ISTITUTO SALESIANO
«Beata Vergine di San Luca»
via Jacopo della Quercia, 1 - 40128 BOLOGNA
tel. 051/41.51.711 – *www.salesianibologna.net*
presidesup.bolognabv@salesiani.it
Il Preside

PASSERELLE/IDONEITÀ

FISICA

PROGRAMMI DEL BIENNIO

MATERIA ACCESSSORIA

Prof.: PAOLO PATRUNO - patruno.paolo.PROF@salesianibologna.it

Prof.ssa: ANTONI STEFANIA - antoni.stefania.prof@salesianibologna.it

Testo di riferimento: Giuseppe Ruffo "**Studiamo la fisica**" con e-book Zanichelli

Argomenti su cui verterà la prova:

inserire gli eventuali riferimenti alle pagine del libro

- **La misura delle grandezze fisiche (unità 1)**
  - La misura di lunghezze, aree e volumi (pag. 2, 3 ,4, 5, 6)
  - Massa e densità (pag. 8, 9, 10, 12, 13)
  - La notazione scientifica e l'arrotondamento di un numero (pag. 14, 15, 16)
  - L'incertezza di una misura (pag. 18, 19, 20)
  - Gli strumenti di misura (pag. 22)
- **La rappresentazione di dati e fenomeni (unità 2)**
  - La rappresentazione di un fenomeno e i grafici (pag. 26, 27, 28)
  - Le grandezze direttamente proporzionali (pag. 30, 31)
  - La correlazione lineare (pag. 34)
  - La proporzionalità quadratica (pag. 34, 35)
  - La proporzionalità inversa (pag. 35, 36)
- **Le grandezze vettoriali (unità 3)**
  - Gli spostamenti e le forze (pag. 40, 41, 42)
  - Gli allungamenti elastici (pag. 44, 45, 46)
  - Le operazioni sulle forze (pag. 48, 49, 50)
  - Le forze di attrito (pag. 52, 53, 54)

Esercizi o domande simili a quelle che potrebbero capitare durante la prova:

Fare riferimento agli esercizi presenti nelle fotocopie di recupero allegate aventi i seguenti titoli:

- La misura delle grandezze fisiche
- La rappresentazione di dati e fenomeni
- Le grandezze vettoriali

Materiale allegato (fotocopie del testo o altro – da lasciare alla Presidenza):

- Fotocopie del libro di testo in allegato, esercizi sugli argomenti sopra riportati.

LE GRANDEZZE VETTORIALI

TEST A SCELTA MULTIPLA

1 Un aereo percorre 30 km verso nord, poi vira improvvisamente percorrendo altri 40 km verso est. Quanto vale lo spostamento risultante?
A 70 km
B 60 km
C 50 km
D 45 km

2 Delle seguenti grandezze, quale ha caratteristiche vettoriali?
A massa
B tempo
C spostamento
D volume

3 Le masse di due oggetti sono $m_1 = 2{,}2$ kg e $m_2 = 8{,}8$ kg. Quanto vale il rapporto tra i loro pesi P_1 e P_2?
A $P_1 / P_2 = 4$
B $P_1 / P_2 = 0{,}5$
C $P_1 / P_2 = 0{,}25$
D non c'è nessun rapporto perché i pesi sono diversi dalle masse

4 Un'auto che pesa 9800 N ha una massa di:
A 100 kg
B 1000 kg
C 980 kg
D 10 000 kg

5 La massa di un sasso è 250 g. Qual è il suo peso?
A 24,5 N
B 2,45 N
C 245 N
D 250 N

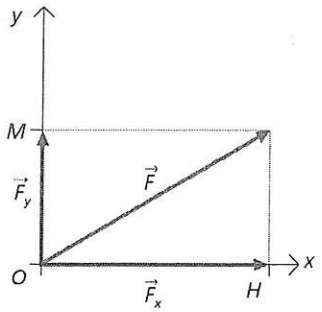
6 Una molla, a cui è applicata una forza di 15 N, si allunga di 3 cm. Qual è la sua costante elastica?
A 500 N/m
B 50 N/m
C 0,5 N/m
D 5 N/m

7 Una forza di intensità 70 N agisce orizzontalmente verso destra, un'altra di intensità 50 N agisce orizzontalmente verso sinistra. Quanto vale la risultante?
A 120 N verso destra
B 120 N verso sinistra
C 20 N verso destra
D 20 N verso sinistra

LE GRANDEZZE VETTORIALI

8 Una forza di 50 N forma un angolo di 30° con l'asse delle x (cos 30° = 0,866). Quanto vale la componente lungo x?
A 20 N
B 25 N
C 30 N
D 43,3 N

9 Nella figura sono disegnati i vettori componenti della forza $\vec{F}$. Che relazione c'è fra l'intensità di $\vec{F}$ e le intensità dei componenti?



