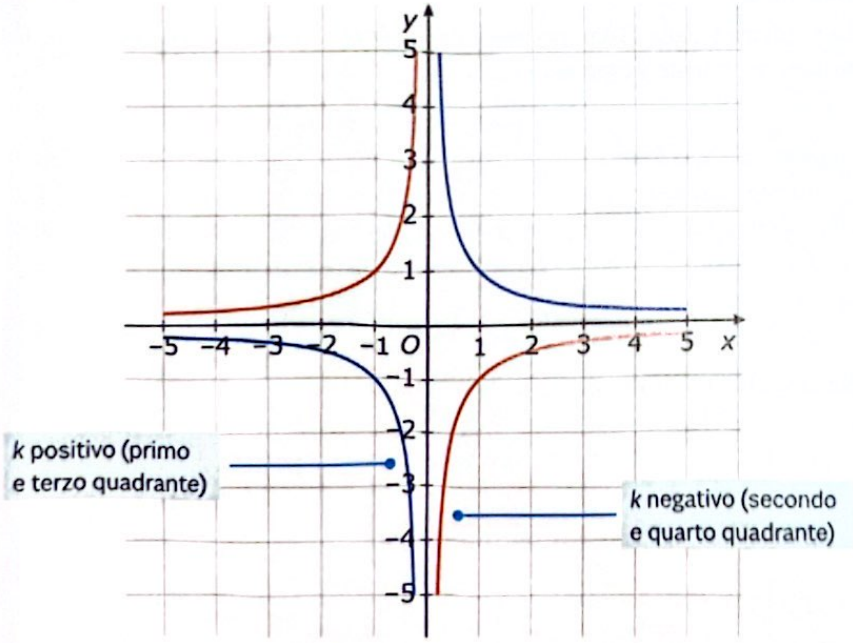
x	y
1	24
2	12
3	8
4	6
6	4
8	3
12	2
24	1



Il grafico di una proporzionalità inversa è un ramo di iperbole.

Un'iperbole completa è composta da due rami perché:

- se k è positivo, si può ottenere come prodotto di due coordinate positive (ramo nel primo quadrante) oppure di due coordinate negative (ramo nel terzo quadrante);
- se k è negativo, si può ottenere come prodotto tra $x < 0$ e $y > 0$ (ramo nel secondo quadrante) o, viceversa, tra $x > 0$ e $y < 0$ (ramo nel quarto quadrante).



In ambito fisico è possibile che i dati si dispongano su un solo ramo di iperbole. Se le grandezze in gioco possono assumere sia valori positivi sia valori negativi, allora i rami sono due

Di norma, i dati sperimentali non si dispongono in modo esatto su un ramo di iperbole, cioè il prodotto di due grandezze misurate non è esattamente una costante. Questo può crearci qualche difficoltà nel riconoscere una proporzionalità inversa. Inoltre, disegnare le barre di errore può non essere sufficiente per tracciare il grafico di un'iperbole, perché non abbiamo uno strumento che ci permetta di verificare il passaggio per tutti i rettangoli, come invece si può fare con il righello nel caso della proporzionalità diretta.

Scanned with CamScanner

In questo caso, un possibile procedimento da seguire è quello di *linearizzare* il grafico.

Linearizzare un grafico significa modificare le grandezze riportate sugli assi cartesiani in modo da ottenere una retta. Così, si passa a un grafico più semplice da rappresentare e da trattare.

Se x e y sono inversamente proporzionali, cioè $y = \frac{k}{x}$, allora $\frac{1}{x}$ e y sono direttamente proporzionali, perché $y = k \cdot \frac{1}{x}$.

Dunque, se riportiamo in un grafico le grandezze $\frac{1}{x}$ e y con le rispettive incertezze, ed è possibile tracciare una retta per tutti i punti (e per l'origine), allora possiamo concludere che i dati originali x e y sono compatibili con una proporzionalità inversa.

La costante k può essere ricavata per via grafica dal grafico linearizzato come spiegato nel paragrafo precedente, oppure per via analitica calcolando $xy = k$ per tutte le coppie e poi calcolando la media e lo scarto medio di tutti i valori.

Per tracciare il grafico linearizzato abbiamo bisogno anche di calcolare l'incertezza su $\frac{1}{x}$, che sarà:

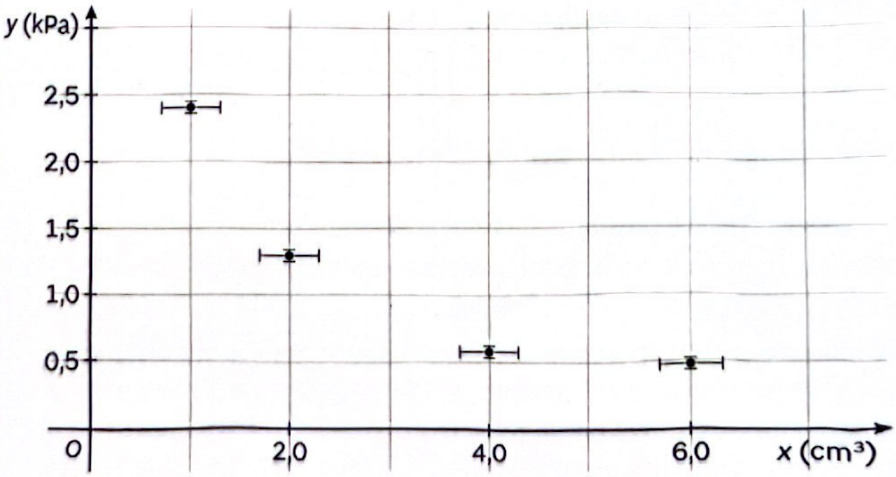
$$\Delta\left(\frac{1}{x}\right) = \frac{\Delta x}{x} \cdot \frac{1}{x} = \frac{\Delta x}{x^2}$$

ESEMPIO

La seguente tabella di dati rappresenta il volume x in cm^3 di un gas e la pressione corrispondente y espressa in kPa.

x (cm^3)	y (kPa)
1,0 ± 0,3	2,40 ± 0,05
2,0 ± 0,3	1,30 ± 0,05
4,0 ± 0,3	0,58 ± 0,05
6,0 ± 0,3	0,47 ± 0,05

Realizziamo un primo grafico.



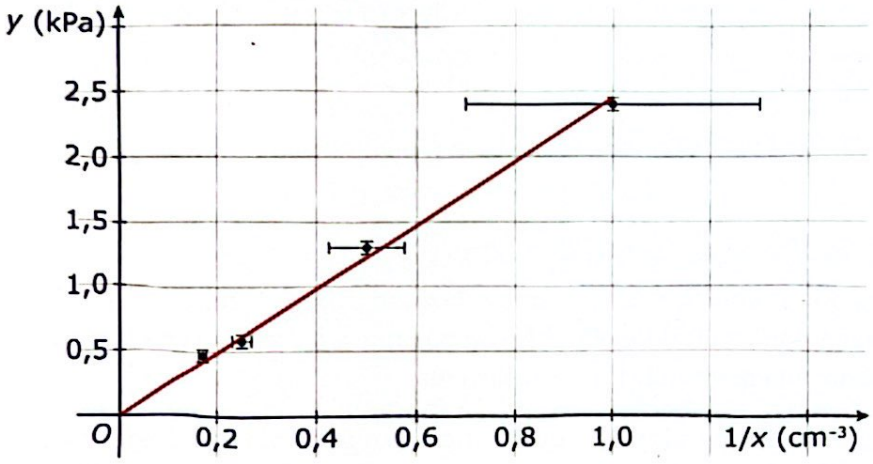
Scanned with CamScanner

Sembra che i dati si dispongano su un ramo di iperbole. Per verificarlo, costruiamo il grafico linearizzato.

Calcoliamo $\frac{1}{x}$ e $\Delta\left(\frac{1}{x}\right)$:

x (cm³)	y (kPa)	$\frac{1}{x}$ (cm⁻³)	$\Delta\left(\frac{1}{x}\right) = \frac{\Delta x}{x^2}$ (cm⁻³)
1,0 ± 0,3	2,40 ± 0,05	1,0	0,3
2,0 ± 0,3	1,30 ± 0,05	0,5	0,08
4,0 ± 0,3	0,58 ± 0,05	0,25	0,02
6,0 ± 0,3	0,47 ± 0,05	0,17	0,01

e otteniamo il grafico linearizzato.



Come possiamo osservare, si può tracciare una retta per l'origine e per i dati (almeno entro le barre di errore, che ora sono diverse tra loro), e quindi possiamo concludere che i dati sono compatibili con una proporzionalità inversa.

Infine, scegliamo di determinare il parametro k per via analitica.

x (cm³)	y (kPa)	k (cm³ · kPa)
1,00	2,40	2,40
2,00	1,30	2,60
4,00	0,58	2,32
6,00	0,47	2,82

Quindi, si ha:

$$\bar{k} = \frac{2{,}40 + 2{,}60 + 2{,}32 + 2{,}82}{4}\ \text{cm}^3 \cdot \text{kPa} = 2{,}54\ \text{cm}^3 \cdot \text{kPa}$$

Gli scarti valgono: 0,14; 0,06; 0,22; 0,28.

La deviazione standard è:

$$\Delta k = \sqrt{\frac{[0{,}14^2 + 0{,}06^2 + 0{,}22^2 + 0{,}28^2]}{4}}\ \text{cm}^3 \cdot \text{kPa} \simeq 0{,}2\ \text{cm}^3 \cdot \text{kPa}$$

In conclusione, la nostra ipotesi sulla relazione tra i dati è $y = \frac{k}{x}$, dove la costante di proporzionalità è $k = (2{,}5 \pm 0{,}2)\ \text{cm}^3 \cdot \text{kPa}$.

Scanned with CamScanner

ORA TOCCA A TE

7 Rappresenta i dati riportati nella tabella in un grafico cartesiano e costruisci un grafico linearizzato per verificare che le due grandezze sono compatibili con una relazione di proporzionalità inversa. Ricava poi il parametro di proporzionalità, scrivi l'equazione della relazione e valuta il valore di y per $x = 50$ kg.

x (kg) ± 1 kg	y (m) ± 0,01 m
4	0,14
8	0,07
13	0,06
16	0,04
21	0,03

[$k = (0{,}63 \pm 0{,}08)$ kg · m; $y(50) = (0{,}013 \pm 0{,}002)$ m]

8 Rappresenta i dati riportati nella tabella in un grafico cartesiano. Costruisci un grafico linearizzato per verificare che i dati sono compatibili con una relazione di proporzionalità inversa. Ricava il parametro di proporzionalità e scrivi l'equazione della relazione.

x (Pa) ± $0{,}02 \times 10^5$ Pa	y (m^3) ± $0{,}05 \times 10^{-3}$ m^3
$1{,}00 \times 10^5$	$2{,}95 \times 10^{-3}$
$2{,}42 \times 10^5$	$1{,}20 \times 10^{-3}$
$3{,}51 \times 10^5$	$8{,}60 \times 10^{-3}$
$4{,}39 \times 10^5$	$6{,}90 \times 10^{-3}$
$5{,}78 \times 10^5$	$5{,}20 \times 10^{-3}$

[$k = (298 \pm 5)$ Pa · m^3]

Proporzionalità quadratica

Tra due grandezze sussiste una relazione di *proporzionalità quadratica* quando: se una raddoppia, l'altra quadruplica ($2^2 = 4$); se una triplica, l'altra diventa nove volte ($3^2 = 9$) e così via.

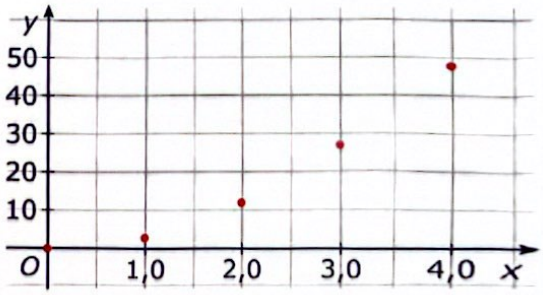
In una **proporzionalità quadratica**, due grandezze x e y sono legate dalla relazione:

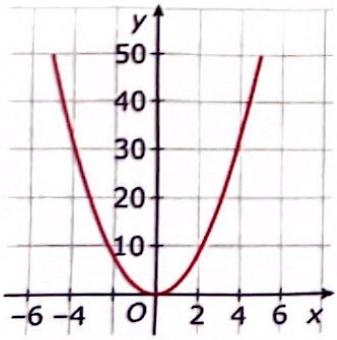
$$y = kx^2$$

dove k è una costante. L'unità di misura di k è il rapporto tra l'unità di misura di y e del quadrato dell'unità di misura di x.

Se per esempio consideriamo $k = 3$, dalla relazione $y = 3x^2$ possiamo costruire una tabella e il relativo grafico.

x	y
0	0
1	3
2	12
3	27
4	48





Il grafico di una proporzionalità quadratica è una parabola.

Una parabola completa comprende anche una parte nel secondo quadrante. Nel caso di una relazione tra grandezze fisiche, questa è presente solo se la grandezza x può assumere anche valori negativi.

Anche in questo caso, come per l'iperbole, il grafico dei dati con le incertezze può suggerire la possibilità che la relazione sia quadratica, ma per verificare che una serie di dati sia effettivamente compatibile con una

Scanned with CamScanner

relazione quadratica è necessario costruire anche il *grafico linearizzato*.

Se x e y sono in relazione quadratica, cioè $y = kx^2$, allora y e x^2 sono direttamente proporzionali.

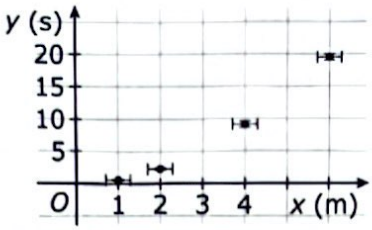
Per tracciare il grafico abbiamo bisogno anche di calcolare l'incertezza su x^2, che sarà:

$$\Delta(x^2) = \left(\frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta x}{x}\right) \cdot x^2 = 2\Delta x \cdot x$$

ESEMPIO

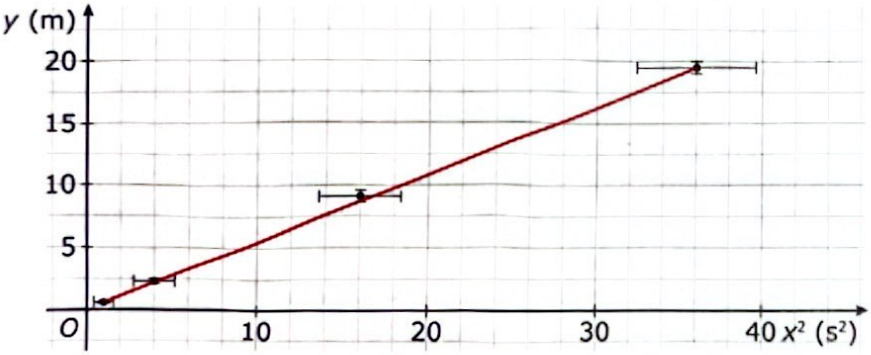
Realizziamo un grafico con i dati riportati nella tabella.

x (s)	y (m)
1,0 ± 0,3	0,6 ± 0,1
2,0 ± 0,3	2,3 ± 0,2
4,0 ± 0,3	9,1 ± 0,5
6,0 ± 0,3	19,5 ± 0,5



I punti sembrano disporsi lungo una parabola. Per verificare questa ipotesi, realizziamo il grafico linearizzato calcolando x^2 e Δx^2.

x (s)	x^2 (s^2)	$\Delta x^2 = 2\Delta x \cdot x$ (s^2)	y (m)
1,0 ± 0,3	1,0	0,6	0,6 ± 0,1
2,0 ± 0,3	4,0	1,2	2,3 ± 0,2
4,0 ± 0,3	16,0	2,4	9,1 ± 0,5
6,0 ± 0,3	36,0	3,6	19,5 ± 0,5



Il grafico è compatibile con una proporzionalità diretta: ciò significa che i dati originali erano compatibili con una proporzionalità quadratica.

Il parametro k della relazione si può trovare analiticamente o graficamente. Lo troviamo per via analitica:

x (s)	y (m)	$k = y/x^2$ (m/s^2)
1,0 ± 0,3	0,6 ± 0,1	0,60
2,0 ± 0,3	2,3 ± 0,2	0,58
4,0 ± 0,3	9,1 ± 0,5	0,57
6,0 ± 0,3	19,5 ± 0,5	0,54

Otteniamo:

$$\bar{k} = 0{,}57 \text{ m/s}^2 \quad ; \quad \Delta k = \sqrt{\frac{0{,}03^2 + 0{,}01^2 + 0^2 + 0{,}03^2}{4}} = 0{,}02 \text{ m/s}^2$$

In conclusione, la nostra ipotesi sulla relazione tra i dati è $y = kx^2$, dove la costante di proporzionalità è $k = (0{,}57 \pm 0{,}02)$ m/s².

Scanned with CamScanner

ORA TOCCA A TE

9 Rappresenta i dati riportati nella tabella in un grafico cartesiano. Costruisci poi un grafico linearizzato per verificare che sono compatibili con una relazione di proporzionalità quadratica. Ricava il parametro di proporzionalità e scrivi l'equazione della relazione. In base alla formula trovata, valuta il valore di y per $x = 10$.

x (s) ± 0,3 s	y (m)
0,5	2,2 ± 0,5
1,2	11 ± 1
1,8	27 ± 3
2,8	57 ± 5
4,5	160 ± 10

[$k = (8{,}0 \pm 0{,}5)$ m/s^2; $y(10) = (800 \pm 50)$ m]

10 Rappresenta i dati riportati nella tabella in un grafico cartesiano. Costruisci poi un grafico linearizzato per verificare che sono compatibili con una relazione di proporzionalità quadratica. Ricava il parametro di proporzionalità e scrivi l'equazione della relazione.

x (m) ± 10 m	y (N) ± 2000 N
60	$-1{,}6 \times 10^4$
80	$-2{,}6 \times 10^4$
100	$-3{,}6 \times 10^4$
120	$-5{,}9 \times 10^4$
150	$-9{,}0 \times 10^4$

[$k = (-4{,}1 \pm 0{,}2)$ N/m^2]

Dipendenza lineare

Tra due grandezze sussiste una relazione di *dipendenza lineare* quando a una data variazione di una variabile corrisponde sempre la stessa variazione dell'altra, ovvero $\frac{\Delta y}{\Delta x}$ è costante per ogni coppia di punti.

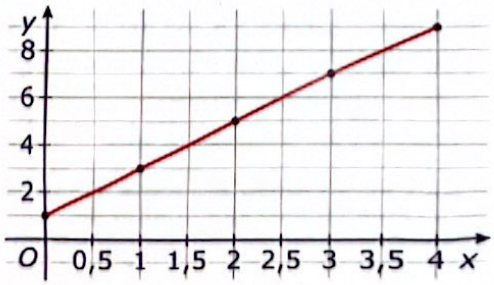
In una **dipendenza lineare**, due grandezze x e y sono legate dalla relazione:

$$y = mx + q$$

dove m e q sono due costanti. L'unità di misura di m è il rapporto tra le unità di misura di y e di x; l'unità di misura di q è la stessa di y.

Se per esempio consideriamo $m = 2$ e $q = 1$, dalla relazione $y = 2x + 1$ possiamo costruire una tabella e il relativo grafico.

x	y
0	1
1	3
2	5
3	7
4	9



Osserviamo che, in questo caso, a ogni variazione di 1 unità della variabile x corrisponde sempre una variazione di 2 unità della variabile y. Inoltre, i punti rappresentativi sono allineati, cioè appartengono a una retta, che non passa necessariamente per l'origine.

Se il parametro q è uguale a zero, si ottiene la formula $y = kx$ della proporzionalità diretta, che è dunque un caso particolare della dipendenza lineare.

Il grafico di una dipendenza lineare è una **retta non necessariamente passante per l'origine degli assi.**

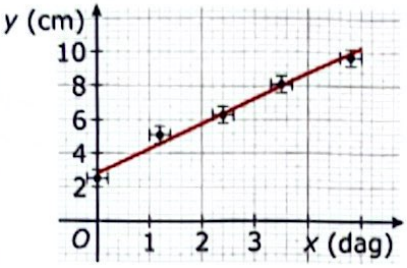
Scanned with CamScanner

Come per gli altri tipi di proporzionalità, i dati potrebbero essere affetti da incertezze e in questo caso possiamo solo valutare se sono compatibili con una dipendenza lineare, verificando se è possibile tracciare una retta che passa per i dati, entro le incertezze.

ESEMPIO

Abbiamo misurato la lunghezza y di una molla e la massa x appesa a essa.

x (dag) ± 0,2 dag	y (cm) ± 0,5 cm
0	2,5
1,2	5,1
2,4	6,3
3,5	8,1
4,8	9,7



Per determinare l'equazione di questa relazione è necessario trovare simultaneamente due parametri, che è notevolmente più complicato che trovarne uno. Per questo proponiamo solo il metodo grafico oppure l'uso del foglio elettronico.

- **Metodo grafico**

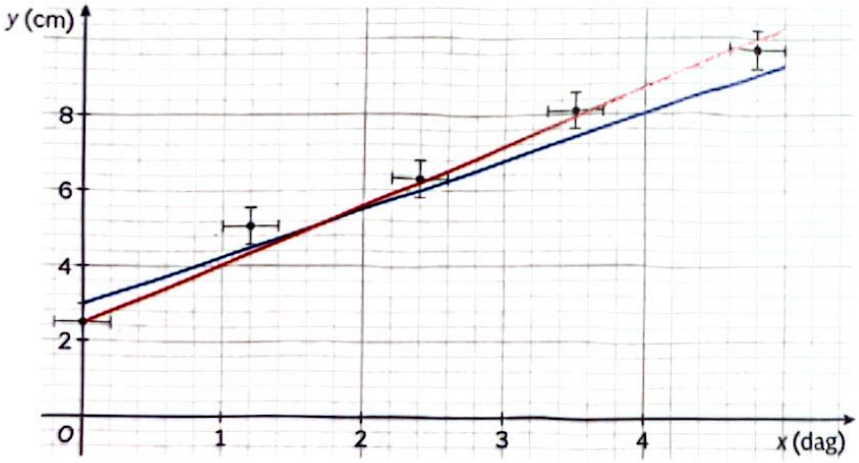
Il parametro m è detto *coefficiente angolare* della retta, perché è legato alla sua pendenza. Per determinarne il valore scegliamo due punti qualsiasi A e B sulla retta e ne ricaviamo graficamente le coordinate. m è il rapporto tra la differenza delle ordinate e la differenza delle ascisse: $m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}$.