A $F_x + F_y = F$
B $(F_x)^2 + (F_y)^2 = F^2$
C $F - F_x = F_y$
D non c'è nessuna relazione

10 Nella figura precedente $F = 10$ N, $F_x = 8$ N. Quanto vale F_y?
A 6 N
B 4 N
C 2 N
D 18 N

11 La costante elastica di una molla è 4 N/cm. Qual è il suo valore in unità del SI?
A 4 N/cm
B 4 N/m
C 40 N/m
D 400 N/m

12 Una cassa di 10 kg è ferma su un tavolo orizzontale. Il coefficiente di attrito statico vale 0,7. La forza di primo distacco è:
A 0,7 N
B 70 N
C minore di 7 N
D 68,6 N

QUESITI E PROBLEMI

Misure di tempo ed errori

1 Quattro cronometristi hanno misurato il tempo impiegato dal vincitore di una corsa campestre, ottenendo i seguenti valori:
t_1 = 23 min 14 s; t_2 = 23 min 16 s;
t_3 = 23 min 15 s; t_4 = 23 min 18 s.

- Qual è l'incertezza degli strumenti usati?

  .....

- Qual è il valore medio delle misure in secondi?

  .....

- Scrivi il tempo ottenuto dal vincitore associando l'errore assoluto.

  .....

Misura di una lunghezza ed errori

2 Misurando il diametro di una barra cilindrica, uno studente ha ottenuto la seguente misura:
$d = (2{,}45 \pm 0{,}05)$ mm

- Qual è l'incertezza dello strumento con cui ha effettuato la misura?

  .....

- Qual è l'errore assoluto che ha commesso?

  .....

- Qual è l'errore relativo?

  .....

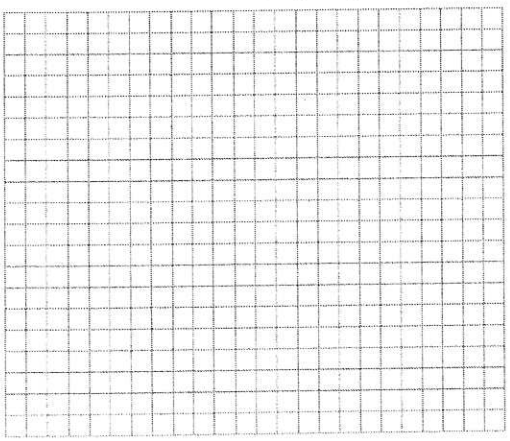
- Qual è l'errore percentuale?

  .....

- Scrivi il risultato della misura con l'errore percentuale.

  .....

- Visualizza con un disegno gli estremi di variazione della grandezza misurata.



LA MISURA DELLE GRANDEZZE FISICHE

Errori su grandezze derivate

3 Il lato di una lastra quadrata è stato misurato 5 volte e si sono ottenute le seguenti misure: 34,5 cm; 34,4 cm; 34,7 cm; 34,6 cm; 34,3 cm.

- Qual è il valore medio del lato?

  .....

- Calcola l'errore assoluto sul lato.

  .....

- Calcola il perimetro della lastra.

  .....

- Determina l'errore assoluto sul perimetro.

  .....

- Scrivi il risultato con l'errore assoluto.

  .....

Scritture corrette

4 Individua le scritture che sono scritte in modo non corretto e riscrivile in modo corretto.

□ $L = (14 \pm 0{,}1)$ m

□ $m = (50 \pm 5)$ g

□ $T = (55{,}01 \pm 0{,}3)$ s

□ $V = (320 \pm 20)$ cm^3

Errori sulla misura della densità

5 La massa di un oggetto è $(20{,}0 \pm 0{,}2)$ g, il volume $(5{,}0 \pm 0{,}1)$ cm^3. Calcola:

- la densità in g/cm^3.

  .....

- gli errori percentuali su massa e volume.

  .....

- l'errore percentuale sulla densità.

  .....

- Esprimi la densità in unità SI.

  .....