Il parametro q è detto *intercetta all'origine* e rappresenta l'ordinata del punto in cui la retta interseca l'asse delle ordinate.

Nel caso in cui abbiamo riportato a mano su carta dati affetti da incertezze, tracciamo la retta più pendente e quella meno pendente che siano compatibili con i dati (come già visto nel caso della proporzionalità diretta). Da queste rette ricaviamo i parametri m_{min}, q_{min}, m_{max} e q_{max} e infine:

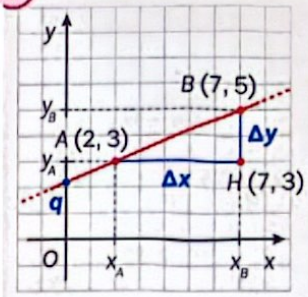
$$m = \frac{m_{max} + m_{min}}{2}; \Delta m = \frac{m_{max} - m_{min}}{2}; q = \frac{q_{max} + q_{min}}{2}; \Delta q = \frac{q_{max} - q_{min}}{2}$$

Applichiamo il metodo ai dati della tabella di esempio.



La retta blu è la meno pendente compatibile con i dati e quella con il massimo valore di q. Ricavando i parametri dalla figura, la sua equazione risulta $y = 1{,}26x + 3{,}0$.

La retta rossa è la più pendente compatibile con i dati e quella con il minimo valore di q. La sua equazione è $y = 1{,}56x + 2{,}5$.



In questo grafico di esempio, il coefficiente angolare della retta è:

$m = (5 - 3)/(7 - 2) =$
$= 2/5 = 0{,}4$

Scanned with CamScanner

Le stime per m e q e le loro incertezze sono:

$$m = \frac{1{,}56 + 1{,}26}{2} = 1{,}4\ \frac{\text{cm}}{\text{dag}};\ \Delta m = \frac{1{,}56 - 1{,}26}{2} = 0{,}15\ \frac{\text{cm}}{\text{dag}} \approx 0{,}2\ \frac{\text{cm}}{\text{dag}}$$

$$q = \frac{3{,}0 + 2{,}5}{2} = 2{,}75\ \text{cm};\ \Delta q = \frac{3{,}0 - 2{,}5}{2} = 0{,}25\ \text{cm} \approx 0{,}3\ \text{cm}$$

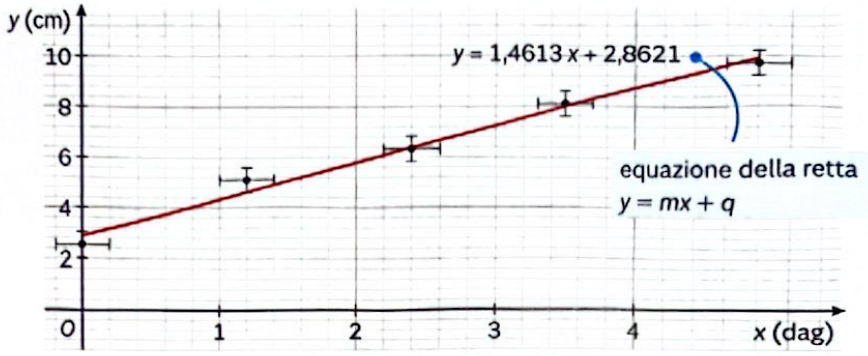
La relazione tra i dati si può quindi esprimere approssimativamente come $y = mx + q$, con $m = (1{,}4 \pm 0{,}2)$ cm/dag e $q = (2{,}8 \pm 0{,}3)$ cm.

- **Con il foglio di calcolo**

Il foglio di calcolo permette di trovare l'equazione e disegnare la retta che meglio approssima una serie di dati. Per farlo, selezioniamo con il tasto destro del mouse uno dei punti e scegliamo il comando `inserisci linea di tendenza` con l'opzione `visualizza l'equazione sul grafico`.

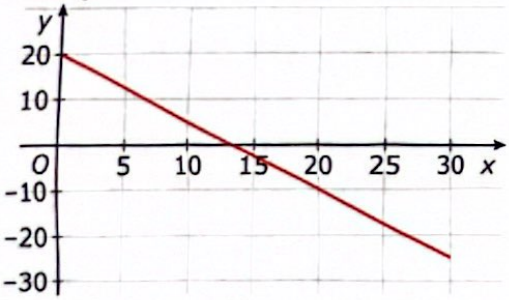
Utilizzando l'ulteriore opzione `imposta l'intercetta 0` possiamo trovare la retta passante per l'origine che meglio approssima i dati, nel caso in cui riteniamo che la relazione sia di proporzionalità diretta.

Osserviamo che l'equazione riportata sul grafico è compatibile con quella ricavata precedentemente.



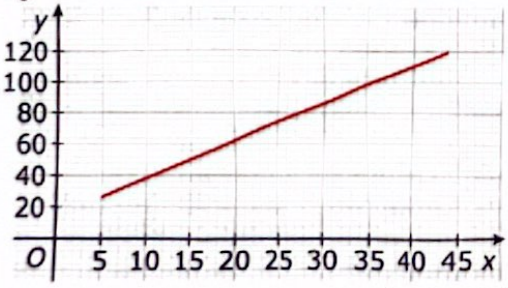
ORA TOCCA A TE

11 Ricava un'equazione approssimata della retta nella figura.



[$y = -1{,}5x + 20$]

12 Ricava un'equazione approssimata della retta in figura.



[$y = 2{,}4x + 14$]

13 I dati in tabella rappresentano la lunghezza di una molla in funzione della massa appesa.

- Rappresenta i dati riportati nella tabella in un grafico cartesiano e verifica che sono compatibili con una relazione di dipendenza lineare.
- Ricava i parametri della relazione e scrivine l'equazione. In base alla formula trovata, valuta il valore di y per $x = 10$ g.

x (g) ± 2 g	y (mm) ± 5 mm
0	18
20	40
40	52
60	70

[$m = (0{,}9 \pm 0{,}2)$ mm/g, $q = (19 \pm 5)$ mm; $y(10) = (28 \pm 7)$ mm]

Scanned with CamScanner

3 Riepilogo delle relazioni tra grandezze

Ecco le possibili relazioni tra due grandezze che abbiamo visto.

A parole	In formule	Parametri
proporzionalità diretta	$y = kx$	$k = \frac{y}{x}$
proporzionalità inversa	$y = \frac{k}{x}$	$k = xy$
proporzionalità quadratica	$y = kx^2$	$k = \frac{y}{x^2}$
dipendenza lineare	$y = mx + q$	$m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$ m: coefficiente angolare q: intercetta all'origine

ORA TOCCA A TE

Negli esercizi che seguono:

- rappresenta i dati riportati nella tabella in un grafico cartesiano;
- valuta se i dati sono compatibili con una delle relazioni che conosci;
- verifica la tua ipotesi e, quando possibile, scrivi l'equazione della relazione.

14

x (s) ± 3 s	y (kg) ± 200 kg
13	2000
26	4400
38	7000
56	10000

[$y = kx$, $k = (170 \pm 10)$ kg/s]

15

x (cm) ± 1 cm	y (g) ± 5 g
3	16
5	75
9	159
12	290
14	447

[$y = kx^2$, $k = (2{,}2 \pm 0{,}4)$ g/cm^2]

16

x (m) ± 30 m	y (m²) ± 0,02 m²
200	0,25
300	0,14
400	0,12
500	0,1

[$y = \frac{k}{x}$, $k = (48 \pm 3)$ m^3]

17

x (s) ± 4 s	y (s) ± 4 s
15	45
40	30
80	28
89	4

[non compatibile con nessuna relazione nota]

18

x (min) ± 5 × 10⁵ min	y (W) ± 800 W
$4{,}2 \times 10^6$	$9{,}0 \times 10^4$
$6{,}7 \times 10^6$	$1{,}53 \times 10^5$
$9{,}1 \times 10^6$	$1{,}98 \times 10^5$
$1{,}10 \times 10^7$	$2{,}47 \times 10^5$
$1{,}90 \times 10^7$	$4{,}20 \times 10^5$

[$y = kx$, $k = (2{,}21 \pm 0{,}05) \times 10^{-2}$ W/min]

19

x (s) ± 0,2 s	y (cm) ± 0,005 cm
0,8	0,023
0,9	0,035
1,0	0,038
1,1	0,050
1,2	0,058

[$y = kx$, $k = (0{,}040 \pm 0{,}002)$ cm/s]

Scanned with CamScanner

5 La relazione di laboratorio

Quando uno scienziato fa una scoperta seguendo le regole del metodo scientifico, comunica i risultati ottenuti attraverso un rapporto scientifico. Questo rapporto può diventare un articolo per la pubblicazione. Se il fenomeno è stato studiato in modo sperimentale, parte da una *relazione di laboratorio*.

Una **relazione di laboratorio** è un testo informativo-espositivo che serve a comunicare i risultati di una ricerca e a illustrare nel dettaglio il modo in cui si è operato.

Per compilarla nel modo giusto, dobbiamo ricordare che la relazione deve permettere a chi la legge di ripetere l'esperimento che abbiamo eseguito. Quindi, deve essere sintetica, schematica e completa, cioè contenere tutte le informazioni necessarie e i dati sperimentali senza dilungarsi in dettagli inutili.

Quando scrivi una relazione, tieni a mente l'obiettivo delle 3C.

CHIAREZZA Il testo deve essere chiaro e privo di ambiguità. Chi legge non deve avere dubbi sul metodo seguito in tutte le fasi dell'esperimento.

COMPLETEZZA Ogni fase della procedura, ogni scelta e ogni passaggio di elaborazione dei dati devono essere dichiarati. Non trascurare alcuna parte della struttura della relazione.

COERENZA Quando fai una scelta, devi dichiararla, giustificarla e tenerla in considerazione fino alle conclusioni. L'obiettivo dichiarato all'inizio guida la raccolta e l'elaborazione dei dati; nelle conclusioni devi scrivere se l'obiettivo è stato raggiunto o meno.

Puoi scrivere la tua relazione:

- su un foglio protocollo;
- con un programma di scrittura al computer.

Se scrivi la relazione a mano, puoi costruire i grafici su carta millimetrata, così saranno più precisi e accurati.

Usare un computer è la soluzione migliore quando hai molti dati da gestire e grafici non semplici da tracciare a mano. Inoltre, puoi riportare direttamente nella relazione le tabelle e i grafici creati sul foglio di calcolo.

Gli esperimenti del capitolo 6 sono presentati seguendo una struttura analoga a quella riportata nella pagina a fianco. Per scrivere la tua relazione di laboratorio, segui la struttura di ciascun esperimento e presta particolare attenzione alle domande guida che troverai nelle conclusioni: ti aiuteranno a tirare le fila del lavoro svolto.

Scanned with CamScanner

1 La struttura della relazione

Nella tabella seguente è riportata la struttura che deve avere una relazione ed è descritta la funzione che svolge ciascuna parte.

Struttura	A cosa serve
Titolo	Introduce l'esperimento.
L'obiettivo	Spiega l'obiettivo dell'esperimento e completa il titolo.
La fisica dell'esperimento	Elenca i principali concetti e le leggi fisiche che riguardano l'esperimento: ▪ leggi da verificare; ▪ leggi usate nell'analisi dei dati; ▪ osservazioni relative al fenomeno che si vuole studiare. Devono essere sintetici e inquadrare il fenomeno.
L'apparato sperimentale	Contiene una tabella o un elenco degli strumenti utilizzati con le loro caratteristiche fondamentali (portata, sensibilità ...) e una descrizione dell'apparato sperimentale. Spesso è utile un disegno schematico o una foto che mostri il montaggio dei materiali e l'allestimento dell'apparato.
Il procedimento	Descrive per punti le operazioni da eseguire nelle diverse fasi esecutive dell'esperimento. In particolare, specifica ogni scelta pratica (per esempio utilizzare uno strumento invece di un altro, o ripetere una misura, ecc...) e qualunque accorgimento adottato per migliorare la precisione delle misure.
La raccolta e l'elaborazione dei dati	Presenta i dati raccolti durante l'esperimento in una tabella riassuntiva, con le rispettive incertezze e unità di misura. Analizza i dati ottenuti; l'analisi comprende: ▪ il calcolo delle incertezze sulle grandezze derivate; ▪ grafici e calcoli per ottenere la misura cercata o per individuare una relazione tra i dati.
Le conclusioni	Comprende: ▪ la discussione sintetica dei risultati ottenuti in relazione all'obiettivo prefissato; ▪ le osservazioni personali e le eventuali interpretazioni degli inconvenienti che possono essersi verificati; ▪ l'eventuale proposta di modifiche per migliorare l'esperimento, in particolare l'analisi di eventuali errori sistematici; ▪ nel caso si sia effettuata una misura di una grandezza (valore ottenuto) il cui valore è già riportato nelle tabelle dei manuali (valore tabulato), è opportuno valutare l'errore percentuale: $\frac{\text{valore ottenuto} - \text{valore tabulato}}{\text{valore tabulato}} \times 100$ Le conclusioni vanno sempre formulate: se sembra che i dati ottenuti non permettano di trarre alcuna conclusione, è opportuno dichiararlo.

Scanned with CamScanner

2 Una relazione di esempio

Shutterstock

Riportiamo, a titolo di esempio, una relazione di laboratorio sullo studio della caduta dei pirottini, gli involucri di carta pieghettata usati nella piccola pasticceria.

RELAZIONE DI LABORATORIO DI FISICA

Il moto di caduta di un pirottino

qui dichiari lo scopo che guida tutto l'esperimento

L'obiettivo

Ricercare la relazione tra l'altezza e il tempo di caduta di un pirottino.

La fisica dell'esperimento

qui descrivi la fisica del fenomeno e le grandezze in gioco

Un pirottino, lasciato cadere, si muove sotto l'azione della forza di gravità e della forza di attrito con l'aria, e il suo moto dipende dalla forza risultante. Abbiamo cercato la relazione tra il tempo di caduta e l'altezza da cui il pirottino è lasciato cadere.

L'apparato sperimentale

quando non si hanno tutti i dati a disposizione sugli strumenti di misura, bisogna dichiararlo

Strumento	Sensibilità	Portata
cronometro dello smartphone	0,01 s	non disponibile
metro	0,001 m	5,000 m

Il procedimento

1. Abbiamo fissato l'altezza h a 0,500 m con il metro.
2. Abbiamo lasciato cadere un pirottino da quell'altezza e misurato il tempo di caduta con il cronometro dello smartphone. La misura è stata ripetuta per 8 volte in modo da valutare l'incertezza statistica legata anche al tempo di reazione di chi usa il cronometro.
3. Abbiamo incrementato l'altezza a intervalli di 0,500 m fino a un massimo di 2,000 m e ripetuto, ogni volta, le otto misure di tempo.

spiega la motivazione delle modalità di misura adottate

La raccolta e l'elaborazione dei dati

Nella seguente tabella sono registrati i dati raccolti.

indica sempre le grandezze misurate, le unità di misura e le incertezze

h (m) ± 0,01 m	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	t_4 (s)	t_5 (s)	t_6 (s)	t_7 (s)	t_8 (s)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,50	0,43	0,46	0,36	0,38	0,40	0,42	0,29	0,37
1,00	0,87	0,88	0,74	0,74	0,71	0,87	0,78	0,80
1,50	1,06	1,09	1,06	1,14	1,04	1,19	1,19	1,16
2,00	1,48	1,42	1,68	1,36	1,71	1,65	1,68	1,79

motiva le tue scelte

Abbiamo attribuito all'altezza un'incertezza di 0,010 m, perché ci siamo resi conto di non riuscire a lasciar cadere il pirottino dalla stessa quota con la precisione di 0,001 m.

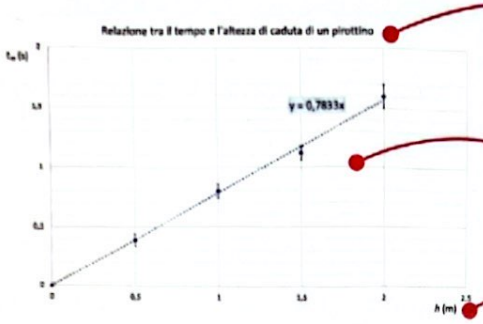
Scanned with CamScanner

1. Per ogni altezza abbiamo calcolato la media t_m dei tempi misurati e il relativo scarto quadratico medio σ_t che rappresenta l'incertezza statistica. Poiché questa risulta sempre maggiore della sensibilità del cronometro, abbiamo attribuito σ_t come incertezza Δt alla misura del tempo (arrotondata a una cifra significativa).

espandi la tabella con le colonne dei dati elaborati

h (m) ± 0,01 m	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	t_4 (s)	t_5 (s)	t_6 (s)	t_7 (s)	t_8 (s)	t_m (s)	σ_t (s)	Δt (s)
0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,50	0,43	0,46	0,36	0,38	0,40	0,42	0,29	0,37	0,39	0,0486	0,05
1,00	0,87	0,88	0,74	0,74	0,71	0,87	0,78	0,80	0,80	0,0631	0,06
1,50	1,06	1,09	1,06	1,14	1,04	1,19	1,19	1,16	1,12	0,0572	0,06
2,00	1,48	1,42	1,68	1,36	1,71	1,65	1,68	1,79	1,60	0,1448	0,1

2. Abbiamo riportato i dati in un grafico cartesiano, inserendo le barre di errore; quelle orizzontali sono poco visibili perché piccole rispetto alla scala del grafico.



puoi scrivere un titolo che guida alla lettura del grafico

riporta i grafici coerenti con i dati e i commenti

riporta grandezze e unità di misura sugli assi

3. I punti, entro le barre di errore, sono allineati con l'origine. I dati sono quindi compatibili con una relazione di proporzionalità diretta della forma $t = kh$, dove k è la costante di proporzionalità.

Il grafico riporta la linea di tendenza e la sua equazione calcolata dal foglio di calcolo.

Abbiamo poi calcolato con il metodo algebrico, il valore di k a partire dai dati, con relativa media e scarto quadratico medio.

h (m)	t_m (s)	$k = t_m/h$ (s/m)
0,00	0	-
0,50	0,39	0,78
1,00	0,80	0,80
1,50	1,12	0,75
2,00	1,60	0,80
	k medio:	0,78
	Δk:	0,02

metti in evidenza i dati ottenuti più rilevanti

Le conclusioni

Possiamo concludere che un pirottino, lasciato cadere da un'altezza h, arriva a terra in un tempo t direttamente proporzionale all'altezza. Pertanto, si muove di moto rettilineo uniforme. La relazione tra h e t si può scrivere nella forma $t = kh$, con $k = (0{,}78 \pm 0{,}03)$ s/m.

collega la conclusione all'obiettivo dichiarato all'inizio

Il valore della velocità è dato dal reciproco di k:

$$v = \frac{1}{k} = \frac{1}{0{,}78 \text{ s/m}} = 1{,}282 \text{ m/s}$$

riporta gli eventuali ultimi calcoli per concludere la trattazione

con un'incertezza pari a:

$$\Delta v = \frac{1}{k} \cdot \frac{\Delta k}{k} = \frac{0{,}02 \text{ s/m}}{(0{,}78 \text{ s/m})^2} = 0{,}033 \text{ m/s} \approx 0{,}03 \text{ m/s}$$

La velocità media di caduta del pirottino è: $v = (1{,}28 \pm 0{,}03)$ m/s.

Scanned with CamScanner

6 Gli esperimenti

misura
esplora
verifica
foglio di calcolo
app
a casa

1 Misure del volume di un corpo

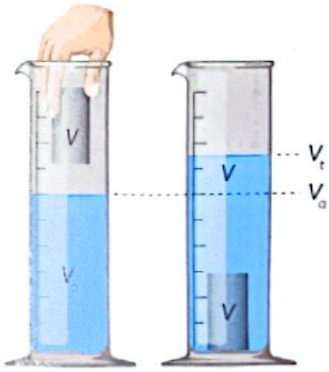
L'OBIETTIVO Misurare il volume di un corpo di forma regolare con due metodi diversi.

LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

Il volume di un solido regolare può essere misurato in due modi.

Metodo geometrico Le dimensioni dei solidi possono essere misurate con strumenti di misura di lunghezza, per esempio il righello o il calibro. Si può determinare il loro volume in modo indiretto, usando le formule della geometria.

Metodo per immersione Se i solidi non sono porosi né solubili in acqua, il volume può essere ricavato immergendo il solido in un cilindro graduato contenente acqua e misurando lo spostamento del liquido. Il volume V del corpo è uguale alla differenza tra il volume V_t raggiunto dall'acqua quando vi è immerso il solido e il volume V_a della sola acqua, ovvero $V = V_t - V_a$.



L'APPARATO SPERIMENTALE

Strumento	Sensibilità	Portata
calibro	0,5 mm	20 cm
cilindro graduato	1 cm^3	100 cm^3

Procurati tre solidi con forme diverse: uno a forma di parallelepipedo, uno di forma cilindrica e uno di forma sferica.

IL PROCEDIMENTO

1. Versa dell'acqua nel cilindro graduato e leggi sulla scala il valore V_a del volume d'acqua.
2. Posa un oggetto nel cilindro in modo che sia completamente immerso e leggi il nuovo valore V_t sulla scala del cilindro graduato. Ripeti la misura per tutti gli oggetti a tua disposizione.

Nella lettura del volume tieni conto della forma del menisco [▶ cap. 2, par. 7].

Scanned with CamScanner

3. Misura le dimensioni degli oggetti con il calibro: gli spigoli a, b, c del parallelepipedo, il diametro di base d e l'altezza h del cilindro e il diametro D della sfera.

LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI

Registra i dati in una tabella, impostata a seconda delle grandezze misurate. Attribuisci a ciascuna grandezza l'incertezza data dalla sensibilità dello strumento.

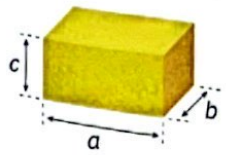
	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1									
2	oggetto	V_a (cm³) ± 1 cm³	V_t (cm³) ± 1 cm³	spigolo a (mm) ± 0,5 mm	spigolo b (mm) ± 0,5 mm	spigolo c (mm) ± 0,5 mm	diametro d (mm) ± 0,5 mm	altezza h (mm) ± 0,5 mm	diametro D (mm) ± 0,5 mm
3	parallelepipedo								
4	cilindro								
5	sfera								
6									

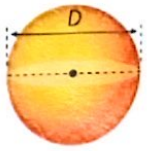
1. Completa la tabella aggiungendo le colonne per il calcolo dei volumi con le relative incertezze.
2. Calcola il volume V_i per immersione e la relativa incertezza

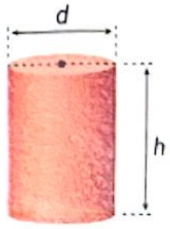
$$V_i = V_t - V_a; \quad \Delta V_i = \Delta V_t + \Delta V_a$$

3. Calcola il volume V_g con le leggi della geometria e la relativa incertezza.

	Volume V_g	Incertezza ΔV_g
parallelepipedo	$a \cdot b \cdot c$	$V_g\left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c}\right)$
sfera	$\frac{4}{3}\pi\left(\frac{D}{2}\right)^3 = \frac{\pi}{6} D^3$	$V_g \cdot 3\,\frac{\Delta D}{D}$
cilindro	$\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 h = \frac{\pi}{4} d^2 h$	$V_g\left(2\frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta h}{h}\right)$







CONCLUSIONI

- Per ciascun oggetto, confronta i risultati ottenuti per la misura di volume con il metodo per immersione (V_i) e con il metodo geometrico (V_g). Cosa puoi notare?
- Quale procedimento ha fornito il risultato più preciso?
- Quale metodo puoi usare per misurare il volume di oggetti di forma irregolare?

A CASA

Al posto del cilindro graduato puoi utilizzare una siringa grande acquistata in farmacia, di sensibilità 2 mL e portata 100 mL, provvista di tappo.
Puoi usare un righello al posto del calibro.

Scanned with CamScanner

misura
esplora
verifica
foglio di calcolo
app
a casa

2 Misure di densità

L'OBIETTIVO Misurare la densità di alcuni oggetti solidi di diversa forma e di alcuni liquidi.

LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

La densità d di un corpo solido o di un liquido è definita come il rapporto tra la sua massa m e il suo volume V.

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

densità [kg/m³] — massa [kg] — volume [m³]

Nel Sistema Internazionale l'unità di misura della densità è kg/m³.

L'APPARATO SPERIMENTALE

Strumento	Sensibilità	Portata
bilancia	0,1 g	.....
calibro	0,5 mm	20 cm
cilindro graduato	1 cm³	100 cm³

Hai bisogno di alcuni oggetti con caratteristiche diverse: dei solidi di forma regolare (parallelepipedo, cilindro o sfera) di materiali noti, un solido irregolare (per esempio una piccola pietra) e dei liquidi noti (per esempio dell'olio di semi e dell'alcol).

IL PROCEDIMENTO

1. Misura la massa m degli oggetti solidi con la bilancia.

2a. Per un oggetto irregolare Riempi d'acqua il cilindro graduato. Leggi sulla scala del cilindro graduato il valore V_1 del volume d'acqua. Posa l'oggetto nell'acqua in modo che sia completamente immerso e leggi il nuovo valore V_2 del volume d'acqua. Il volume V dell'oggetto è uguale alla differenza $V_2 - V_1$.

2b. Per un oggetto regolare Misura le dimensioni dell'oggetto con il calibro (gli spigoli a, b e c per un parallelepipedo, il diametro D per una sfera, il diametro D di base e l'altezza h per un cilindro). In alternativa, puoi misurare il volume con lo stesso procedimento mostrato al punto **2a** per un oggetto di forma irregolare.

2c. Per un liquido Metti il cilindro graduato vuoto sulla bilancia e azzera la misura di massa sul display. Versa un po' di liquido nel cilindro e leggi il valore della sua massa. Leggi il volume V_L del liquido versato direttamente dalla gradazione del cilindro.

3. Ripeti le stesse operazioni per tutti gli oggetti solidi e i liquidi a disposizione.

Scanned with CamScanner

LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI

Registra i dati in una tabella, compilando le colonne delle grandezze misurate per ciascun oggetto (celle bianche).

Tutte le misure che hai raccolto hanno incertezze statistiche minori della sensibilità degli strumenti; quindi, attribuisci a ciascuna di esse l'incertezza data dalla sensibilità.

Prendi nota del materiale degli oggetti e dei liquidi che usi. Ti servirà per confrontare il valore di densità noto con quello da te calcolato.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	oggetto	m (g) ± 0,1 g	V_1 (cm³) ± 1 cm³	V_2 (cm³) ± 1 cm³	V_L (cm³) ± 1 cm³	diametro D (mm) ± 0,5 mm	altezza h (mm) ± 0,5 mm	spigolo a (mm) ± 0,5 mm	spigolo b (mm) ± 0,5 mm	spigolo c (mm) ± 0,5 mm
2	sfera									
3	cilindro									
4	parallelepipedo									
5	pietra									
6	alcol									
7	...									

1. Calcola il volume V e la relativa incertezza ΔV per i diversi oggetti.

	Volume V	Incertezza ΔV
solidi irregolari	$V_2 - V_1$	$\Delta V_2 + \Delta V_1$
sfera	$\frac{4}{3}\pi\left(\frac{D}{2}\right)^3 = \frac{\pi}{6} D^3$	$V \cdot 3\,\frac{\Delta D}{D}$
cilindro	$\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2 h = \frac{\pi}{4} D^2 h$	$V\left(2\frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta h}{h}\right)$
parallelepipedo	$a \cdot b \cdot c$	$V\left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c}\right)$

2. Calcola la densità come rapporto $d = \frac{m}{V}$ e la relativa incertezza $\Delta d = d\left(\frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta V}{V}\right)$.

3. Completa la tabella aggiungendo in fondo le colonne per il volume e la densità, con le relative incertezze.

CONCLUSIONI

- Confronta i risultati ottenuti per gli oggetti costituiti da materiali noti con i valori tabulati di densità degli stessi materiali. C'è corrispondenza entro le incertezze? Valuta anche lo scarto percentuale tra i valori sperimentali e quelli tabulati.
- Analizza le diverse misure ottenute. Ce ne sono alcune con incertezza relativa particolarmente elevata? Riesci a individuarne la causa?
- Sull'incertezza del risultato della densità influiscono maggiormente le incertezze sulla misura della massa o quelle sulla misura del volume?

Densità di alcune sostanze

Sostanza	Densità (kg/m³)
ferro	7860
alluminio	2700
piombo	11300
cemento	2200
acqua	1000
olio di semi	920
alcool etilico	806

A CASA

Al posto del cilindro graduato puoi utilizzare una siringa grande acquistata in farmacia, di sensibilità 2 mL e portata 100 mL, provvista di tappo. Puoi usare il righello al posto del calibro e la bilancia da cucina.
Prova a misurare la densità della lega delle monete da 5 centesimi. Per ridurre le incertezze, puoi misurarne 10 insieme.

Scanned with CamScanner

3 Misure di tempo: periodo delle piccole oscillazioni di un pendolo

L'OBIETTIVO Misurare il periodo delle piccole oscillazioni di un pendolo.

LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

Il periodo T di oscillazione di un pendolo non dipende dall'ampiezza di oscillazione, ma solo dalla sua lunghezza l secondo la relazione

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

periodo [s]

lunghezza del pendolo [m]

accelerazione di gravità $g = 9{,}8\ \mathrm{m/s^2}$

La formula è valida quando l'ampiezza dell'oscillazione è piccola, di solito minore di circa 10°.

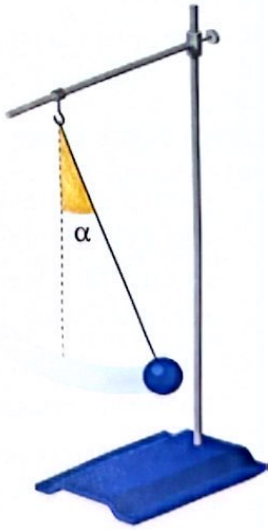
L'APPARATO SPERIMENTALE

Strumento	Sensibilità	Portata
cronometro dello smartphone	0,01 s	non disponibile

Hai bisogno di un sostegno al quale agganciare il pendolo, di un filo inestensibile e di una massa da appendere al filo.

IL PROCEDIMENTO

1. Monta il pendolo, costituito da una massa appesa a un filo.
2. Sposta la massa appesa dalla posizione di equilibrio, facendo in modo che l'angolo α che il filo forma con la direzione verticale sia inferiore ai 10°. Lascia andare la massa che comincerà a oscillare.
3. Misura il tempo impiegato dal pendolo per compiere dieci oscillazioni complete. Un'oscillazione completa è data dal moto della massa da un estremo (a destra o a sinistra) fino al ritorno allo stesso estremo.
4. Ripeti la misura dodici volte.



Fai attenzione a non superare i 10° di ampiezza di oscillazione, per restare entro i limiti di validità della formula del periodo.

Scanned with CamScanner

LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI

Registra in una tabella le dodici misure del tempo di dieci oscillazioni.

1. Completa la tabella dei dati, aggiungendo quattro colonne: il tempo medio $\bar{t}_{10}$ e la sua incertezza $\Delta\bar{t}_{10}$; il periodo T di un'oscillazione e la sua incertezza ΔT.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
3	$t_{10}^{(1)}$(s)	$t_{10}^{(2)}$(s)	$t_{10}^{(3)}$(s)	...	$t_{10}^{(11)}$(s)	$t_{10}^{(12)}$(s)	$\bar{t}_{10}$ (s)	$\Delta\bar{t}_{10}$ (s)	T(s)	ΔT(s)
4										

2. Usa la media aritmetica per calcolare il tempo medio di 10 oscillazioni:

$$\bar{t}_{10} = \frac{t_{10}^{(1)} + t_{10}^{(2)} + \ldots + t_{10}^{(12)}}{12}$$

Usa lo scarto quadratico medio o, in alternativa, la semidispersione per determinare $\Delta\bar{t}_{10}$. Poiché questa incertezza risulta superiore alla sensibilità del cronometro, usala come incertezza assoluta.

3. Ricava il periodo di una oscillazione $T = \bar{t}_{10}/10$ e la sua incertezza $\Delta T = \Delta\bar{t}_{10}/10$.

CONCLUSIONI

- Riporta il valore del periodo e la sua incertezza.
- Qual è la causa principale dell'incertezza trovata? Perché è opportuno misurare il tempo di 10 oscillazioni e non il tempo di un'oscillazione soltanto?
- Come si può ridurre l'incertezza? C'è un limite a questa riduzione?

A CASA

Scegli un filo o una corda non elastiche, in modo che la lunghezza non cambi quando la massa oscilla. Trova un supporto che rimanga ben fermo durante le oscillazioni: la maniglia di una porta chiusa può essere una buona scelta.

Tra i molti oggetti che puoi appendere al filo, scegline uno compatto e non troppo leggero: ti assicurerai così delle oscillazioni stabili e limiterai gli errori. Ricorda che la massa dell'oggetto scelto non influisce sul valore del periodo di oscillazione.

Scanned with CamScanner

4 Relazione tra l'allungamento di una molla e la massa di un corpo appeso

L'OBIETTIVO Cercare una relazione tra l'allungamento di una molla e la massa di un corpo appeso alla sua estremità inferiore.

LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

Quando un corpo di massa m viene agganciato a una molla appesa in verticale, la molla si allunga fino a raggiungere una posizione di equilibrio.

A seconda del valore di m, la lunghezza della molla cambia e il corpo raggiunge una diversa posizione di equilibrio.

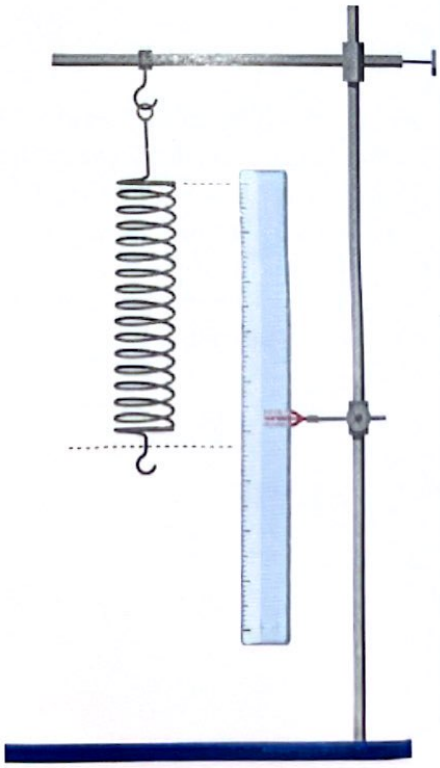
L'APPARATO SPERIMENTALE

Strumento	Sensibilità	Portata
bilancia	0,1 g	.....
righello	1 mm	.....

Hai bisogno di un'asta di sostegno, di una molla e di alcuni pesetti.

IL PROCEDIMENTO

1. Aggancia un'estremità della molla all'asta di sostegno in modo che la molla si disponga in verticale.
2. Misura la lunghezza l_0 della molla appesa.
3. Misura la massa di un pesetto e agganciala all'estremità inferiore della molla. Attendi che la molla smetta di oscillare e poi misurane la lunghezza l.
4. Misura la massa di altri pesetti e aggiungili uno alla volta alla molla, poi misurane la lunghezza l. Usa almeno quattro pesetti diversi.



Scanned with CamScanner

LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI

Registra i dati in una tabella in cui riporti ogni volta la massa m dei pesetti appesi e la corrispondente lunghezza l della molla.

1. Per ogni valore l misurato, calcola l'allungamento $a = l - l_0$ rispetto alla lunghezza a riposo.
2. Riporta le coppie di dati (m; a) in un grafico cartesiano, ponendo la massa m sull'asse delle ascisse e l'allungamento a sull'asse delle ordinate. Inserisci le barre di errore su entrambi gli assi.
3. Osserva che i dati sembrano disporsi su una retta passante per l'origine; questo suggerisce un rapporto di proporzionalità diretta tra l'allungamento e la massa.
4. Calcola algebricamente il coefficiente di proporzionalità diretta $k = a/m$ per ogni coppia di dati e riporta i risultati in una nuova colonna della tabella.

Quale formula ti serve?
Ricorda che, per una proporzionalità diretta, vale la relazione $k = y/x$.

	B	C	D	E
2	m (g) ± 0,1 g	l (cm) ± 0,1 cm	$a = l - l_0$ (cm) ± 0,2 cm	$k = a/m$ (cm/g)
3				
4				
5				
6				

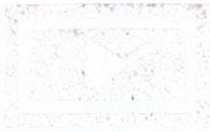
5. Calcola la stima per il valore k e la sua incertezza usando rispettivamente la media e la semidispersione assoluta o lo scarto quadratico medio dei valori trovati per le diverse coppie.

Con il foglio di calcolo traccia la `linea di tendenza` e mostra la sua equazione [▶ cap. 3, par. 3]. Puoi così confrontare il valore di k da te calcolato con il coefficiente della x, ovvero la pendenza della retta.

CONCLUSIONI

- Scrivi la relazione tra a e m, specificando il valore del coefficiente k e la sua incertezza.
- Quale significato ha il valore di k?
- Se a è direttamente proporzionale a m, anche m è direttamente proporzionale ad a, ma il coefficiente di proporzionalità è diverso. Qual è il suo valore?
- Riscrivi la relazione esplicitando m.
- Qual è il significato del coefficiente in questo secondo caso?

In un altro esperimento mettiamo in **relazione la forza applicata alla molla e il suo allungamento**, sapendo che la forza applicata è data dalla forza-peso che si esercita sulle masse appese.



E Relazione tra l'allungamento di una molla e la forza applicata

Scanned with CamScanner

5 Relazione tra il tempo di svuotamento di una bottiglia e il numero di fori

L'OBIETTIVO Cercare una relazione tra il numero di fori praticati in una bottiglia e il tempo di svuotamento.

LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

Se si fora il dorso di una bottiglia di plastica, l'acqua fuoriesce e il livello cala fino all'altezza dei fori. Il tempo di svuotamento dipende da alcuni parametri, come le dimensioni dei fori e l'altezza della superficie libera dell'acqua rispetto all'altezza dei fori. Se si praticano più fori tutti della stessa dimensione e alla stessa altezza, esiste una relazione di proporzionalità tra il numero n di fori e il tempo t di fuoriuscita dell'acqua.

L'APPARATO SPERIMENTALE

Strumento	Sensibilità	Portata
cronometro dello smartphone	0,01 s	Non disponibile

Ti servono: una bottiglia di plastica, un chiodo o un punteruolo, un accendino o un fornello bunsen, del nastro adesivo e un pennarello.

IL PROCEDIMENTO

1. Scalda il chiodo (o il punteruolo) sulla fiamma e pratica dei fori sul dorso della bottiglia. I fori devono essere tutti alla stessa altezza e avere lo stesso diametro.
2. Traccia con il pennarello due segni orizzontali sul dorso della bottiglia ad altezze diverse e al di sopra dei fori.

Per assicurarti che i fori siano tutti alla stessa altezza rispetto al fondo della bottiglia, puoi disporre un elastico attorno alla bottiglia, così da avere una linea di riferimento da seguire.

Scanned with CamScanner

3. Chiudi con il nastro adesivo tutti i fori.
4. Riempi di acqua la bottiglia in modo che la superficie libera raggiunga un livello più alto rispetto ai segni tracciati con il pennarello.
5. Libera un foro dal nastro adesivo e lascia che l'acqua fuoriesca. Cronometra il tempo necessario affinché il livello dell'acqua nella bottiglia scenda dal segno più alto a quello più basso. Ripeti la misura 5 volte.
6. Libera un altro foro dal nastro adesivo e ripeti la misura di svuotamento 5 volte, come al punto precedente.
7. Continua ad aumentare il numero n di fori liberi, uno alla volta, e a misurare il tempo di svuotamento.

LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI

Costruisci una tabella per registrare i tempi t_n di svuotamento misurati a seconda del numero n dei fori liberi.

1. Aggiungi due colonne alla tabella: per ogni valore di n calcola la media $\bar{t}$ dei tempi e lo scarto quadratico medio (o la semidispersione).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	fori	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	t_4 (s)	t_5 (s)	$\bar{t}$ (s)	$\Delta\bar{t}$ (s)
3	1							
4	2							
5	3							
6	4							

2. Poiché lo scarto quadratico medio dei tempi è maggiore della sensibilità del cronometro, assumi lo scarto quadratico medio come incertezza della media dei tempi per ogni dato numero di fori.
3. Cerca ora la relazione tra il numero di fori e il tempo di svuotamento.
4. Riporta le coppie di dati (n; $\bar{t}$) in un grafico cartesiano, inserendo le barre di errore. Osserva che i dati sembrano disporsi su un *arco di iperbole* che mostra una possibile relazione di proporzionalità inversa.
5. Per verificare questa ipotesi, linearizza la relazione [▶ cap. 4, par. 2]; aggiungi la colonna $1/n$ alla tabella e rappresenta le coppie ($1/n$; $\bar{t}$).
6. Osservato che, entro le barre di errore, i punti sul nuovo grafico risultano allineati, calcola algebricamente il coefficiente di proporzionalità $k = n\bar{t}$ per ogni coppia e riporta i risultati in una nuova colonna della tabella.
7. Calcola la stima per il valore k e la sua incertezza, usando la media e lo scarto quadratico medio dei valori trovati.

Con un maggiore numero di fori praticati sulla bottiglia, si avranno più punti sul grafico e più evidente sarà il suo andamento.

CONCLUSIONI

- Scrivi la relazione tra n e $\bar{t}$, specificando il valore del coefficiente k e la sua incertezza.
- La relazione trovata è in accordo con quanto ti aspettavi?

Scanned with CamScanner

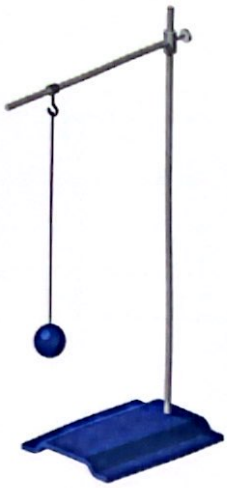
6 Relazione tra il periodo e la lunghezza di un pendolo

L'OBIETTIVO Cercare una relazione tra il periodo delle piccole oscillazioni di un pendolo piano e la sua lunghezza.

LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

Un pendolo cambia il suo periodo di oscillazione T al variare della lunghezza l. Esiste una relazione tra queste due grandezze fisiche valida quando l'ampiezza dell'oscillazione è piccola, di solito minore di circa 10°.

L'APPARATO SPERIMENTALE



Strumento	Sensibilità	Portata
cronometro dello smartphone	0,01 s	non disponibile
metro	1 mm	.....

Ti servono anche un supporto fisso sul quale legare un filo inestensibile e una massa da appendere.

IL PROCEDIMENTO

1. Monta il pendolo, appendendo una massa a un filo legato a un sostegno fisso.
2. Misura la lunghezza del filo dal punto in cui è attaccato fino al centro della massa appesa.
3. Sposta il pendolo dalla posizione di equilibrio, facendo attenzione a non superare un angolo di 10° e lascialo libero.
4. Misura il tempo impiegato dal pendolo per compiere dieci oscillazioni complete. Un'oscillazione si considera completa quando la massa si muove da un estremo (a destra o a sinistra) fino al ritorno allo stesso estremo.
5. Ripeti la misura dodici volte.
6. Modifica più volte la lunghezza del pendolo e, per ogni lunghezza, ripeti le dodici misure del tempo di 10 oscillazioni.

È conveniente usare lunghezze comprese tra 30 cm e 1 m. Potresti allungare il filo di 10 cm alla volta.

LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI

Registra le misure in una tabella: riporta nella prima colonna le lunghezze del pendolo e, nelle dodici colonne successive, le misure ripetute del tempo di dieci oscillazioni.

1. Per ogni lunghezza calcola la media aritmetica delle dodici misure di tempo:

$$\bar{t}_{10} = \frac{t_{10}^{(1)} + t_{10}^{(2)} + t_{10}^{(3)} + \ldots + t_{10}^{(12)}}{12}$$

Scanned with CamScanner

Calcola poi lo scarto quadratico medio $\Delta\bar{t}_{10}$ (o, in alternativa, la semidispersione). Poiché questa incertezza risulta superiore alla sensibilità del cronometro, usala come incertezza assoluta. Aggiungi due colonne alla tabella dei dati in cui riportare i valori della media dei tempi e la sua incertezza.

2. Ricava il periodo $T = \bar{t}_{10}/10$ di una sola oscillazione e calcola la sua incertezza $T = \Delta\bar{t}_{10}/10$. Riporta i risultati in due nuove colonne al fondo della tabella.