LA MISURA DELLE GRANDEZZE FISICHE

TEST A SCELTA MULTIPLA

1 Un oggetto è lungo (1,03 ± 0,03) m. Con questa scrittura vogliamo dire che:
A l'oggetto si allunga o si accorcia al variare della temperatura, e quindi si sono indicati i valori massimo e minimo
B abbiamo usato uno strumento non adatto alla misurazione
C la lunghezza potrebbe essere compresa tra 1,00 m e 1,06 m
D siamo incerti sulla bontà della misura

2 Considera la seguente uguaglianza: $x = a \cdot b + c$. Con quale delle seguenti formule si può ricavare b?
A $b = a \cdot x/c$
B $b = (x - c)/a$
C $b = (c + x)/a$
D $b = (c + a)/x$

3 Quale tra le seguenti misure è affetta da maggiore errore assoluto?
A $L_1 = (100 \pm 2)$ cm
B $L_2 = (180 \pm 4)$ cm
C $L_3 = (12 \pm 1)$ cm
D $L_4 = (24 \pm 3)$ cm

4 Quale tra le seguenti misure è affetta da maggiore errore percentuale?
A $L_1 = (100 \pm 2)$ cm
B $L_2 = (180 \pm 4)$ cm
C $L_3 = (12 \pm 1)$ cm
D $L_4 = (24 \pm 3)$ cm

5 E' stata misurata 4 volte la lunghezza di una strada, ottenendo i seguenti valori:
25,0 m 25,8 m
25,4 m 25,0 m
Quale valore conviene prendere per la misura?
A nessuno, perché sono misure diverse
B 25,0 m
C 25,4 m
D 25,3 m

6 Delle seguenti scritture una sola è sbagliata. Quale?
A $L = (15{,}5 \pm 0{,}1)$ m
B $m = (155{,}25 \pm 0{,}4)$ kg
C $t = (0{,}16 \pm 0{,}02)$ s
D $V = (0{,}0040 \pm 0{,}0005)$ m^3

7 La densità del ferro è 7800 kg/m^3. Quale delle seguenti affermazioni è falsa?
A 7800 kg di ferro hanno un volume di 1 m^3
B 1 m^3 di ferro ha una massa di 7800 kg
C la densità del ferro è 7800 g/cm^3
D la densità del ferro è 7,8 g/cm^3

LA MISURA DELLE GRANDEZZE FISICHE

8 Quante cifre significative ha il numero 0,107?
A 4
B 3
C 2
D 1

9 La distanza percorsa da un'auto è stata misurata con un errore del 3%, il tempo impiegato con un errore del 2%. Qual è l'errore sulla velocità (distanza percorsa / tempo impiegato)?
A 5%, perché gli errori percentuali si sommano
B 3%, perché si assume l'errore maggiore
C 2%, perché si assume l'errore minore
D 1,5%, perché la velocità è il rapporto tra distanza percorsa e tempo impiegato

10 Quale, tra le seguenti, non è una caratteristica degli strumenti di misura?
A la portata
B la prontezza
C la sensibilità
D la forma

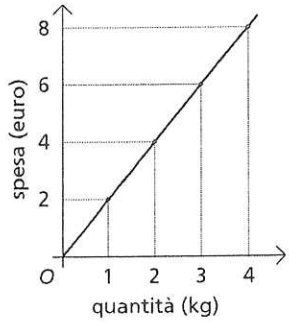
11 La distanza del pianeta Marte dal Sole è circa 57 900 000 km. Qual è l'ordine di grandezza della distanza?
A 10
B 9
C 8
D 7

12 La lunghezza di un virus è 2 millesimi di millimetro. Come si può esprimere questo dato con notazione scientifica?
A $2{,}0 \times 10^{-3}$ m
B $2{,}0 \times 10^{-6}$ m
C $2{,}0 \times 10^{-9}$ m
D $2{,}0 \times 10^{-12}$ m

QUESITI E PROBLEMI

Dal grafico alla formula

1 Osserva il grafico seguente.



- Calcola la pendenza della semiretta.

  .....

- Scrivi la relazione matematica tra s (spesa) e q (quantità).

  .....

- Di che tipo di relazione si tratta?

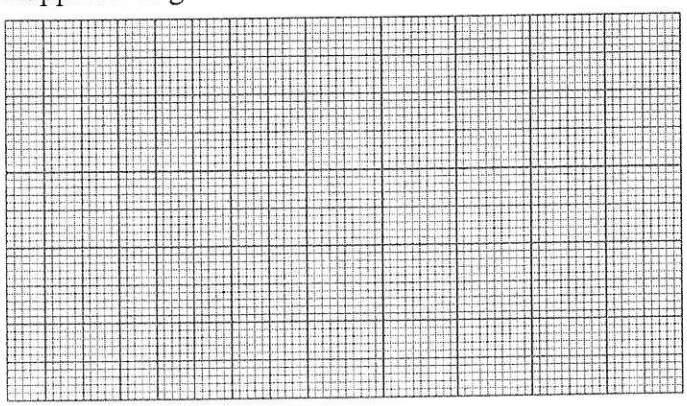
  .....

Tabella, grafico, relazione matematica

2 È data la seguente tabella di dati:

t (s)	0	1	2	3	4	5
s (cm)	2	5	8	11	14	17

- Rappresenta graficamente i dati.