Con il foglio di calcolo puoi scrivere la formula di $\bar{t}_{10}$ nella cella che corrisponde alla prima lunghezza e poi usare la funzione di trascinamento per completare velocemente tutta la colonna.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	l (m) ± 0,001 m	$t_{10}^{(1)}$ (s)	$t_{10}^{(2)}$ (s)	$t_{10}^{(3)}$ (s)	...	$t_{10}^{(11)}$ (s)	$t_{10}^{(12)}$ (s)	$\bar{t}_{10}$ (s)	$\Delta\bar{t}_{10}$ (s)	T (s)	ΔT (s)
2	0,30										
3											
4											
5											
6											
7											
8											

3. Per cercare una relazione tra lunghezza e periodo, riporta le coppie di dati (T; l) in un grafico cartesiano, inserendo le barre di errore. Dovresti osservare che i dati sembrano disporsi su un arco di parabola con vertice nell'origine.

4. Per verificare questa ipotesi, linearizza la relazione [▶ cap. 4, par. 2]. Aggiungi perciò due ulteriori colonne alla tabella: T^2 e ΔT^2. Rappresenta infine le coppie (T^2; l).

   Osservato che, entro le barre di errore, i punti sul nuovo grafico risultano allineati, calcola algebricamente il coefficiente di proporzionalità $k = l/T^2$ per ogni coppia e riporta i dati in una nuova colonna della tabella.

Quale formula ti serve?
L'incertezza di T^2 è:
$\Delta T^2 = 2T \cdot \Delta T$.

5. Calcola la stima per il coefficiente k e la sua incertezza Δk utilizzando la media e lo scarto quadratico medio dei valori trovati per le diverse coppie.

6. Sul foglio di calcolo trova la linea di tendenza del grafico e confronta il valore di k con quello da te trovato.

CONCLUSIONI

- Scrivi la relazione tra l e T, specificando il valore del coefficiente k e la sua incertezza.
- Confronta la relazione da te trovata con quella teorica $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ ($g = 9{,}8$ m/s^2). A quali elementi della formula teorica corrisponde il coefficiente k? Le due relazioni sono compatibili?
- Quale scarto percentuale c'è tra il valore di k teorico e quello da te trovato?

A CASA

Scegli un filo o una corda non elastiche, in modo che la lunghezza non cambi quando la massa oscilla. Trova un supporto che rimanga ben fermo durante le oscillazioni. Tra i molti oggetti che puoi appendere al filo, scegline uno compatto e non troppo leggero: ti assicurerai così delle oscillazioni stabili e limiterai gli errori.

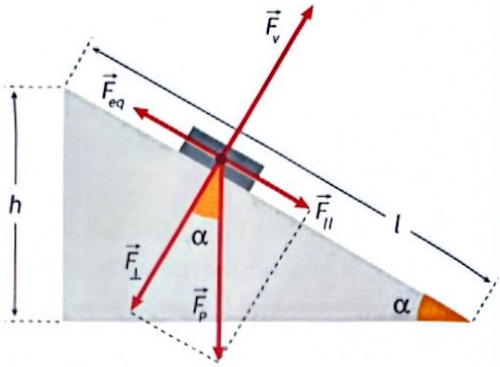
Scanned with CamScanner

7 Equilibrio sul piano inclinato

L'OBIETTIVO Determinare la relazione tra la forza che agisce su un carrello in equilibrio su un piano inclinato e l'inclinazione del piano.

LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

Un oggetto posto su un piano inclinato privo di attrito è soggetto alla forza-peso che lo fa scivolare verso il basso, qualunque sia l'inclinazione del piano.



La forza di reazione vincolare $\vec{F}_V$ del piano bilancia la componente $\vec{F}_\perp$ della forza-peso perpendicolare al piano. Perciò, per mantenere l'oggetto in equilibrio, è sufficiente applicare una forza $\vec{F}_{eq}$ parallela al piano e opposta alla componente $\vec{F}_{//}$ della forza-peso parallela al piano.

$$F_{eq} = F_{//} = F_P \sin\alpha = F_P \frac{h}{l}$$

angolo di inclinazione — altezza del piano [m] — lunghezza del piano [m]

Fissate la lunghezza l del piano e la massa m dell'oggetto, il modulo F_{eq} della forza equilibrante risulta direttamente proporzionale all'altezza h del piano.

L'APPARATO SPERIMENTALE

Strumento	Sensibilità	Portata
riga	1 mm	.....
bilancia	0,1 g	.....
dinamometro	0,01 N	.....

Hai bisogno di una guida a cuscino d'aria con carrello.

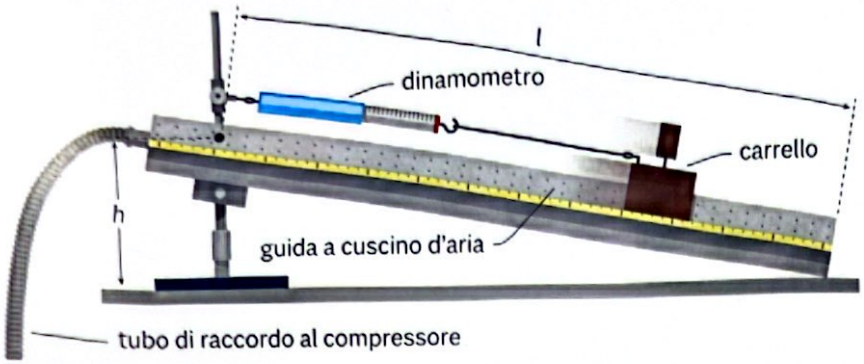
IL PROCEDIMENTO

ALLESTISCI L'APPARATO SPERIMENTALE

1. Inclina la guida di un piccolo angolo rispetto all'orizzontale, inserendo uno spessore sotto un'estremità. L'inclinazione deve essere piuttosto piccola, altrimenti il sistema ad aria compressa non riesce a mantenere il carrello sospeso sopra la guida. Comincia con un dislivello di pochi centimetri.
2. Fissa il dinamometro a un'estremità della guida.
3. Posiziona il carrello sulla rotaia e aggancialo alla molla del dinamometro, che va disposto parallelamente alla guida.

Puoi anche tenere il dinamometro con la mano ma fai attenzione a mantenerlo parallelo alla guida.

Scanned with CamScanner



PROCEDI CON LE MISURE

4. Misura la massa del carrello m.
5. Misura la lunghezza l della guida rettilinea.
6. Misura l'altezza h.
7. Accendi il compressore, attendi che il carrello raggiunga la posizione di equilibrio, poi annota il valore di F_{eq} segnato dal dinamometro.
8. Ripeti almeno 5 volte le ultime due operazioni, alzando ogni volta l'altezza h della guida.

CON APP

Invece di misurare l'altezza h, puoi misurare l'angolo α di inclinazione del piano con lo strumento `Inclinazione` dell'app Phyphox, e cercare la relazione per le coppie (sinα ; F_{eq}). Posiziona lo smartphone sul carrello o a fianco della guida, in modo che l'app misuri l'angolo a mano a mano che se ne modifica la pendenza.

LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI

Crea una tabella su un foglio di calcolo per registrare le coppie (h; F_{eq}) raccolte, inserendo come incertezza rispettivamente la sensibilità della riga e quella del dinamometro.

1. Rappresenta in un grafico a dispersione le coppie (h; F_{eq}) con le relative barre di errore e verifica che tali punti siano allineati con l'origine.
2. Aggiungi una colonna alla tabella per calcolare algebricamente il coefficiente di proporzionalità diretta $k = F_{eq}/h$ per ogni coppia.

CON APP

Se usi Phyphox, raccogli e rappresenta i dati per le coppie (sin α; F_{eq}).

	A	B	C	D	E
1	grandezza		incertezza		unità di misura
2	m =		Δm =		kg
3	l =		Δl =		m
4					
5	n° misura	h (m) ± 0,001 m	F_{eq} (N) ± 0,01 N	$k = F_{eq}/h$ (N/m)	
6	1				
7	2				
8	3				
9	4				
10	5				

Puoi anche ottenere il valore di k sul foglio di calcolo tracciando la linea di tendenza passante per l'origine [▶ cap. 3, par. 3].

3. Calcola la stima per il valore k e la sua incertezza, utilizzando la media e lo scarto quadratico medio o la semidispersione assoluta dei valori trovati per le diverse coppie.

CONCLUSIONI

- Scrivi il coefficiente k di proporzionalità diretta con la relativa incertezza.
- Che cosa rappresenta tale coefficiente?
- Se ne conosci un valore teorico atteso derivante dai dati dell'apparato sperimentale, calcola l'errore percentuale tra il valore da te trovato e quello teorico.

Scanned with CamScanner

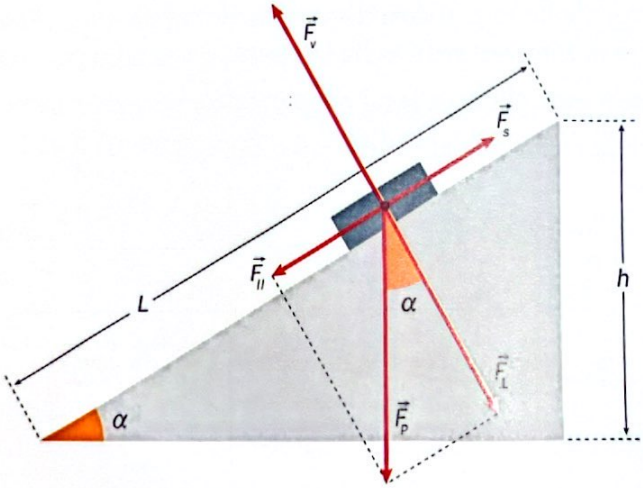
8 Misura del coefficiente di attrito statico con angolo di distacco

L'OBIETTIVO Determinare il coefficiente di attrito statico tra un oggetto e la superficie di un piano inclinato.

LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

Se appoggiamo un oggetto su un piano e aumentiamo gradualmente l'angolo di inclinazione α rispetto all'orizzontale, la condizione di equilibrio è verificata fino a quando la forza di attrito statico $\vec{F}_s$ è in grado di bilanciare la componente $F_{//} = F_P \sin\alpha$ della forza-peso $\vec{F}_P$. L'oggetto rimane in equilibrio fintanto che $F_{//} \leq F_s^{max}$, dove F_s^{max} è il valore massimo della forza di attrito statico data da:

$$F_s^{max} = \mu_s F_\perp = \mu_s F_P \cos\alpha_{max}$$



Con α_{max} indichiamo l'angolo di distacco, ossia l'angolo massimo per il quale l'oggetto è in equilibrio, quando il modulo di $F_{//}$ uguaglia quello di F_s^{max}:

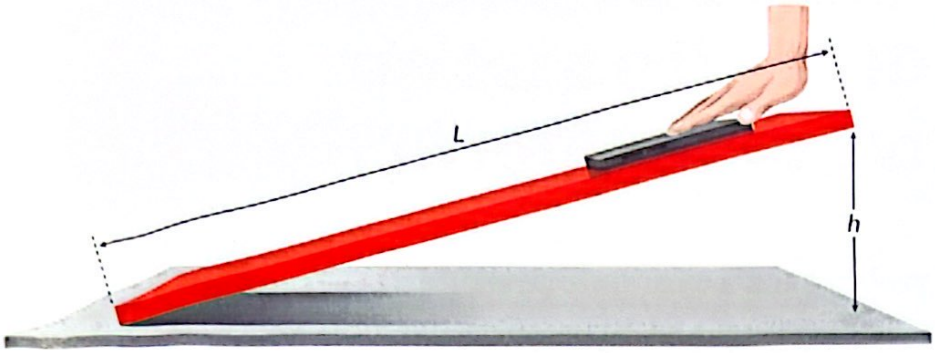
$$F_P \sin\alpha_{max} = \mu_s F_P \cos\alpha_{max} \rightarrow \mu_s = \frac{\sin\alpha_{max}}{\cos\alpha_{max}} = \tan\alpha_{max}$$

L'APPARATO SPERIMENTALE

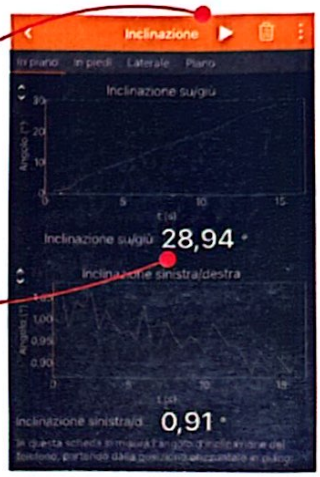
Strumento	Sensibilità	Portata
app Phyphox, strumento Inclinazione	0,01°	180°

Scanned with CamScanner

IL PROCEDIMENTO



1. Appoggia lo smartphone sul piano posto in posizione orizzontale. Sarà lo smartphone l'oggetto a scivolare lungo il piano inclinato.
2. Apri l'app Phyphox e seleziona lo strumento `Inclinazione`. Scegli l'opzione `In piano`, attiva la misura cliccando sul tasto `Play` e leggi il valore di `Inclinazione su/giù`.
3. Inclina lentamente il piano in modo che lo strumento si assesti via via sulla misura dell'angolo. Continua a inclinare il piano fino a quando lo smartphone comincia a scivolare.
4. Rileva l'angolo di distacco α_{max} non appena vedi lo smartphone cominciare a muoversi.
5. Ripeti la misura cinque volte.

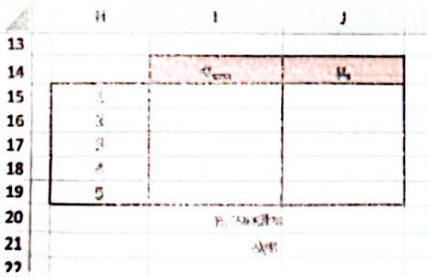


tocca su Play per avviare la presa dati

leggi il valore dell'angolo di inclinazione del piano

LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI

Registra le misure raccolte in una tabella. Non specifichiamo l'incertezza su α_{max} vista la difficoltà a individuare l'istante esatto del distacco.



1. Aggiungi una colonna alla tabella e per ogni misura dell'angolo calcola $\mu_s = \tan \alpha_{max}$.
2. Calcola la media dei diversi valori ottenuti di μ_s e trova l'incertezza $\Delta\mu_s$, ottenuta come scarto quadratico medio o come semidispersione.

Coefficienti di attrito	
Materiali	μ_s
acciaio su acciaio	0,70
legno su legno	0,50
legno su cartone	0,32
vetro su vetro	1,0

CONCLUSIONI

- Scrivi il risultato per il coefficiente di attrito con la sua incertezza. Qual è la sua unità di misura?
- Confronta il valore di μ_s ottenuto con quello di altre coppie di materiali messi a contatto. Quello da te trovato è un valore ragionevole?

Questo esperimento può essere condotto anche **con una riga**, misurando l'altezza e la lunghezza del piano al posto dell'angolo di inclinazione.

Misura del coefficiente di attrito statico con angolo di distacco (con riga)

Scanned with CamScanner

9 Misura del coefficiente di attrito statico tra due superfici

L'OBIETTIVO Verificare che la forza di attrito statico tra due superfici è proporzionale alla forza premente e trovare il coefficiente di attrito statico.

LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

Il modulo della forza di attrito statico tra due superfici può assumere il valore massimo

$$F_s^{max} = \mu_s F_\perp$$

modulo massimo della forza di attrito statico [N] — coefficiente di attrito statico — modulo della forza premente [N]

dove $F_\perp$ è il modulo della forza perpendicolare alla superficie di contatto e μ_s è il coefficiente di attrito statico che dipende dai materiali e dalla scabrosità delle superfici.

Per un oggetto appoggiato su una superficie orizzontale, $F_\perp$ coincide con la forza-peso, per cui $F_\perp = mg$.

Quando su un oggetto inizialmente fermo viene applicata una forza $\vec{F}$ diretta in orizzontale, questo si muove solo se il modulo di $\vec{F}$ supera quello della forza di attrito statico massima: $F > F_s^{max}$.

L'APPARATO SPERIMENTALE

Strumento	Sensibilità	Portata
dinamometri di diversa sensibilità e portata	.....	.....
bilancia	0,1 g	.....

Ti servono:

- un supporto orizzontale che si possa trainare con il gancio di un dinamometro e sul quale si possano poggiare dei pesi, per esempio una cover per smartphone;
- alcuni pesi da poggiare sul supporto.

IL PROCEDIMENTO

1. Poggia un peso sul supporto e pesa entrambi gli oggetti sulla bilancia.
2. Appoggia il supporto e il peso su un piano orizzontale. Aggancia un dinamometro a un'estremità del supporto e comincia delicatamente a tirare.

Scanned with CamScanner

3. Aumenta la forza fino a quando il supporto comincia a muoversi e, in quel momento, leggi il modulo della forza sul dinamometro.

Cerca di utilizzare il dinamometro più sensibile tra quelli disponibili, purché il valore della forza che muove il supporto sia entro la sua portata.

4. Ripeti la prova 5 volte.
5. Aggiungi altri pesi sul supporto e, per ciascuno di essi, ripeti i punti precedenti.

LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI

Registra i dati in una tabella in cui riporti ogni volta la massa del sistema supporto-pesi e le cinque misure della forza minima necessaria a metterlo in moto.

1. Aggiungi tre colonne alla tabella per calcolare:
   - la forza premente $F_\perp$ pari alla forza-peso;
   - F_s^{max} data dalla media dei cinque valori della forza minima che mette in moto il sistema;
   - ΔF_s^{max} data dalla deviazione standard dei cinque valori di F misurati.
2. Rappresenta i dati delle colonne $F_\perp$ e F_s^{max} in un grafico cartesiano con le relative incertezze: $F_\perp$ sull'asse delle ascisse e F_s^{max} sull'asse delle ordinate.
3. Osserva che i dati sembrano disporsi su una retta passante per l'origine, come ci si aspetta da una proporzionalità diretta.
4. Aggiungi un'ultima colonna alla tabella in cui calcoli il coefficiente $\mu_s = F_s^{max}/F_\perp$ per ogni coppia.

Quale formula ti serve?
L'incertezza $\Delta F_\perp$ è 9,8 volte quella della massa Δm: $\Delta F_\perp = 9{,}8\Delta m$.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	m (g) ± 0,1 g	F_1 (N)	F_2 (N)	F_3 (N)	F_4 (N)	F_5 (N)	$F_\perp$ (N)	F_s^{max} (N)	ΔF_s^{max} (N)	μ_s
2	1									
3	2									
4	3									
5										

5. Calcola la stima per il valore μ_s e la sua incertezza usando la media e lo scarto quadratico medio dei valori trovati per le diverse coppie.

CONCLUSIONI

Scrivi la relazione tra F_s^{max} e $F_\perp$, specificando il valore del coefficiente μ_s e la sua incertezza.

- Il valore di μ_s cambia al variare della massa o resta circa costante? Quanto osservato è compatibile con il significato teorico di μ_s?
- Quale unità di misura ha μ_s?
- Una volta che il sistema si è messo in movimento, è necessario applicare la stessa forza $\vec{F}$ per mantenerlo in moto?

Scanned with CamScanner

10 Equilibrio di un corpo rigido

L'OBIETTIVO Verificare la condizione di equilibrio di un corpo rigido.

misura
esplora
verifica
foglio di calcolo
app
a casa

LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

Il modulo M del momento di una forza rispetto a un punto O è dato dal prodotto tra il modulo della forza $\vec{F}$ applicata in un punto e il braccio b di $\vec{F}$ rispetto a O.

momento della forza [N · m] — $M = Fb$ — modulo della forza [N]; braccio [m]

A tale modulo è associato un segno che dipende dal verso di rotazione che la forza induce.

Un corpo rigido è in equilibrio se:

- è nulla la somma vettoriale delle forze che agiscono su di esso;
- è nulla la somma algebrica dei momenti che agiscono su di esso, qualunque sia il punto scelto per calcolarli.

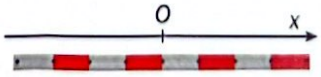
L'APPARATO SPERIMENTALE

Strumento	Sensibilità	Portata
bilancia	0,1 g	.....
righello	1 mm	.....

Ti servono: un supporto a ponte, un'asta con fori a intervalli regolari, alcuni pesi con ganci e due carrucole.

IL PROCEDIMENTO E LA RACCOLTA DEI DATI

1. Fissa un sistema di riferimento con origine nel baricentro dell'asta. I punti a destra dell'origine hanno ascissa x positiva, i punti a sinistra hanno ascissa x negativa.



compila la tabella per ogni configurazione di equilibrio

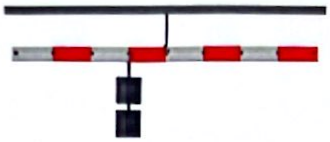
	A	B
1	x (m)	F (N)
2		
3		
4		

2. Per ogni configurazione di equilibrio, predisponi una tabella nella quale riportare la posizione x in cui sono agganciati i pesi e il modulo della forza F che essi esercitano. Tieni sempre conto della forza-peso che si esercita sull'asta e della forza esercitata dal gancio. Considera positive le forze dirette verso l'alto e negative quelle dirette verso il basso.
3. Pesa l'asta sulla bilancia e registra la sua massa.

Scanned with CamScanner

4. Appendi l'asta al ponte tramite il foro corrispondente al baricentro. Individua le forze che si esercitano sull'asta e i loro punti di applicazione, e compila la tabella.

5. Aggiungi due pesi nel primo foro a sinistra dell'origine. Dove puoi appendere un peso in modo da mantenere l'asta in equilibrio? Compila la tabella.



6. Aggiungi un terzo peso nel primo foro a sinistra dell'origine, prova a riequilibrare l'asta e compila la tabella.

7. Appendi l'asta al ponte tramite il primo foro a destra dell'origine. In quale posizione puoi appendere dei pesi per mettere l'asta in equilibrio? Compila la tabella.

8. Aggiungi un pesetto nel primo foro a sinistra dell'origine. Come puoi riequilibrare il sistema? Compila la tabella.

9. Appendi l'asta tramite due carrucole e compila la tabella.
10. Aggiungi alcuni pesi alla sbarra appesa tramite le carrucole in modo da raggiungere una configurazione di equilibrio e compila la tabella.

L'ELABORAZIONE DEI DATI

Per ciascuna delle tabelle prodotte, aggiungi:

- una colonna in cui calcoli il momento $M = Fx$ di ciascuna forza rispetto all'origine;
- una riga in cui calcoli la somma delle forze e dei momenti.

			M (Nm)
3			
4			
5	somma:		

CONCLUSIONI

- Quanto valgono le somme dei momenti e delle forze nelle tabelle?
- Cambia la posizione dell'origine del sistema di riferimento (per esempio, puoi scegliere come origine l'estremità sinistra dell'asta) e compila nuovamente le tabelle. Come cambiano i singoli momenti? Come cambia la loro somma?

Scanned with CamScanner

11 Misura della densità dell'olio con la legge di Stevino

L'OBIETTIVO Misurare la densità dell'olio con la legge di Stevino.

misura
esplora
verifica
foglio di calcolo
app
a casa

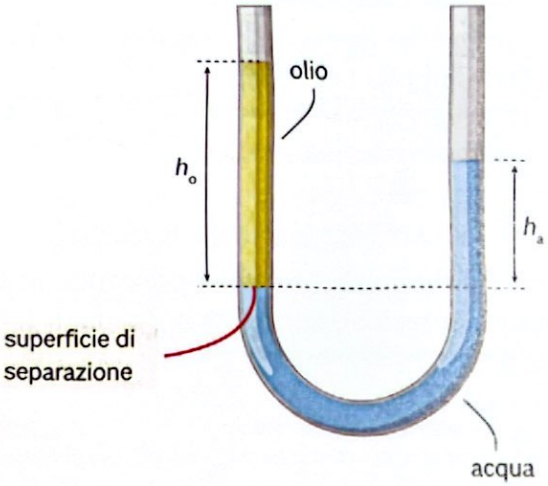
LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

La legge di Stevino fornisce la pressione p_h che un liquido di densità d esercita su un corpo immerso a una profondità h rispetto alla superficie del liquido:

$$p_h = p_{atm} + dgh$$

pressione nel liquido [Pa]
pressione atmosferica [Pa]
densità del liquido [kg/m³]
profondità [m]
costante g = 9,8 N/kg

Questa legge permette di spiegare perché le superfici libere di due liquidi non miscibili di diversa densità, come acqua e olio, si dispongono all'equilibrio ad altezze diverse nei due bracci di un tubo a U.



Se le estremità dei bracci sono aperte, sulle superfici libere dei liquidi si esercita la stessa pressione p_{atm} pari alla pressione atmosferica. All'altezza della superficie di separazione, nella condizione di equilibrio, vi è la stessa pressione ($p_o = p_a$) nei due bracci. Vale allora la relazione:

$$d_o h_o = d_a h_a \quad \rightarrow \quad d_o = \frac{h_a}{h_o} d_a$$

dove con d_o e d_a indichiamo rispettivamente le densità dell'olio e dell'acqua. Assumi che $d_a = (1000 \pm 5)$ kg/m³.

Scanned with CamScanner

L'APPARATO SPERIMENTALE

Strumento	Sensibilità	Portata
riga	1 mm	.....

Hai bisogno di un tubo a U in cui versare acqua e un tipo di olio, come l'olio di oliva o l'olio di semi.

IL PROCEDIMENTO

1. Versa un po' di acqua nel tubo a U.
2. Aggiungi dell'olio in un braccio del tubo e attendi che i due liquidi si stabilizzino.
3. Misura le altezze h_a e h_o a partire dalla superficie di separazione.
4. Ripeti la misura precedente dopo aver aggiunto ogni volta un altro po' di olio nello stesso braccio, fino a che si riesce a effettuare la misura.

LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI

Registra in una tabella il valore della densità dell'acqua e i dati raccolti sulle altezze h_a e h_o.

1. Aggiungi una colonna alla tabella in cui calcoli la densità dell'olio d_o.

	B	C	D	E
1				
2	d_o =	1000	kg/m^3	± 5 kg/m^3
3				
4	n° misura	h_a (m) ± 0,001 m	h_o (m) ± 0,001 m	d_o (kg/m^3)
5	1			
6	2			
7	3			
8	4			
9	5			
10				

2. Con il foglio di calcolo, calcola la media delle densità trovate e la relativa incertezza come scarto quadratico medio o semidispersione assoluta.

CONCLUSIONI

- Scrivi la densità dell'olio ottenuta con la relativa incertezza.
- Confronta il risultato da te ottenuto con il valore noto della densità dell'olio che hai usato. C'è corrispondenza, entro le incertezze, tra i due valori?
- Con questo procedimento si può determinare la densità dell'alcol?

A CASA

Al posto del tubo a U del laboratorio puoi usare un tubicino di plastica, non troppo rigido. Puoi dargli la forma a U e fissarlo con del nastro adesivo su una cartella rigida.

Nella lettura del volume tieni conto del menisco [▶ cap. 2, par. 7].

Scanned with CamScanner

12 Spinta di Archimede

L'OBIETTIVO Verificare che la spinta verso l'alto che si esercita su un oggetto immerso in un liquido è uguale al peso del volume di liquido spostato.

misura
esplora
verifica
foglio di calcolo
app
a casa

LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

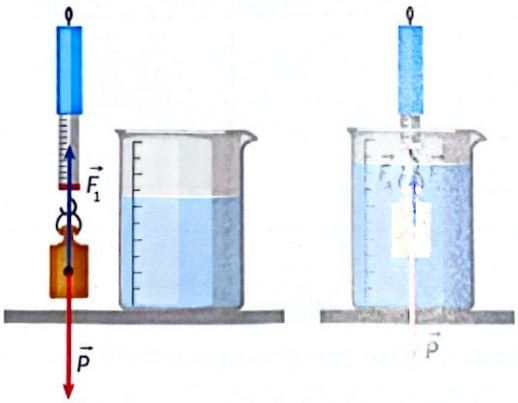
Quando un oggetto viene immerso in un liquido, riceve una spinta $\vec{F}_A$ dal basso verso l'alto detta *spinta di Archimede*.

modulo della spinta di Archimede [N] — $F_A = dVg$ — densità del liquido [kg/m³]; costante g = 9,8 N/kg; volume del liquido spostato [m³]

Il modulo di $\vec{F}_A$ è uguale al peso $\vec{P}$ del volume di liquido spostato dall'oggetto immerso.

Per determinare il modulo di $\vec{F}_A$, si può misurare con un dinamometro il modulo della forza equilibrante $\vec{F}_1$ dell'oggetto in aria e quello della forza equilibrante $\vec{F}_2$ quando l'oggetto è immerso completamente in un liquido. La differenza tra le due misure fornisce il modulo F_A della spinta di Archimede.

$$F_A = F_1 - F_2$$



Quale formula ti serve?
Dalla definizione di densità $d = m/V$, si ricava che $m = dV$.

Per verificare che F_A è uguale al peso P di liquido spostato, si misura il volume V di liquido spostato e, nota la densità d del liquido, si ricava $P = mg = dVg$.

L'APPARATO SPERIMENTALE

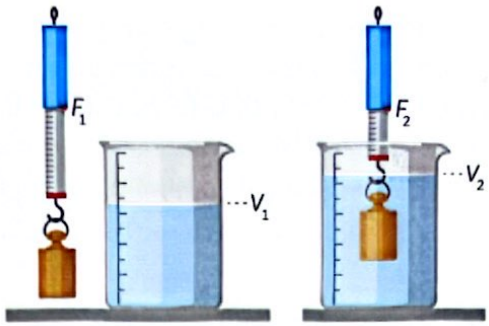
Strumento	Sensibilità	Portata
dinamometro	0,01 N	1 N
cilindro graduato	1 cm³	100 cm³

Hai bisogno di alcuni oggetti che affondano se immersi in acqua e dotati di un gancio per essere appesi al dinamometro, per esempio i cilindri da laboratorio.

Scanned with CamScanner

IL PROCEDIMENTO

1. Riempi d'acqua il cilindro graduato in cui immergerai gli oggetti e leggi il volume d'acqua V_1.
2. Scegli un oggetto, aggancialo al dinamometro e leggi sul dinamometro il valore di F_1 in aria.
3. Mantenendolo appeso al dinamometro, immergi completamente l'oggetto in acqua, facendo attenzione a non immergere anche il dinamometro per non influenzare la misura.
4. Leggi sul dinamometro il valore di F_2 in acqua.
5. Prima di togliere l'oggetto dall'acqua, misura il nuovo volume V_2 nel cilindro graduato.
6. Ripeti l'esperimento utilizzando altri oggetti.



Nella lettura del volume tieni conto del menisco [▶ cap. 2, par. 7].

LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI

1. Registra in una tabella le misure effettuate, prendendo come incertezza la sensibilità degli strumenti utilizzati.
2. Completa la tabella aggiungendo le colonne per il calcolo della spinta di Archimede F_A e del peso P del volume d'acqua spostato.
3. Calcola $F_A = F_1 - F_2$ con incertezza $\Delta F_A = \Delta F_1 + \Delta F_2$.
4. Calcola il volume $V = V_2 - V_1$ con incertezza $\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2$.
5. Calcola il peso $P = dVg$ dell'acqua spostata con la relativa incertezza. La densità dell'acqua vale 1000 kg/m³.

Ricorda di convertire in m³ le misure di volume quando calcoli il peso P.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	g =	9,8	N/kg						
2	d =	1000	kg/m³						
3									
4	oggetto	F_1 (N) ± 0,01 N	F_2 (N) ± 0,01 N	V_1 (cm³) ± 1 cm³	V_2 (cm³) ± 1 cm³	F_A (N)	V (cm³)	P (N)	ΔP (N)
5	1								
6	2								
7	3								
8	4								
9	5								
10									

CONCLUSIONI

- Confronta, per ogni oggetto, i risultati ottenuti per F_A e P. Che cosa noti e che spiegazione puoi dare?
- A parità di quantità di acqua, è preferibile usare un contenitore graduato alto e stretto o basso e largo?
- Potresti eseguire l'esperimento con un liquido diverso dall'acqua? Cosa cambia?
- Cosa succederebbe se l'oggetto immerso fosse poroso?

Scanned with CamScanner

13 Moto rettilineo uniforme

L'OBIETTIVO Verificare la legge oraria del moto rettilineo uniforme.

LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

Un carrello in moto lungo una guida a cuscino d'aria rettilinea e orizzontale, si muove di moto rettilineo uniforme perché la forza risultante sul carrello è nulla. Infatti, la forza-peso è bilanciata dalla forza di reazione vincolare e le forze di attrito sono trascurabili. La posizione s del carrello, che si muove con velocità costante v, varia nel tempo secondo la legge oraria:

posizione [m] all'istante t — velocità costante [m/s]

$$s(t) = s_0 + vt$$

posizione iniziale [m] — istante di tempo [s]

Il grafico spazio-tempo che ne risulta è una retta, con coefficiente angolare uguale a v e intercetta all'origine uguale a s_0. In un moto rettilineo uniforme la distanza percorsa Δs è proporzionale al tempo Δt impiegato a percorrerla.

L'APPARATO SPERIMENTALE

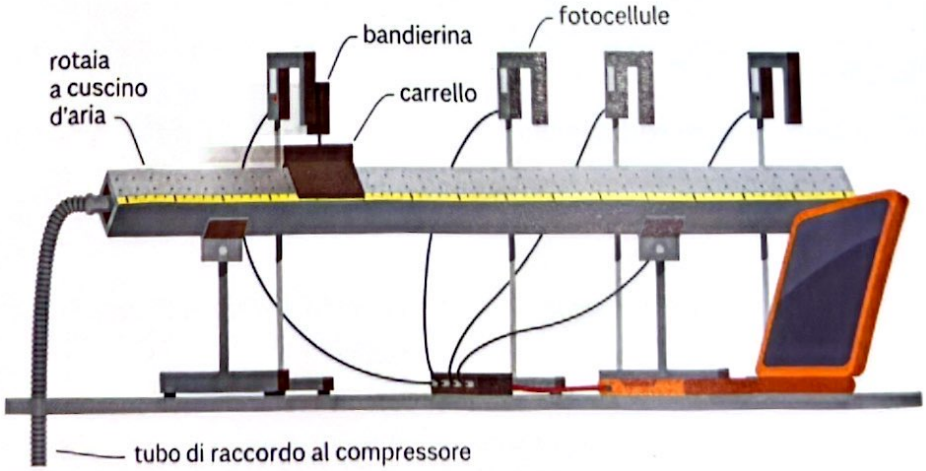
Strumento	Sensibilità	Portata
metro	1 mm	.....

Hai bisogno di: una rotaia a cuscino d'aria, quattro fotocellule, un PC con software per la gestione delle fotocellule, per esempio Logger Pro.

IL PROCEDIMENTO

ALLESTISCI L'APPARATO SPERIMENTALE

1. Regola i piedini della rotaia per disporre la guida in orizzontale in modo che, accendendo il compressore, il carrello rimanga fermo.
2. Colloca le quattro fotocellule lungo il percorso del carrello e controlla che ne rilevino il passaggio, verificando che si accenda il LED su ogni fotocellula al passaggio del carrello.
3. Collega le fotocellule al PC e apri il programma di gestione dei sensori.



misura
esplora
verifica
foglio di calcolo
app
a casa

Scanned with CamScanner

PROCEDI CON LE MISURE

4. Misura le distanze s_2, s_3 e s_4 tra la prima fotocellula e le altre tre.
5. Metti in funzione il compressore, appoggia il carrello all'inizio della guida in una posizione arretrata rispetto alla prima fotocellula.
6. Aziona dal PC la fase di acquisizione dati.
7. Dai una piccola spinta al carrello e controlla che sul software compaiano gli otto tempi in corrispondenza dell'inizio e della fine degli oscuramenti delle quattro fotocellule.

LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI

Costruisci una tabella con il foglio di calcolo con due colonne.

1. Nella prima colonna registra i quattro tempi $t_{1,i}$, $t_{2,i}$, $t_{3,i}$ e $t_{4,i}$ di inizio oscuramento di ciascuna fotocellula. Usa la sensibilità $\Delta\tau$ del sensore come incertezza.
2. Nella seconda colonna inserisci le distanze $s_1 = 0$ m, s_2, s_3 e s_4. Usa come incertezza la sensibilità del metro.
3. Poni a zero l'istante $t_{1,i}$ di inizio oscuramento della prima fotocellula e ricalcola i tempi di passaggio per le successive tre fotocellule, sottraendo il valore di $t_{1,i}$.

$$t_1 = 0\ \text{s}\ ;\ t_2 = t_{2,i} - t_{1,i}\ ;\ t_3 = t_{3,i} - t_{1,i}\ ;\ t_4 = t_{4,i} - t_{1,i}$$

4. Completa la tabella dei dati, aggiungendo la colonna per gli istanti t_2, t_3 e t_4, con incertezza pari a $2\Delta\tau$.
5. Costruisci un grafico a dispersione per le coppie (t; s), con le barre di errore. Osserva che i punti si trovano su una retta passante per l'origine, in accordo con la legge oraria $s(t) = vt$, avendo scelto $s_0 = s_1 = 0$ m.
6. Aggiungi una colonna in cui calcoli la velocità $v = s/t$, esclusa la velocità relativa alla prima fotocellula.

	A	B	C	D	E
1	fotocellula	$t_{n,i}$(s) ± $\Delta\tau$	s_n (m) ± 0,001 m	t_n(s) ± $2\Delta\tau$	$v = s_n/t_n$
2	1		0	0	-
3	2				
4	3				
5	4				

7. Calcola la media delle velocità trovate e la sua incertezza come semidispersione assoluta.

Con queste impostazioni, la prima fotocellula si trova nell'origine del sistema di riferimento.

Con il foglio di calcolo puoi aggiungere nel grafico una linea di tendenza lineare, impostando come intercetta 0. Puoi così ricavare la velocità dal coefficiente angolare della retta.

CONCLUSIONI

- Scrivi la velocità v con la sua incertezza.
- Le diverse velocità trovate sono compatibili con un moto uniforme, entro le incertezze?

CON SONAR

Con il sonar [▶ cap. 2, par. 7] puoi analizzare direttamente il grafico spazio-tempo che dovrebbe risultare una retta. Calcola la velocità prendendo una coppia di punti (t_1; $s(t_1)$) e (t_2; $s(t_2)$) sul grafico e applicando:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{s(t_2) - s(t_1)}{t_2 - t_1}$$

Scanned with CamScanner

14 Moto uniformemente accelerato

L'OBIETTIVO Verificare che un carrello si muove di moto rettilineo uniformemente accelerato quando scende lungo una guida a cuscino d'aria rettilinea e inclinata.

misura
esplora
verifica
foglio di calcolo
app
a casa

LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

Un carrello in moto lungo una guida rettilinea, priva di attrito e leggermente inclinata, si muove di moto rettilineo uniformemente accelerato a causa della forza di gravità. La posizione s del carrello che si muove con accelerazione costante a soddisfa la legge oraria:

$$s(t) = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

posizione iniziale [m] — velocità iniziale [m/s] — posizione [m] all'istante t — accelerazione [m/s²] — istante di tempo [s]

La velocità v soddisfa la legge oraria:

$$v(t) = v_0 + at$$

velocità [m/s] all'istante t — accelerazione [m/s²] — velocità iniziale [m/s] — istante di tempo [s]

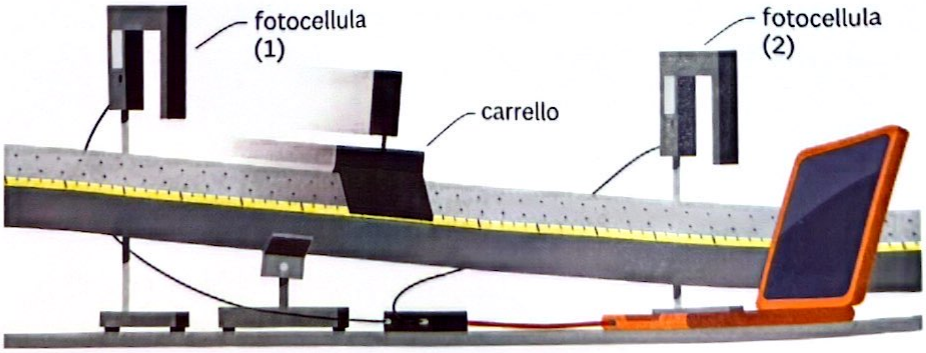
Il grafico s-t risulta quindi un arco di parabola e il grafico v-t una retta. L'accelerazione si può determinare considerando un qualunque intervallo temporale $[t_1; t_2]$ come $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$, che equivale al coefficiente angolare della retta del grafico v-t.

L'APPARATO SPERIMENTALE

Servono: una rotaia a cuscino d'aria, una coppia di fotocellule e un PC con un software per la gestione delle fotocellule, per esempio Logger Pro.

IL PROCEDIMENTO

1. Inclina la guida di un piccolo angolo rispetto all'orizzontale, inserendo uno spessore sotto un'estremità o regolando i piedini della rotaia.
2. Disponi le due fotocellule lungo il percorso del carrello, una (1) poco dopo il punto di partenza in cima alla guida e l'altra (2) a una distanza di circa 20 cm dalla prima.



Scanned with CamScanner

3. Collega le fotocellule al PC e apri il programma di gestione dei sensori.
4. Misura le distanze d_1 e d_2 percorse dal carrello durante la fase di oscuramento di ciascuna fotocellula [▶ cap. 2, par. 7].
5. Metti in funzione il compressore e appoggia il carrello in cima alla salita, prima della fotocellula (1).
6. Aziona dal PC la fase di acquisizione dati.
7. Lascia libero il carrello e registra i tempi $t_{1,i}$ e $t_{1,f}$ di inizio e fine oscuramento della fotocellula (1) e i tempi $t_{2,i}$ e $t_{2,f}$ di inizio e fine oscuramento della fotocellula (2).
8. Allontana la fotocellula (2) di 15 cm alla volta dalla fotocellula (1) fino alla distanza massima possibile e ripeti ogni volta le misure.

LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI

Per ogni distanza delle due fotocellule, riporta in una tabella i quattro tempi di oscuramento raccolti. Assegna ai tempi un'incertezza $\Delta\tau$ data dalla sensibilità del programma utilizzato.

Completa la tabella dei dati, aggiungendo le colonne in cui si calcola:

1. la velocità istantanea al passaggio dalla prima fotocellula $v_1 = \dfrac{d_1}{t_{1,f} - t_{1,i}}$ e la relativa incertezza $\Delta v_1 = v_1\left(\dfrac{\Delta d_1}{d_1} + \dfrac{2\Delta\tau}{t_{1,f} - t_{1,i}}\right)$;
2. la velocità istantanea al passaggio dalla seconda fotocellula $v_2 = \dfrac{d_2}{t_{2,f} - t_{2,i}}$ e la relativa incertezza $\Delta v_2 = v_2\left(\dfrac{\Delta d_2}{d_2} + \dfrac{2\Delta\tau}{t_{2,f} - t_{2,i}}\right)$;
3. il tempo di transito da una fotocellula all'altra $T = t_2 - t_1 = \dfrac{t_{2,f} + t_{2,i}}{2} - \dfrac{t_{1,f} + t_{1,i}}{2}$ e l'incertezza $\Delta T = 2\Delta\tau$;
4. l'accelerazione $a = \dfrac{v_2 - v_1}{T}$;
5. l'incertezza sull'accelerazione $\Delta a = a\left(\dfrac{\Delta v_1 + \Delta v_2}{v_2 - v_1} + \dfrac{\Delta T}{T}\right)$.

Data la brevità dell'intervallo di tempo, puoi considerare costante la velocità di attraversamento delle fotocellule. Calcola l'istante di tempo in cui il carrello si trova tra la fotocellula come la media dei tempi di inizio e di fine oscuramento.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
7		$t_{1,i}$(s)	$t_{1,f}$(s)	$t_{2,i}$(s)	$t_{2,f}$(s)	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
8	1												
9	2												
10	3												
11	4												
12	5												

6. Calcola la media delle accelerazioni e la sua incertezza come scarto quadratico medio o semidispersione assoluta.

CONCLUSIONI

- Le diverse accelerazioni trovate sono compatibili con un moto uniformemente accelerato, entro le incertezze?
- Riporta il valore di accelerazione trovato con la relativa incertezza.
- Che cosa succederebbe se ripetessi l'esperimento con un angolo di inclinazione diverso?

CON SONAR

Con il sonar [▶ cap. 2, par. 7] è sufficiente effettuare una sola rilevazione.

Se il grafico velocità-tempo è una retta almeno in un intervallo temporale $[t_1; t_2]$, calcola l'accelerazione come $a = \dfrac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$.

Scanned with CamScanner

15 Misura dell'accelerazione di gravità terrestre

L'OBIETTIVO Misurare l'accelerazione di gravità terrestre g con la caduta di un grave.

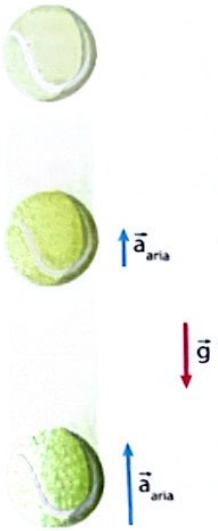
misura
esplora
verifica
foglio di calcolo
app
a casa

LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

Un corpo inizialmente fermo cade e accelera in verticale verso il basso per via della forza di attrazione gravitazionale. La presenza o meno dell'aria determina due diverse situazioni.

- *Se l'influenza dell'aria è trascurabile*, un corpo lasciato libero di cadere subisce un'accelerazione costante diretta in verticale verso il basso, pari all'accelerazione di gravità terrestre $\vec{g}$. In questo caso il corpo si muove di moto uniformemente accelerato.

- *La presenza non trascurabile dell'aria* genera un'accelerazione $\vec{a}_{aria}$ diretta in verticale verso l'alto che si sottrae a $\vec{g}$. Entro certi limiti di velocità, questa accelerazione non è costante ma è direttamente proporzionale alla velocità, quindi è nulla all'inizio della caduta e cresce al crescere della velocità del corpo.



L'APPARATO SPERIMENTALE

Hai bisogno di:

- uno smartphone dotato dell'app Phyphox in cui risulti disponibile la voce `Accelerazione (senza g)`;
- un cuscino o una qualsiasi superficie morbida per attutire la caduta dello smartphone senza farlo rimbalzare.

A CASA

Puoi realizzare facilmente l'esperimento a casa: basta scaricare l'app per la presa dati sul tuo smartphone e lasciarlo cadere sul letto.

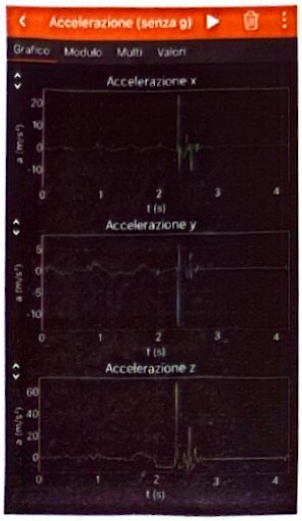
IL PROCEDIMENTO

1. Avvia Phyphox e seleziona `Accelerazione (senza g)`.
2. Clicca sul triangolino `Play` per avviare la presa dati e lascia cadere lo smartphone da una certa altezza in verticale sopra il cuscino.

Scanned with CamScanner

3. Interrompi la presa dati subito dopo la caduta.

LA RACCOLTA DEI DATI



L'app raccoglie i dati per tutte le componenti cartesiane dell'accelerazione a_x, a_y e a_z e calcola il modulo del vettore accelerazione. Se lasci cadere lo smartphone con lo schermo disposto in orizzontale, la componente dell'accelerazione da osservare è a_z. Tuttavia, poiché durante la caduta lo smartphone può ruotare, ti interesserà il valore del modulo dell'accelerazione.

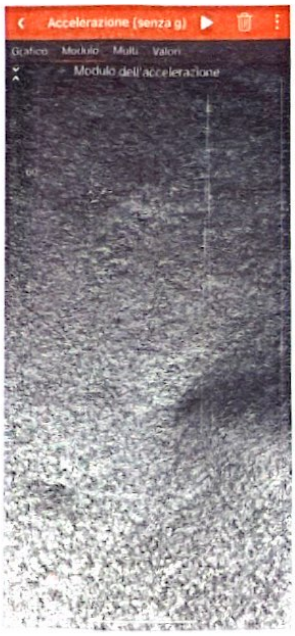
L'ELABORAZIONE DEI DATI

Puoi analizzare i dati direttamente sul grafico prodotto da Phyphox oppure inviare al PC tutti i dati raccolti e analizzarli con un foglio di calcolo.

SE USI IL GRAFICO DI PHYPHOX

Scegli il grafico sotto la voce `Modulo` e toccalo per ingrandirlo. Con lo strumento `Seleziona`, posto sotto al grafico, puoi toccare un punto della curva e ottenerne le coordinate.

SE ESPORTI I DATI SUL FOGLIO DI CALCOLO



Per inviare i dati al PC, seleziona la voce `Esporta Dati` dal menù con i tre puntini in alto a destra, scegli il formato `Excel` e seleziona la modalità di invio del file che viene prodotto.

Usa la prima colonna `Time (s)` e l'ultima colonna `Absolute acceleration (m/s²)` per costruire un grafico a dispersione, rappresentando solo le linee di congiunzione tra i punti.

1. Cerca di identificare nel grafico l'istante in cui inizia la caduta, l'intervallo di caduta e la fase di arresto.
2. Ottieni il valore di g in corrispondenza dell'intervallo di caduta libera.

CONCLUSIONI

- Riporta la stima che hai ottenuto per l'accelerazione di gravità.
- Valuta l'errore percentuale del valore che hai ottenuto confrontandolo con il valore noto di g, pari a 9,81 m/s².
- In quale istante della caduta puoi ottenere il valore più vicino a quello dell'accelerazione di gravità?
- Dai dati raccolti è possibile capire se l'effetto dell'aria è trascurabile o meno?

CON TRACKER

Puoi misurare l'accelerazione di gravità anche con il programma Tracker.

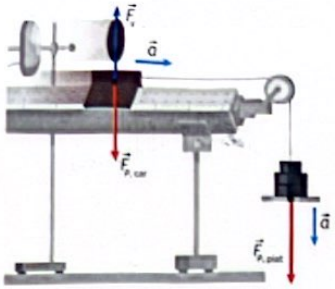
- Riprendi la caduta di un oggetto con la fotocamera di uno smartphone. Mantieni ben ferma la fotocamera e assicurati di filmare l'oggetto su uno sfondo omogeno, come una parete bianca e priva di altri oggetti.
- Importa il filmato su Tracker.
- Analizza il moto [▶ cap. 2, par. 7] e scegli di rappresentare il modulo dell'accelerazione sull'asse delle ordinate.

Scanned with CamScanner

16 Forza e accelerazione: il secondo principio della dinamica

L'OBIETTIVO Verificare che una forza costante, applicata a un corpo, produce un'accelerazione direttamente proporzionale alla forza.

misura
esplora
verifica
foglio di calcolo
app
a casa



LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

Un carrello, posto su una rotaia a cuscino d'aria orizzontale, è trainato da un piattello in caduta, collegato a esso da un filo. Il sistema è formato dal carrello di massa M_{car} e dal piattello di massa M_{piat}, e ha massa complessiva M. La forza-peso $F_{P,car}$ che si esercita sul carrello è bilanciata dalla forza di reazione vincolare F_V e l'unica forza esterna non bilanciata è la forza-peso $F_{P,piat} = M_{piat} \cdot g$ che si esercita sul piattello.

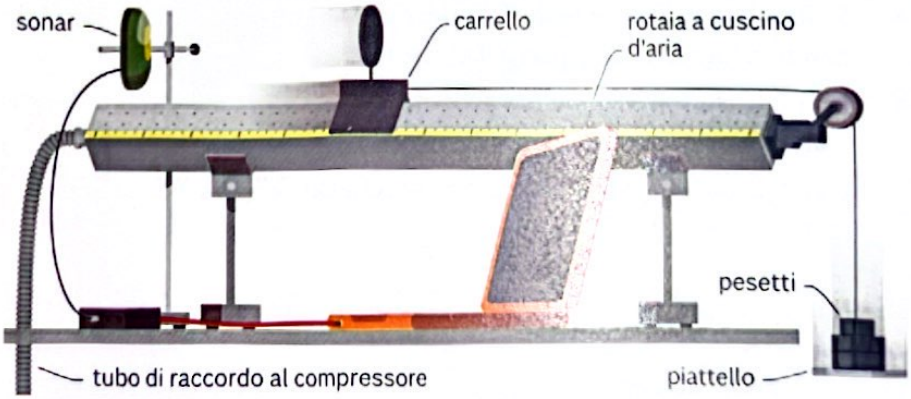
La forza $F_{P,piat}$ muove tutto il sistema imprimendogli un'accelerazione costante a. Per il secondo principio della dinamica, si ha:

$$F_{P,piat} = Ma = (M_{car} + M_{piat})a$$

L'APPARATO SPERIMENTALE

Strumento	Sensibilità	Portata
bilancia	0,1 g	.....

Servono: una rotaia a cuscino d'aria, un sonar e un PC con un software per la gestione del sonar.



IL PROCEDIMENTO

Assicurati che la rotaia sia disposta in orizzontale: con il compressore in funzione, appoggia il carrello in diversi punti della guida per controllare che rimanga immobile.

ALLESTISCI L'APPARATO SPERIMENTALE

1. Collega al carrello un piattello portapesi, utilizzando un filo passante nella gola di una carrucola.
2. Sistema sul carrello e sul piattello alcuni pesetti che prevedi di usare nel corso dell'esperimento.

Scanned with CamScanner

3. Posiziona il sonar in fondo alla guida accertandoti che il carrello con bersaglio sia allineato con esso durante il suo moto, e collegalo al PC.
4. Regola il filo in modo che, quando il carrello è vicino al sonar, il piattello sia sollevato dal suolo, vicino alla carrucola.

Per svolgere lo stesso esperimento *con le fotocellule* al posto del sonar, segui le indicazioni date nell'esperimento 14 per la misura dell'accelerazione.

PROCEDI CON LE MISURE

5. Misura con la bilancia la massa M del sistema formato dal carrello vuoto, dal piattello vuoto e dai pesetti:

$$M = M_{car} + M_{piat} = m_{car,vuoto} + m_{piat,vuoto} + m_{pesetti}$$

6. Disponi tutti i pesetti sul carrello.
7. Misura con la bilancia la massa M_{piat} del piattello con i pesetti poggiati sopra (nella prima corsa il piattello è senza pesetti).
8. Posiziona il carrello vicino al sonar e tienilo fermo mentre azioni il compressore.
9. Quando un'altra persona attiva la raccolta dati del sonar dal PC, lascia andare il carrello.
10. Analizza il grafico velocità-tempo prodotto dal software collegato col sonar e, individuato un tratto del moto in cui la velocità cresce linearmente, registra le coordinate di due punti.
11. Ripeti la misura spostando i pesetti dal carrello al piattello in modo da aumentare via via la forza trainante, fino ad esaurimento dei pesetti sul carrello. La massa complessiva M rimarrà sempre costante.

La somma delle masse del carrello e del piattello deve rimanere costante, quindi i pesetti vanno spostati dall'uno all'altro.

LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI

Registra la massa complessiva M del sistema. Per ciascun esperimento, inserisci i dati raccolti in una tabella: la massa M_{piat} del piattello con i suoi pesetti e i due tempi con le relative velocità.

Quale formula ti serve?
L'accelerazione costante tra due istanti di tempo t_1 e t_2 è:

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

1. Completa la tabella dei dati aggiungendo delle colonne in cui calcoli l'accelerazione a del sistema e la forza-peso $F_{P,piat}$.
2. Con il foglio di calcolo crea un grafico a dispersione con le grandezze (a; $F_{P,piat}$) e verifica che i punti sono compatibili con una proporzionalità diretta.
3. Aggiungi un'ulteriore colonna per calcolare il coefficiente $k = F_{P,piat}/a$.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
4		M_{piat}(kg) ± 0,1 kg	t_1 (s)	v_1 (m/s)	t_2 (s)	v_2 (m/s)	a (m/s²)	$F_{P,piat}$ (N)	k (N/m)
5	1								
6	2								
7	3								
8	4								
9	5								

4. Calcola il valor medio di k e la sua incertezza come scarto quadratico medio o semidispersione assoluta.

CONCLUSIONI

- Scrivi il valore di k con la sua incertezza. Cosa rappresenta k?
- Calcola lo scarto percentuale rispetto al valore atteso.

Scanned with CamScanner

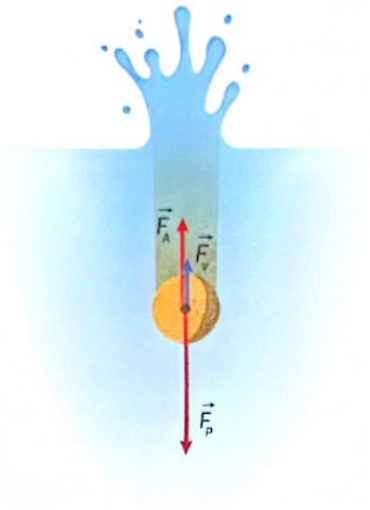
17 Caduta di una sferetta in un liquido

L'OBIETTIVO Misurare la velocità limite di caduta di una sferetta in un liquido.

misura
esplora
verifica
foglio di calcolo
app
a casa

LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

Una sferetta lasciata cadere in un liquido è soggetta alla forza-peso $\vec{F}_P$, alla spinta di Archimede $\vec{F}_A$ e alla forza di attrito viscoso $\vec{F}_v$ esercitata dal liquido. Il modulo della forza $\vec{F}_v$ è direttamente proporzionale alla velocità, quindi è nullo all'inizio della caduta, quando la sferetta è ferma, e aumenta all'aumentare della velocità della sferetta.



La sferetta accelera verso il basso fino a raggiungere la velocità limite v_L, quando si ha $F_v = F_P - F_A$. Da quel momento, la sferetta è soggetta a una forza totale nulla e procede nella caduta di moto rettilineo uniforme a una velocità costante pari a v_L.

L'APPARATO SPERIMENTALE

Strumento	Sensibilità	Portata
metro	1 mm	.....

Hai bisogno di:

- uno smartphone dotato dell'app VidAnalysis;
- un cilindro alto almeno 50-60 cm;
- una piccola sfera metallica di diametro inferiore a 1 cm (o comunque significativamente inferiore al diametro del cilindro).

Per analizzare in modo adeguato il moto della sferetta, è necessario che la distanza da essa percorsa non sia troppo breve. Presta quindi attenzione all'altezza del cilindro.

IL PROCEDIMENTO

Per eseguire l'esperimento fatti aiutare da una persona che posiziona lo smartphone e gestisce l'app.

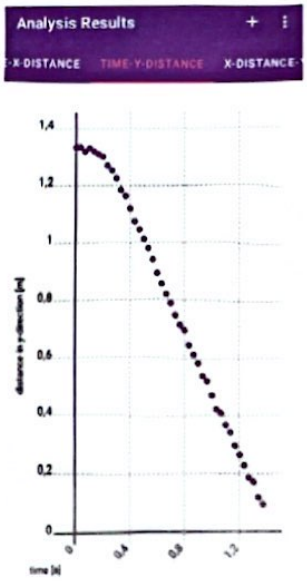
Scanned with CamScanner

1. Riempi il cilindro graduato quasi completamente di acqua.
2. Misura con il metro la lunghezza di un oggetto che comparirà nel video, vicino alla sferetta in caduta (per esempio l'altezza del cilindro), e che servirà come scala di riferimento per l'analisi del moto.
3. Posiziona la sferetta al bordo superiore del liquido e attendi che la persona che gestisce il software ti dia il via per farla cadere.
4. La persona che ti aiuta fissa lo smartphone in verticale in modo che inquadri il cilindro. Poi, apre l'app VidAnalysis sullo smartphone, preme il tasto + e avvia la registrazione del video. Infine, dà il via per lasciar cadere la sferetta.

LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI

Puoi raccogliere i dati direttamente con l'app una volta terminata la registrazione. Il video viene salvato in `Projects` dove puoi selezionarlo, avviare `Start Analysis` e analizzare il moto della sferetta [▶ cap. 2, par. 7]. Scegli un sistema di riferimento con l'origine ai piedi del cilindro e l'asse y verticale, parallelo alla caduta.

L'app genera i grafici delle leggi posizione-tempo e velocità-tempo per le componenti x e y.



1. Analizza il grafico posizione-tempo lungo l'asse y. Dovresti ottenere un grafico simile a quello nella figura a lato, in cui è possibile riconoscere un primo tratto di moto accelerato e una seconda fase in cui il moto diventa rettilineo uniforme.
2. Individua un intervallo di tempo in cui il moto è rettilineo uniforme ed esporta i dati delle colonne t (s) e y (m) dal Datatable dell'`Analysis Results` per analizzarli con il foglio di calcolo.
3. Crea una tabella con due colonne, t (s) e y (m), e costruisci il grafico a dispersione delle coppie di dati.
4. Aggiungi una linea di tendenza lineare e chiedi che venga riportata l'equazione sul grafico [▶ cap. 3, par. 3].

CONCLUSIONI

- Dall'equazione della retta ricava la velocità limite v_L raggiunta dalla sferetta.
- Qual è il significato del valore del termine noto della retta?
- Avresti potuto trovare il risultato analizzando direttamente il grafico velocità-tempo prodotto da VidAnalysis?

È possibile usare altri liquidi al posto dell'acqua, per esempio la glicerina liquida o il detersivo per i piatti. In quest'ultimo caso, versa il liquido lentamente per evitare che si formino delle bolle, oppure versalo nel cilindro qualche ora prima dell'esperienza.
Può essere interessante confrontare le velocità limite ottenute usando i diversi liquidi.

Scanned with CamScanner

misura
esplora
verifica
foglio di calcolo
app
a casa

18 Moto parabolico

L'OBIETTIVO Analizzare il moto bidimensionale di un oggetto sotto l'azione della sola forza di gravità utilizzando il programma Tracker.

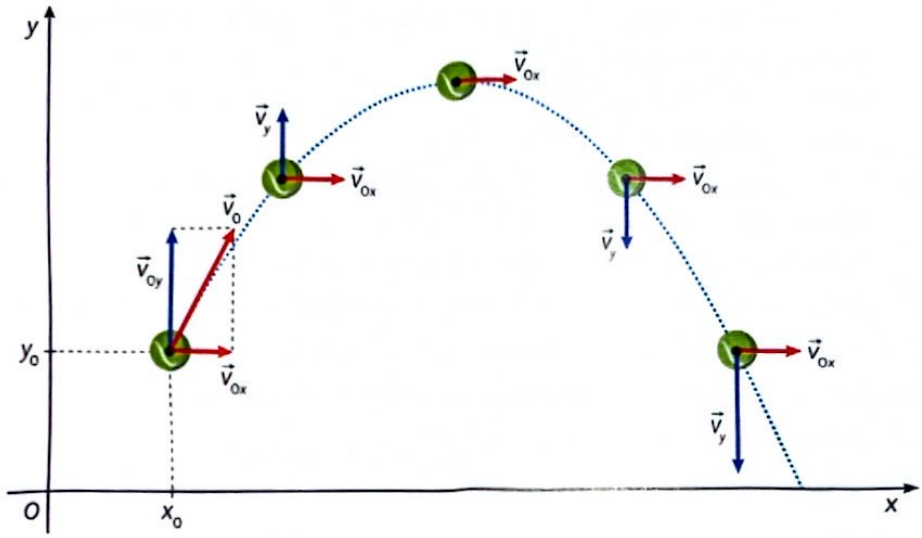
LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

Un oggetto lanciato con velocità iniziale v_0 e sotto la sola azione della forza di gravità si muove:

- di moto rettilineo uniforme lungo l'asse orizzontale con velocità v_{0x};
- di moto uniformemente accelerato con accelerazione $g = 9{,}81\ \text{m/s}^2$ diretta verso il basso lungo l'asse verticale.

In un sistema di riferimento con l'asse y rivolto verso l'alto, le leggi orarie si possono scrivere come:

$$\begin{cases} x = x_0 + v_{0x}t \\ y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$



Al generico istante di tempo t, le componenti della velocità sono date da:

$$\begin{cases} v_x = v_{0x} \\ v_y = v_{0y} - gt \end{cases}$$

L'APPARATO SPERIMENTALE

Hai bisogno di:

- un oggetto piccolo ma non troppo leggero, che risenta il meno possibile della resistenza dell'aria, per esempio una palla da tennis;
- un oggetto di dimensione nota per poter calibrare le dimensioni delle immagini, posto alla stessa distanza dalla telecamera rispetto all'altro oggetto (per esempio una persona di altezza nota);
- uno smartphone per riprendere il moto con inquadratura fissa;
- un PC su cui sia installato il software Tracker.

È preferibile scegliere un oggetto compatto per il lancio. Anche un mazzo di chiavi può andare bene ma meglio se stretto con un elastico.

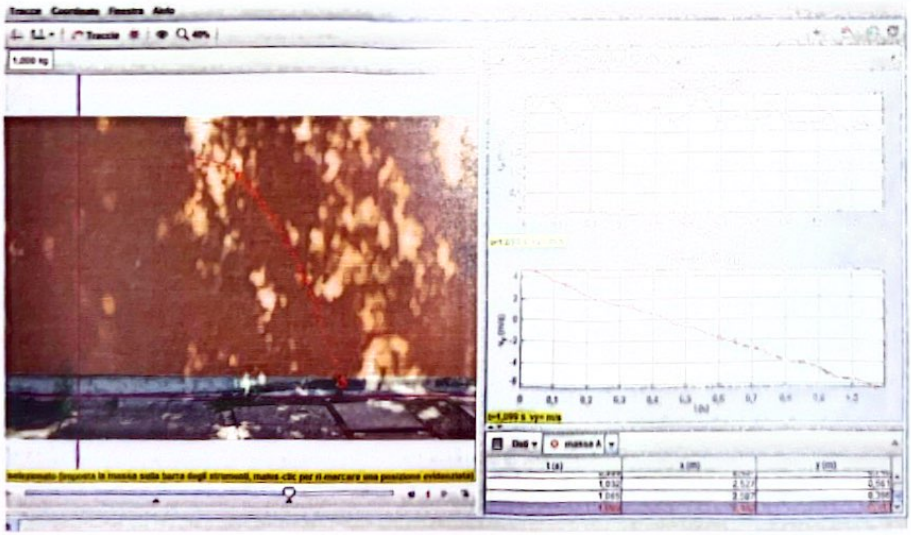
Scanned with CamScanner

IL PROCEDIMENTO

1. Aziona la fotocamera dello smartphone.
2. Lancia l'oggetto obliquamente, in modo che percorra una traiettoria parabolica. Tutto il moto si deve svolgere su un piano perpendicolare alla visuale della fotocamera.

LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI

1. Carica il video sul PC e importalo nel software Tracker.
2. Seleziona la parte di video in cui l'oggetto si muove liberamente sotto l'azione della sola forza di gravità.
3. Analizza il moto dell'oggetto lanciato [▶ cap. 2, par. 7].
4. Imposta le grandezze sugli assi del grafico per visualizzare la velocità orizzontale in funzione del tempo (il grafico in alto nella figura). Ricava dal grafico il valore di v_{0x}.
5. Imposta le grandezze sugli assi del grafico per visualizzare la componente x della posizione in funzione del tempo. Ricava dal grafico il valore di x_0.
6. Imposta le grandezze sugli assi del grafico per visualizzare la velocità verticale v_y in funzione del tempo (il grafico in basso nella figura). Il grafico dovrebbe essere una retta decrescente. Ricava dal grafico il valore di v_{0y} e quello di a_y: il valore iniziale di v_y corrisponde a v_{0y}, mentre il coefficiente angolare corrisponde a a_y. Puoi quindi ottenere a_y leggendo dal grafico un valore v_{y1} all'istante t_1 e un valore v_{y2} all'istante t_2 e calcolando $a_y = \frac{v_{y2} - v_{y1}}{t_2 - t_1}$.
7. Imposta le grandezze sugli assi del grafico per visualizzare la componente y della posizione in funzione del tempo. Ricava dal grafico il valore di y_0.



A CASA

Puoi analizzare il moto parabolico anche con l'app VidAnalysis.

- Filma la caduta di un oggetto con la fotocamera fissa.
- Importa il filmato su VidAnalysis.
- Analizza il moto [▶ cap. 2, par. 7] e segui le stesse indicazioni qui riportate a partire dal punto 4 di "La raccolta e l'elaborazione dei dati".

CONCLUSIONI

- Riporta la stima che hai ottenuto per i valori dei parametri del moto: x_0, y_0, v_{0x}, v_{0y} e a_y.
- Discuti se i grafici ottenuti e il valore di a_y sono coerenti con il tipo di moto che ti attendevi.

Scanned with CamScanner

19 Conservazione dell'energia meccanica

L'OBIETTIVO Verificare che, per un carrello che scende lungo una guida rettilinea a cuscino d'aria inclinata, l'energia meccanica si conserva.

misura
esplora
verifica
foglio di calcolo
app
a casa

LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

Un carrello di massa m che scende lungo un piano inclinato privo di attrito è soggetto alla sola forza-peso, che è conservativa. Pertanto, l'energia meccanica del carrello si conserva:

$$E = U + K = \text{costante}$$

In particolare, se il carrello parte da fermo ($v_i = 0$) da una quota h_i, l'energia meccanica iniziale è data dalla sola energia potenziale U_i; questa energia si trasforma integralmente in energia cinetica K_f quando il carrello arriva a quota $h_f = 0$ con velocità v_f.

$$U_i = K_f \quad \rightarrow \quad mgh_i = \frac{1}{2}mv_f^2$$

L'APPARATO SPERIMENTALE

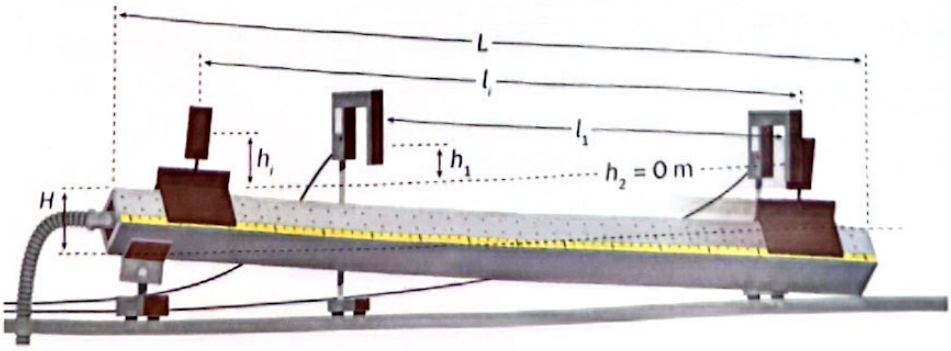
Strumento	Sensibilità	Portata
metro a rotella	1 mm	.....
bilancia	0,1 g	.....

Hai bisogno di: una rotaia a cuscino d'aria, due fotocellule e un PC con un software per la gestione delle fotocellule, per esempio Logger Pro.

IL PROCEDIMENTO

ALLESTISCI L'APPARATO SPERIMENTALE

1. Inclina la guida di un piccolo angolo rispetto all'orizzontale, inserendo uno spessore di supporto sotto un'estremità o regolando i piedini della rotaia.
2. Disponi una prima fotocellula lungo la discesa e una seconda fotocellula in fondo alla guida; poi, collegale al PC e apri il programma di gestione delle fotocellule.



Scanned with CamScanner

PROCEDI CON LE MISURE

3. Misura la massa m del carrello.
4. Misura le distanze d_1 e d_2 percorse dal carrello durante la fase di oscuramento delle due fotocellule [▶ cap. 2, par. 7].
5. Misura la lunghezza dalla guida L e la sua altezza H.
6. Misura la lunghezza l_i che il carrello percorrerà dal punto di partenza fino alla seconda fotocellula e la lunghezza l_1 che percorrerà dalla prima alla seconda fotocellula.
7. Aziona il compressore e colloca il carrello nella posizione di partenza.
8. Aziona dal PC la fase di acquisizione dati.
9. Lascia libero il carrello e registra i tempi di inizio e fine oscuramento delle fotocellule ($t_{1,i}$, $t_{1,f}$ e $t_{2,i}$, $t_{2,f}$).
10. Ripeti le misure più volte variando il punto di partenza iniziale e registrando ogni volta le misure di l_i e l_1.

LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI

Usa un foglio di calcolo e registra tutti i dati raccolti in una tabella. Riporta in una cella l'accelerazione di gravità $g = 9{,}8\ \text{m/s}^2$. Fissa un sistema di riferimento in modo che la seconda fotocellula sia ad altezza zero.

Completa la tabella dei dati, aggiungendo le colonne in cui calcoli:

1. la quota iniziale $h_i = \frac{H}{L} l_i$ di partenza e la quota $h_1 = \frac{H}{L} l_1$ al passaggio dalla prima fotocellula;
2. le velocità istantanee v_1 e v_2 al passaggio dalle due fotocellule;
3. l'energia potenziale iniziale e al passaggio dalle due fotocellule ($U_i = mgh_i$, $U_1 = mgh_1$ e $U_2 = 0$);
4. l'energia cinetica iniziale e al passaggio dalle due fotocellule ($K_i = 0$, $K_1 = \frac{1}{2}mv_1^2$ e $K_2 = \frac{1}{2}mv_2^2$);
5. l'energia meccanica nelle tre posizioni.

Quale formula ti serve?
Le velocità istantanee sono date da:

$$v_1 = \frac{d_1}{t_{1,f} - t_{1,i}}$$

$$v_2 = \frac{d_2}{t_{2,f} - t_{2,i}}$$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
7		distanze		tempi				altezze rispetto alla 2ª fotocellula		velocità		energia potenziale		energia cinetica		[illegible]		
8				1ª fotocellula		2ª fotocellula												
9	n° esp.	l_i (m)	l_1 (m)	$t_{1,i}$ (s)	$t_{1,f}$ (s)	$t_{2,i}$ (s)	$t_{2,f}$ (s)	h_i (m)	h_1 (m)	v_1 (m/s)	v_2 (m/s)	U_i (J)	U_1 (J)					
10	1																	
11	2																	
12	3																	

CONCLUSIONI

- Come varia l'energia potenziale U_i al variare dell'altezza h_i?
- Confronta l'andamento dei valori di K_2 con l'altezza da cui il carrello è lasciato partire. Che cosa noti?
- Confronta, riga per riga, i valori di U_i con quelli di K_2. Che cosa noti?
- Confronta, riga per riga, i valori dell'energia meccanica nelle tre posizioni del moto: quali conclusioni puoi trarre?

CON TRACKER

1. Fai un video della discesa del carrello, importalo su Tracker e registra le posizioni durante il moto. Imposta il sistema di riferimento in modo che la coordinata y rappresenti la posizione verticale del carrello.
2. Copia la tabella con le grandezze t, x, e y su un foglio di calcolo. Aggiungi sei colonne in cui calcoli: le componenti v_x e v_y della velocità, il modulo $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$, l'energia potenziale U, l'energia cinetica K e l'energia meccanica E.
3. Rappresenta in un grafico U, K e E in funzione di t.

Scanned with CamScanner

20 Taratura di un termoscopio

L'OBIETTIVO Tarare un termoscopio e utilizzarlo per misurare una temperatura incognita.

misura
esplora
verifica
foglio di calcolo
app
a casa

LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

Un termoscopio è costituito da un'ampolla che contiene un liquido, per esempio alcol, ed è formata da un bulbo collegato a un tubo capillare. Il riscaldamento del liquido ne provoca l'espansione, che può essere visualizzata dal livello raggiunto nel capillare.

Le variazioni di temperatura e di volume del liquido, e di conseguenza la variazione di altezza raggiunta nel capillare, sono direttamente proporzionali.

Per tarare un termoscopio è necessario porlo a contatto termico con corpi mantenuti a una temperatura costante. I passaggi di stato dell'acqua (fusione ed ebollizione) sono fenomeni adatti alla taratura perché, durante il processo, la temperatura non cambia: a pressione atmosferica il ghiaccio fonde a 0 °C e l'acqua bolle a 100 °C.

L'APPARATO SPERIMENTALE

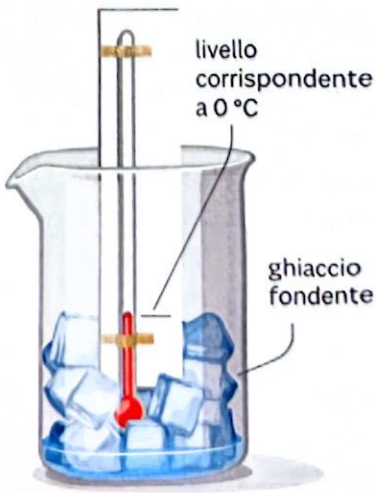
Hai bisogno di:

- un termoscopio;
- un becker contente ghiaccio fondente;
- un pentolino con acqua;
- un fornello;
- una striscia di carta.

IL PROCEDIMENTO

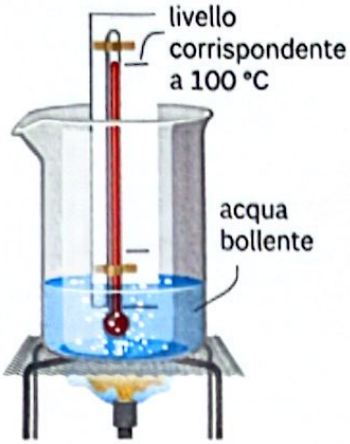
1. Attacca la striscia di carta al capillare del termoscopio, in modo da poter segnare i livelli raggiunti dal liquido.
2. Immergi il bulbo del termoscopio nel ghiaccio fondente. Attendi che il livello del liquido nel capillare si stabilizzi e segnalo sulla striscia di carta indicando a fianco "0".

Assicurati di immergere completamente il bulbo nella sostanza, in modo che il liquido contenuto nel termoscopio possa raggiungere la stessa temperatura della sostanza.



Scanned with CamScanner

3. Fai bollire l'acqua del pentolino.
4. Immergi il bulbo del termoscopio in acqua bollente. Attendi che il livello del liquido nel capillare si stabilizzi e segnalo sulla striscia di carta indicando a fianco "100".



5. Immergi il bulbo del termoscopio in acqua a temperatura incognita. Attendi che il livello del liquido nel capillare si stabilizzi e segnalo sulla striscia di carta indicando a fianco "X".

LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI

1. Misura sulla striscia di carta la distanza tra la tacca "0" e la tacca "100" e indicala con d_{100}. Valuta anche l'incertezza Δd_{100}.
2. Misura sulla striscia di carta la distanza tra la tacca "0" e la tacca "X" e indicala con d_X. Valuta anche l'incertezza Δd_X.
3. Calcola la temperatura incognita T_X in °C:

$$T_X = \frac{d_X}{d_{100}} \cdot 100\ °C$$

e la sua incertezza:

$$\Delta T_X = \left(\frac{\Delta d_X}{d_X} + \frac{\Delta d_{100}}{d_{100}}\right) \cdot T_X$$

Quale formula ti serve?
Visto che la temperatura misurata e l'altezza nel capillare sono direttamente proporzionali, vale la proporzione:

$$T_X : d_X = 100\ °C : d_{100}$$

CONCLUSIONI

- Riporta la stima che hai ottenuto per la temperatura incognita con la sua incertezza:
- Se è possibile misura la temperatura incognita anche con un termometro tarato o con un sensore e confronta il risultato con quello ottenuto dal termoscopio come errore percentuale.

Scanned with CamScanner

21 Calore specifico

L'OBIETTIVO Misurare il calore specifico di una sostanza solida.

LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

Il calore specifico di una sostanza è numericamente uguale alla quantità di energia necessaria per aumentare di 1 K la temperatura di 1 kg di quella sostanza. Nel SI di unità di misura si esprime in J/(kg · K).

Scaldiamo a temperatura T_2 un solido di massa m_2 e calore specifico c sconosciuto e immergiamolo nell'acqua di massa m_1 di un calorimetro ben isolato a temperatura T_1. Con il tempo, il corpo cede energia all'acqua e al calorimetro fino a quando il sistema non raggiunge uno stato di equilibrio alla temperatura T_e.

L'energia $\Delta E_2 = cm_2\,(T_2 - T_e)$ ceduta dall'oggetto è uguale a quella $\Delta E_1 = (m_1 c_{acqua} + C_{cal})(T_e - T_1)$ assorbita dal sistema acqua-calorimetro (la capacità termica C_{cal} del calorimetro è spesso trascurabile).

Dall'uguaglianza delle due espressioni dell'energia, si può ricavare la formula per calcolare il calore specifico c dell'oggetto solido dopo aver misurato sperimentalmente le altre grandezze in gioco (masse e temperature):

$$c = \frac{(m_1 c_{acqua} + C_{cal})\,(T_e - T_1)}{m_2\,(T_2 - T_e)}$$

Spesso la capacità termica del calorimetro viene espressa come *equivalente in acqua del calorimetro*, cioè la quantità di acqua m_{eq} tale per cui vale la relazione $C_{cal} = m_{eq} c_{acqua}$. In questo caso la formula per c si può scrivere:

$$c = \frac{(m_1 + m_{eq})\,(T_e - T_1)}{m_2\,(T_2 - T_e)} \cdot c_{acqua}$$

Per il calore specifico dell'acqua acqua usa il valore c_{acqua} = 4186 J/(kg K).

L'APPARATO SPERIMENTALE

Strumento	Sensibilità	Portata
termometro	0,1 °C	> 100 °C
bilancia	0,1 g	……

Hai bisogno di:

- un calorimetro con termometro;
- un fornello;
- un pentolino;
- un oggetto solido metallico legato a un filo.

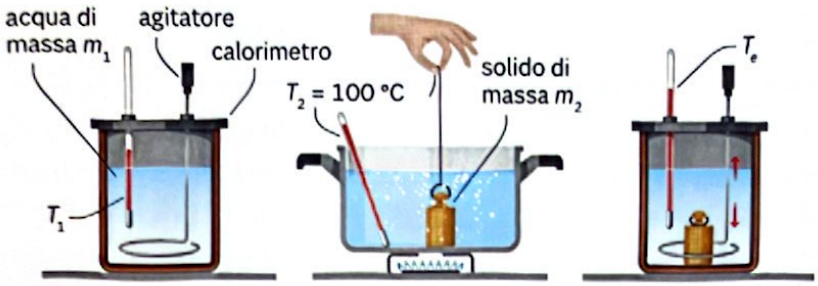
IL PROCEDIMENTO

1. Misura la massa m_1 e la temperatura T_1 dell'acqua nel calorimetro.
2. Misura la massa m_2 dell'oggetto solido.
3. Posiziona il pentolino pieno d'acqua sul fornello e immergici l'oggetto metallico, lasciando fuori il filo.

misura
esplora
verifica
foglio di calcolo
app
a casa

Scanned with CamScanner

4. Quando l'acqua sul fornello giunge a ebollizione, aspetta ancora due minuti e poi trasferisci rapidamente l'oggetto nel calorimetro.
5. Muovi l'agitatore e misura la temperatura di equilibrio raggiunta nel calorimetro. Noterai che la temperatura sale fino a un valore massimo e poi comincia a scendere per dispersione: registra la temperatura T_e massima raggiunta.



LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI

Registra i valori di m_1, m_2, T_1, T_2, T_e con le relative incertezze date dalle sensibilità della bilancia e del termometro. Registra il valore di m_{eq} noto o quello da te calcolato seguendo i passaggi riportati a fondo pagina.

1. Calcola il calore specifico c del metallo.
2. Calcola l'incertezza Δc applicando le regole sulla propagazione delle incertezze:

$$\Delta c = \left(\frac{\Delta m_1 + \Delta m_{eq}}{m_1 + m_{eq}} + \frac{\Delta T_e + \Delta T_1}{T_e - T_1} + \frac{\Delta m_2}{m_2} + \frac{\Delta T_2 + \Delta T_e}{T_2 - T_e} \right) \cdot c$$

CONCLUSIONI

- Riporta la stima che hai ottenuto per il calore specifico del solido.
- Confrontalo con i valori tabulati e identifica la sostanza da cui è costituito.
- Valuta se il valore tabulato è compatibile con il risultato trovato e calcola l'errore percentuale.
- Sarebbe stato possibile trascurare la capacità termica del calorimetro?

Calori specifici a temperatura ambiente e a pressione atmosferica normale

Sostanza	$c\left(\frac{J}{kg \cdot K}\right)$
alluminio	897
argento	235
ferro	449
piombo	129
rame	385
zinco	388

SE L'EQUIVALENTE IN ACQUA NON È NOTO

Inserisci nel calorimetro acqua a temperatura ambiente per circa la metà della capienza, misurandone la massa m_f e T_f.
Aggiungi al calorimetro dell'acqua calda di massa m_c e a temperatura T_c.
Muovi l'agitatore e misura la temperatura di equilibrio T_e raggiunta.
Calcola l'equivalente in acqua m_{eq} risolvendo l'equazione
$(m_f + m_{eq})(T_e - T_f) = m_f(T_c - T_e)$, cioè:

$$m_{eq} = m_c \frac{(T_c - T_e)}{T_e - T_f} - m_f$$

Calcola l'incertezza m_{eq} applicando le regole sulla propagazione delle incertezze:

$$\Delta m_{eq} = \left(\frac{\Delta m_c}{m_c} + \frac{\Delta T_c + \Delta T_e}{T_c - T_e} + \frac{\Delta T_e + \Delta T_f}{T_e - T_f} \right) m_c \cdot \frac{(T_c - T_e)}{T_e - T_f} + \Delta m_f$$

Scanned with CamScanner

misura
esplora
verifica
foglio di calcolo
app
a casa

22 Calore latente di fusione del ghiaccio

L'OBIETTIVO Misurare il calore latente di fusione del ghiaccio.

LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

Il *calore latente di fusione* L_f di una sostanza solida è la quantità di energia necessaria a fondere la massa di 1 kg di quella sostanza, quando si trova alla temperatura di fusione. Si misura in J/kg.

Per determinare il valore di L_f del ghiaccio si possono analizzare gli scambi energetici che avvengono in un calorimetro tra una massa m_a d'acqua allo stato liquido inizialmente alla temperatura T_a e una massa m_g di ghiaccio inizialmente alla temperatura T_g, fino a che, fuso il ghiaccio, non raggiungono la temperatura di equilibrio T_e.

Il calore ceduto dall'acqua liquida e dal calorimetro che si raffreddano a contatto col ghiaccio è:

$$Q_C = (m_a c_a + C_{cal})(T_a - T_e)$$

calore specifico dell'acqua

capacità termica del calorimetro

Considerando il sistema isolato, Q_C è uguale al calore Q_A assorbito dal ghiaccio per portarsi alla temperatura di equilibrio. Q_A è dato dalla somma di tre scambi di calore:

- Q_1 che porta il ghiaccio alla temperatura di fusione di 0 °C;
- Q_2 che fa fondere il ghiaccio;
- Q_3 che porta la temperatura del ghiaccio da 0 °C alla temperatura di equilibrio T_e.

$$Q_A = m_g c_g (0 - T_g) + m_g L_f + m_g c_a (T_e - 0)$$

calore specifico del ghiaccio

Dall'uguaglianza $Q_C = -Q_A$, indicando le temperature in °C, si ottiene:

$$L_f = \underbrace{\frac{(m_a c_a + C_{cal})(T_a - T_e)}{m_g}}_{1^\circ \text{ termine}} + \underbrace{c_g T_g}_{2^\circ \text{ termine}} - \underbrace{c_a T_e}_{3^\circ \text{ termine}}$$

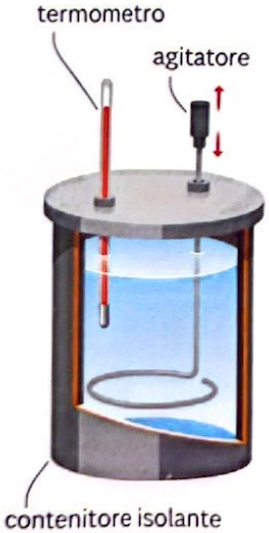
Quale formula ti serve?
Il calore latente di fusione L_f è tale che:

$$Q_f = L_f m$$

Il calore scambiato da un corpo in un dato stato è:

$$Q = cm\Delta T = C \cdot \Delta T$$

Spesso, al posto della capacità termica C_{cal}, viene fornito il valore della massa m_{eq}, ossia l'*equivalente in acqua* del calorimetro. Vale la relazione $C_{cal} = m_{eq} c_a$.



L'APPARATO SPERIMENTALE

Strumento	Sensibilità	Portata
termometro e sonda termometrica	0,1 °C	.....
bilancia	0,1 g	.....

Hai bisogno di: un calorimetro, un fornello, un pentolino, acqua e ghiaccio.

Scanned with CamScanner

IL PROCEDIMENTO

1. Appoggia il calorimetro sulla bilancia e azzerala, in modo da eliminare la tara del calorimetro. Mantieni il calorimetro sulla bilancia per le prossime operazioni.
2. Scalda dell'acqua in un pentolino fino a ebollizione e versane un po' nel calorimetro, chiudendo subito il coperchio. L'acqua nel calorimetro deve essere calda a sufficienza per essere sicuri che tutto il ghiaccio si sciolga quando vengono mescolati.
3. Leggi la massa m_a di acqua versata e azzera nuovamente la bilancia.
4. Misura la temperatura T_a dell'acqua nel calorimetro.
5. Prendi un po' di ghiaccio e misura con una sonda termometrica la sua temperatura T_g.
6. Inserisci rapidamente il ghiaccio nel calorimetro, chiudendo subito il coperchio. Misura la massa m_g di ghiaccio inserito.
7. Muovi l'agitatore e attendi che la temperatura diminuisca. La temperatura scenderà fino a un valore minimo per poi cominciare a risalire a causa dell'assorbimento del calore dall'ambiente circostante. Registra la temperatura minima raggiunta e considerala come temperatura di equilibrio T_e.

LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI

Registra i valori di m_a, m_g, T_a e T_g con le relative incertezze, che coincidono con le sensibilità degli strumenti.

1. Calcola il calore latente di fusione L_f. Per i calori specifici dell'acqua e del ghiaccio usa i seguenti valori:

$$c_a = 4186 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$$

$$c_g = 2090 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$$

2. Calcola l'incertezza ΔL_f applicando le regole sulla propagazione delle incertezze:

$$\Delta L_f = \underbrace{\frac{(m_a c_a + C_{cal})(T_a - T_e)}{m_g}\left(\frac{c_a \Delta m_a}{m_a c_a + C_{cal}} + \frac{\Delta T_a + \Delta T_e}{T_a - T_e} + \frac{\Delta m_g}{m_g}\right)}_{\text{incertezza sul 1° termine}} + \underbrace{c_g T_g \Delta T_g}_{\text{incertezza sul 2° termine}} + \underbrace{c_a T_e \Delta T_e}_{\text{incertezza sul 3° termine}}$$

Se è noto, registra anche il valore dell'equivalente in acqua m_{eq} del calorimetro e usa il dato per calcolare $C_{cal} = m_{eq} c_a$. Altrimenti, puoi misurarlo secondo il procedimento di pagina 95 oppure trascurarlo ponendo $C_{cal} = 0$.

CONCLUSIONI

- Riporta la stima per il calore latente di fusione L_f del ghiaccio che hai ottenuto.
- Valuta se il risultato trovato è compatibile con il valore noto $L_f = 3{,}34 \times 10^5$ J/kg e calcola l'errore percentuale.
- Sarebbe stato possibile trascurare la capacità termica del calorimetro?

Scanned with CamScanner

23 Pressione e volume di un gas a temperatura costante

L'OBIETTIVO Cercare una relazione tra la pressione e il volume di un gas mantenuto a temperatura costante.

LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

La pressione è definita come il rapporto fra il modulo della forza $\vec{F}$ esercitata in direzione perpendicolare su una superficie e l'area A della superficie:

$$p = \frac{F}{A}$$

pressione [Pa] — forza perpendicolare [N] — area [m²]

Consideriamo una siringa riempita d'aria e chiusa ermeticamente. Se lo stantuffo non viene premuto, l'aria interna alla siringa si trova alla pressione atmosferica p_{atm}. Quando si esercita una forza $\vec{F}$ sullo stantuffo di area A, l'aria interna alla siringa è sottoposta a una variazione di pressione e cambia il volume da essa occupato.

Ci chiediamo se, muovendo lo stantuffo in modo che l'aria contenuta nella siringa si mantenga a una temperatura costante, esista una relazione tra la pressione dell'aria e il volume occupato.

Per misurare la forza F è possibile usare una bilancia. La forza esercitata sul pistone verrà misurata come una forza-peso ($F = F_p = mg$) e il valore di massa m letto sul display della bilancia permetterà di risalire al modulo di $\vec{F}$.

L'APPARATO SPERIMENTALE

Strumento	Sensibilità	Portata
bilancia digitale	0,1 g	.....
calibro	0,05 mm	20 cm
siringa	1 mL	.....

È utile un barometro o un'applicazione per smartphone, per esempio Phyphox, per misurare la pressione atmosferica.

Vogliamo che l'aria contenuta nella siringa si mantenga a temperatura costante. Per questo è importante procedere alla presa dati con lentezza. Una rapida compressione dello stantuffo riscalderebbe l'aria contenuta nella siringa e va evitata.

IL PROCEDIMENTO

1. Misura con il calibro il diametro D interno della siringa, di forma cilindrica. Misura la pressione atmosferica p_{atm} presente nell'aula. Se non disponi di uno strumento, puoi reperire il dato online, indicando la località in cui ti trovi.
2. Disponi la siringa in verticale con lo stantuffo appoggiato sulla bilancia e con il beccuccio aperto, in modo che indichi la capacità massima misurabile. Azzera la tara della bilancia.

Scanned with CamScanner

3. Chiudi il beccuccio della siringa con il pollice bagnato (per sigillare meglio la siringa). Non dovrai toglierlo per tutte le misure. Inizia a premere lentamente in modo da ridurre il volume di 5 mL.
4. Registra la misura di massa letta sulla bilancia. Se il valore sul display oscilla, cerca di leggere il valore centrale.
5. Ripeti la lettura riducendo il volume di 5 mL alla volta, fin dove riesci. Non togliere il dito dal beccuccio per non far scappare l'aria interna.

LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI

Riporta le misure raccolte in una tabella: il diametro interno della siringa, la pressione atmosferica e le coppie volume-massa. L'incertezza della massa è molto maggiore della sensibilità della bilancia: la stimiamo pari a 0,1 kg sulla base delle oscillazioni dei valori osservati a ogni misura.

1. Completa la tabella dei dati, calcolando:
   - l'area della sezione della siringa $A = \pi\left(\frac{D}{2}\right)^2$, con l'incertezza $\Delta A = 2A \cdot \frac{\Delta D}{D}$;
   - la forza $F = mg$ esercitata in corrispondenza di ogni valore del volume, con incertezza $\Delta F = \Delta m \cdot g$;
   - la pressione totale dell'aria interna ottenuta sommando la pressione atmosferica e la pressione prodotta dalla forza F, $p = p_{atm} + \frac{F}{A}$, con incertezza $\Delta p = \Delta p_{atm} + \frac{F}{A}\left(\frac{\Delta F}{F} + \frac{\Delta A}{A}\right)$.

Ricorda di esprimere la massa in kg.

2. Ricerca la relazione tra la pressione esercitata sull'aria e il volume da essa occupato.
   - Riporta le coppie di dati (V; p) in un grafico a dispersione, inserendo le barre di errore (non è detto che siano visibili nella scala del grafico).
   - Osserva che i dati sembrano disporsi su un arco di iperbole, che suggerisce una possibile proporzionalità inversa tra p e V.
3. Per verificare questa ipotesi, linearizza la relazione [▶ cap. 4, par. 2]. Aggiungi due ulteriori colonne alla tabella: $\frac{1}{V}$ e $\Delta\left(\frac{1}{V}\right)$, ricordando che l'incertezza di $\frac{1}{V}$, secondo le regole della propagazione delle incertezze, è $\Delta\left(\frac{1}{V}\right) = \frac{\Delta V}{V^2}$. Rappresenta infine le coppie $\left(\frac{1}{V}; p\right)$.
4. Osservato che, entro le barre di errore, i punti risultano allineati, calcola il coefficiente k di proporzionalità inversa per ogni coppia: $k = pV$.

	H	I	J	K	L	M	N	O	P
30		V (mL) ± 1 mL	m (kg) ± 0,1 kg	F (N) ± 1 N	p (Pa)	Δp (Pa)	1/V (1/mL)	Δ(1/V) (1/mL)	k (Pa·mL)
31	1								
32	2								
33	3								
34	4								
35	5								
36	6								

5. Calcola la stima per il valore k e la sua incertezza, usando la media e lo scarto quadratico medio dei valori trovati per le diverse coppie di misure.

CONCLUSIONI

- Scrivi la relazione tra V e p, specificando il valore del coefficiente k e la sua incertezza. Hai trovato una legge che in fisica prende il nome di legge di Boyle.

Scanned with CamScanner

24 Relazione tra la temperatura e il volume di un gas a pressione costante

isura
esplora
verifica
foglio di calcolo
app
a casa

L'OBIETTIVO Verificare che la relazione tra volume e temperatura in un gas a pressione costante è di dipendenza lineare. Determinare il valore dello zero assoluto in gradi Celsius.

LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

Se un gas è mantenuto a pressione costante, la relazione tra temperatura in gradi °C e volume è lineare, cioè ha la forma:

volume [m³] — costante del gas [m³/°C]

$$V = V_0 + kT$$

volume a 0 °C [m³] — temperatura [°C]

dove k è una costante che dipende dal tipo e dalla quantità di gas usato.

Il valore di T per cui si ha $V = 0$ è una costante universale ed è chiamato *zero assoluto*.

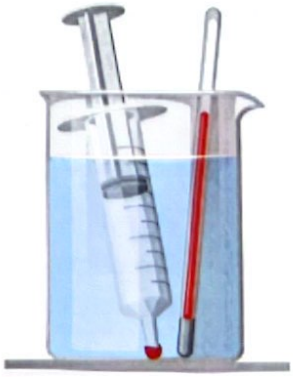
L'APPARATO SPERIMENTALE

Strumento	Sensibilità	Portata
siringa grande senza ago e chiusa ermeticamente	1 mL	.....
termometro o sensore di temperatura	0,1 °C	.....

Hai bisogno di un fornello, di un pentolino, di un becker e di qualche cubetto di ghiaccio.

IL PROCEDIMENTO

1. La siringa deve essere chiusa ermeticamente, per esempio con del silicone applicato sul foro solitamente usato per inserire l'ago. Il pistone è libero di muoversi se l'aria nella siringa si espande o si contrae.
2. Versa nel becker un po' di acqua e qualche cubetto di ghiaccio. Mescola e aspetta che il ghiaccio cominci a fondere.
3. Immergi la siringa nell'acqua, in modo che la parte che contiene aria sia del tutto immersa, e misura la temperatura dell'acqua.



Scanned with CamScanner

4. Aspetta almeno un minuto in modo che l'aria contenuta nella siringa raggiunga la temperatura dell'acqua. Poi, misura il volume dell'aria dalla posizione dello stantuffo sulla scala graduata della siringa.
5. Versa nel becker dell'acqua a temperatura ambiente. Immergi di nuovo la siringa, aspetta un minuto e misura la temperatura e il volume dell'aria.
6. Ripeti le misure precedenti usando acqua sempre più calda (a intervalli di circa 20 °C) scaldata sul fornello.

LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI

Registra i dati in una tabella in cui riporti ogni volta la temperatura T e il volume V dell'aria. Le incertezze sono date dalla sensibilità del termometro e della siringa. Puoi esprimere le unità di volume in mL.

	A	B	C
1	n° misura	T (°C)	V (mL)
2	1		
3	2		
4	3		
5	4		
6	5		
7			

1. Rappresenta i dati (T, V) in un grafico cartesiano.
2. Osserva che i dati sembrano disporsi su una retta non passante per l'origine.
3. Traccia la linea di tendenza sul foglio di calcolo [▶ cap. 3, par. 3]. Dalla sua equazione puoi ricavare il valore di k, che coincide con il coefficiente angolare, e il valore di V_0, che coincide con l'intercetta all'origine.
4. Calcola il valore dello zero assoluto $T_0 = -V_0/k$.

Quale formula ti serve?
Ricorda che, in una dipendenza lineare, due grandezze x e y sono legate dalla relazione $y = mx + q$, dove m è il coefficiente angolare e q è l'intercetta all'origine.

CONCLUSIONI

- Scrivi la relazione tra volume e temperatura per l'aria contenuta nella siringa.
- Quale significato ha il coefficiente angolare della retta che hai trovato?
- Qual è il valore T_0 dello zero assoluto secondo i tuoi dati? Cerca il valore noto dello zero assoluto espresso in gradi centigradi e confrontalo con quello da te trovato, valutando l'errore percentuale.

Scanned with CamScanner

25 Rifrazione della luce

L'OBIETTIVO Verificare la legge di Snell e determinare l'indice di rifrazione di un materiale trasparente.

misura
esplora
verifica
foglio di calcolo
app
a casa

LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

Un sottile fascio di luce che attraversa la superficie di separazione tra due mezzi trasparenti viene deviato secondo le due leggi della rifrazione.

- **Prima legge**: il raggio incidente, il raggio rifratto e la perpendicolare alla superficie di separazione nel punto di incidenza appartengono allo stesso piano.
- **Seconda legge (legge di Snell)**: il rapporto tra il seno dell'angolo di incidenza $\hat{i}$ e il seno dell'angolo di rifrazione $\hat{r}$ è una costante per ogni coppia di mezzi, ed è uguale all'inverso del rapporto tra gli indici di rifrazione dei due mezzi.

$$\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = \frac{n_2}{n_1}$$

angolo di incidenza; angolo di rifrazione; indice di rifrazione del secondo mezzo; indice di rifrazione del primo mezzo

Gli angoli vengono misurati rispetto alla perpendicolare alla superficie di separazione dei due mezzi.

L'APPARATO SPERIMENTALE

Strumento	Sensibilità	Portata
foglio con disco goniometrico	1 °	360°

Hai bisogno di un semidisco di materiale trasparente (per esempio vetro o plexiglass) e una sorgente luminosa che produce un fascio sottile, per esempio un laser.

IL PROCEDIMENTO

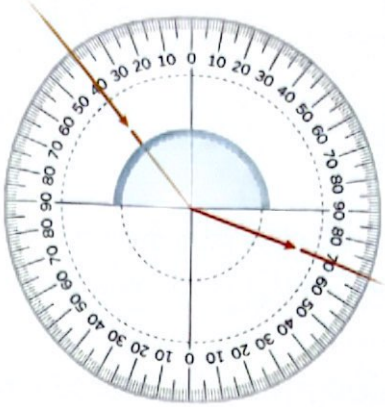
Supponiamo di utilizzare un semidisco di vetro. Puoi studiare la legge della rifrazione sia nel passaggio da aria a vetro che da vetro ad aria.

1. Appoggia il diametro del semidisco su un diametro del disco goniometrico, in modo che i centri corrispondano.

2a. Passaggio da aria a vetro Disponi la sorgente luminosa in modo che il raggio colpisca il centro del semidisco *prima* di attraversare il semidisco stesso: in questo modo il raggio verrà rifratto solo nel passaggio aria-vetro e non nel passaggio successivo vetro-aria.

Scanned with CamScanner

2b. Passaggio da vetro ad aria Disponi la sorgente luminosa in modo che il raggio colpisca il centro *dopo* aver attraversato il semidisco senza essere deviato: in questo modo il raggio verrà rifratto solo nel passaggio vetro-aria e non nel passaggio precedente aria-vetro.



3. Misura l'angolo di incidenza $\hat{i}$ e l'angolo di rifrazione $\hat{r}$.
4. Sposta la sorgente in modo da variare l'angolo di incidenza, mantenendo il punto di incidenza al centro del disco goniometrico.
5. Varia l'angolo di incidenza $\hat{i}$ tra 0° e 90° a intervalli di circa 10° e ripeti la misura di $\hat{r}$.

Se stai studiando il passaggio vetro-aria, c'è un angolo di incidenza, detto *angolo limite* $\hat{l}$, oltre il quale il raggio non viene rifratto ma viene completamente riflesso. Prova a determinare con precisione il suo valore.

LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI

Registra i dati in una tabella in cui riporti ogni volta $\hat{i}$, $\hat{r}$ e le relative incertezze.

1. Riporta in un grafico cartesiano le coppie $(\hat{i}, \hat{r})$, inserendo le barre di errore, se queste risultano visibili. La relazione che osserverai non è una di quelle che conosci.
2. Aggiungi tre colonne alla tabella e calcola $\sin \hat{i}$, $\sin \hat{r}$ e $k = \sin \hat{i} / \sin \hat{r}$.
3. Aggiungi un'ulteriore colonna in cui calcoli l'indice di rifrazione n_v del vetro per ciascuna coppia di dati. Poiché $n_{aria} \approx 1$, si ha:
   - $n_v \approx k$ nel caso del passaggio aria-vetro;
   - $n_v \approx 1/k$ nel caso del passaggio vetro-aria.

	A	B	C	D	E	F
1	$\hat{i} \pm 1°$	$\hat{r} \pm 1°$	$\sin \hat{i}$	$\sin \hat{r}$	k	n_v
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

4. Stima il valore e l'incertezza di n_v usando la media e lo scarto quadratico medio dei valori trovati per le diverse coppie.

CONCLUSIONI

- Riporta la relazione tra l'angolo di incidenza e l'angolo di rifrazione.
- Riporta il valore dell'indice di rifrazione n_v del vetro con la sua incertezza. È un valore ragionevole rispetto a quelli tabulati?
- Se hai misurato l'angolo limite, verifica che $\sin \hat{l} = 1/n_v$.

Indice di rifrazione

Materiale	n
ghiaccio	1,31
plexiglass	1,49
vetro	1,50-1,90
diamante	2,42

Scanned with CamScanner

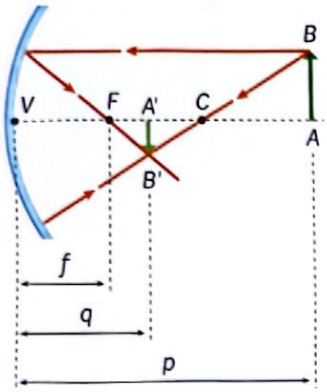
26 Legge dei punti coniugati per gli specchi

L'OBIETTIVO Verificare la relazione tra la posizione dell'oggetto e la posizione dell'immagine ottenuta per riflessione in uno specchio concavo.

misura
esplora
verifica
foglio di calcolo
app
a casa

LA FISICA DELL'ESPERIMENTO

Gli specchi sferici concavi sono costituiti da una calotta sferica la cui superficie interna è riflettente.



Per specchi di piccola apertura è nota la relazione tra la distanza p dell'oggetto dal vertice dello specchio e la distanza q dell'immagine dallo stesso vertice. Si tratta della *legge dei punti coniugati*:

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$$

dove f è la distanza focale dello specchio ed è pari al doppio del raggio r di curvatura. Per uno specchio concavo si ha $f > 0$.

Per oggetti posizionati a una distanza maggiore della distanza focale ($p > f$), l'immagine è sempre reale ($q > 0$) e capovolta.

Scegliendo come variabili $x = 1/p$ e $y = 1/q$, la legge dei punti coniugati diventa $x + y = 1/f$. Esplicitando y si ottiene:

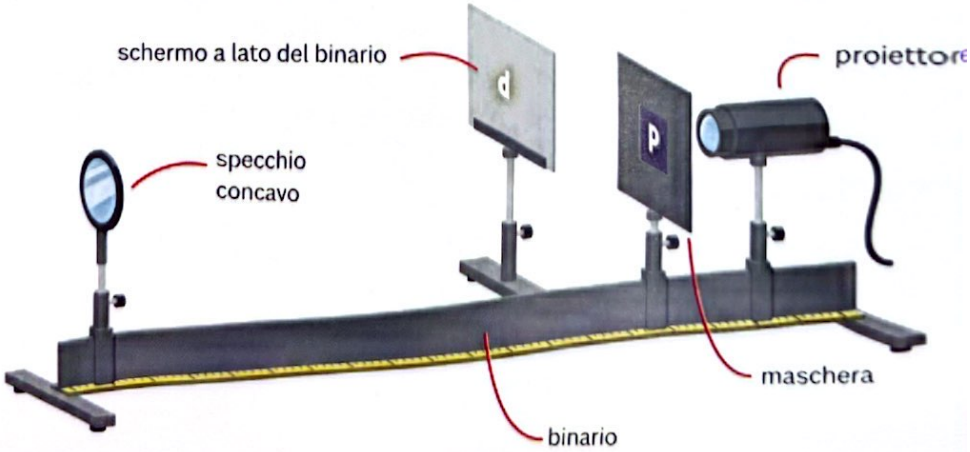
$$y=-x+\frac{1}{f}$$

che riconosciamo come una dipendenza lineare di coefficiente angolare $m = -1$ e intercetta all'origine $q = 1/f$.

L'APPARATO SPERIMENTALE

Hai bisogno di un banco ottico, una struttura composta da un binario metallico sul quale vengono fissate le sorgenti luminose e gli specchi. Ti servono anche: uno specchio concavo, un proiettore, una maschera per il proiettore oppure uno spillo con capocchia come oggetto da proiettare, e uno schermo per visualizzare l'immagine.

Strumento	Sensibilità	Portata
metro	1 mm	.....



Scanned with CamScanner

IL PROCEDIMENTO

1. Fissa la maschera o l'oggetto davanti alla sorgente luminosa e accendi la sorgente.
2. Colloca lo specchio a una distanza dalla maschera (o dall'oggetto) maggiore della distanza focale.
3. Mantieni fermi la sorgente e l'oggetto, e modifica la distanza dell'oggetto dallo specchio muovendo lo specchio stesso.
4. Muovi lo schermo in modo da trovare il punto in cui si forma l'immagine a fuoco.
5. Misura la distanza p dallo specchio alla sorgente luminosa e la distanza q dallo specchio all'immagine sullo schermo.
6. Ripeti nuovamente il procedimento almeno 5 volte e registra le misure. Fai attenzione a non avvicinare lo specchio alla sorgente oltre la distanza focale.

Ruota leggermente lo specchio in modo da riuscire a catturare l'immagine al lato del banco, per non creare interferenze tra i raggi diretti provenienti dal proiettore e quelli riflessi dallo specchio.

LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI

Registra le misure raccolte in una tabella, possibilmente usando il foglio di calcolo.

1. Completa la tabella dei dati aggiungendo delle colonne in cui calcoli:
   - $x = 1/p$, con l'incertezza $\Delta x = \Delta p/p^2$.
   - $y = 1/q$, con l'incertezza $\Delta y = \Delta q/q^2$.
   - $f = \left(\frac{1}{p} + \frac{1}{q}\right)^{-1} = \frac{pq}{p+q}$ per ogni coppia di misure.

	B	C	D	E	F	G	H	I
1								
2		p (cm) ± 0,1 cm	q (cm) ± 0,1 cm	x (cm^{-1})	Δx (cm^{-1})	y (cm^{-1})	Δy (cm^{-1})	f (cm)
3	1							
4	2							
5	3							
6	4							
7	5							
8								

2. Calcola il valor medio $\overline{f}$ della distanza focale e la sua incertezza come scarto quadratico medio o semidispersione assoluta.
3. Rappresenta le coppie $(x; y)$ nel piano cartesiano con le relative barre di errore (se sono visibili nella scala scelta). Usa il foglio di calcolo per trovare la retta di tendenza e la sua equazione [▶ cap. 3, par. 3].

CONCLUSIONI

- Scrivi il valore della distanza focale con la sua incertezza.
- Verifica se i punti del grafico si dispongono approssimativamente su una retta la cui equazione ha coefficiente angolare prossimo al valore -1 e intercetta all'origine prossima al valore di $1/\overline{f}$, entro l'incertezza calcolata.
- Se il valore di f è noto, confrontalo con $\overline{f}$ da te ottenuto e valuta la differenza percentuale tra i due.
- Perché non si può fare la stessa verifica con uno specchio convesso?
- Perché, nel riposizionare lo specchio, è necessario rispettare la condizione $p > f$?

Scanned with CamScanner