- Calcola la pendenza.

  .....

- Qual è la relazione fra s e t?

  .....

- Determina il valore di s che corrisponde a $t = 2{,}5$ s.

.....

Dall'equazione al grafico

3 Considera la seguente equazione: $v = 2t + 4$

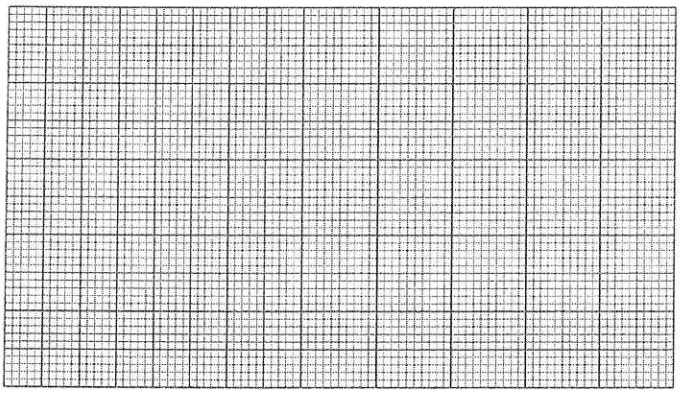
- Rappresenta l'equazione di una retta?

.....

- Passa per l'origine degli assi?

.....

- Costruisci il grafico corrispondente.



6 Che cosa ha in comune con il grafico ottenuto dall'equazione $v = 2\,t$?

.....

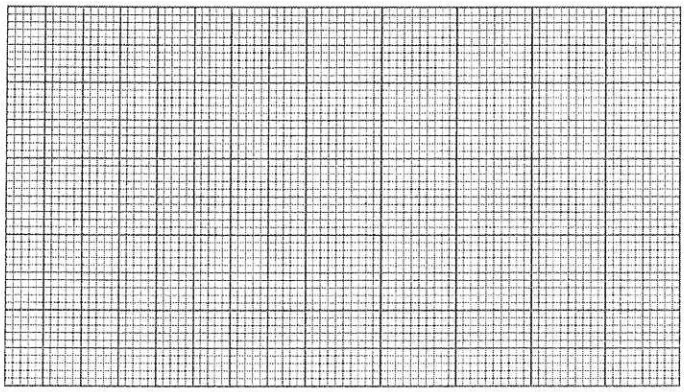
Grafico sperimentale

4 Un esperimento fornisce la seguente tabella di dati.

t (s)	1,0	3,0	5,0	7,0
V (cm^3)	2,6	8,0	12,6	17,8

L'errore su t vale ± 0,5 s, quello su V vale ± 0,4 cm^3.

- Rappresenta V in funzione di t mettendo in evidenza gli errori.



LA RAPPRESENTAZIONE DI DATI E FENOMENI

TEST A SCELTA MULTIPLA

1 Quale delle seguenti tabelle corrisponde alla proporzionalità diretta tra le grandezze?

A

t (s)	1	2	3	4
s (cm)	1	4	9	16

B

t (s)	1	2	3	4
s (cm)	3	6	9	12

C

t (s)	2,0	2,5	3,0	3,5
s (cm)	20	30	40	50

D

t (s)	1	4	8	10
s (cm)	20	5	2,5	2

2 Quale relazione rappresenta la formula $y = \frac{x}{3}$?

A proporzionalità diretta
B proporzionalità inversa
C proporzionalità quadratica
D nessuna delle precedenti

3 Tra le due grandezze P e V esiste la relazione $P = \frac{12}{V}$.

A quale delle seguenti tabelle corrisponde tale relazione?

A

P	1	2	3	4
V	12	24	36	48

B

P	1	12	24	2
V	1	4	8	12

C

P	12	6	3	2
V	1	2	4	8

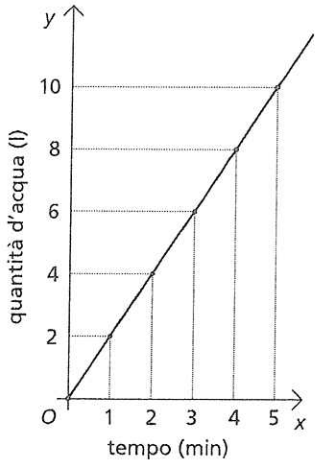
D

P	1	2	4	8
V	12	6	3	1

LA RAPPRESENTAZIONE DI DATI E FENOMENI

4 Quando due grandezze sono direttamente proporzionali?
A il loro prodotto è costante
B la loro somma è costante
C la loro differenza è costante
D il loro rapporto è costante

5 Nella figura sono rappresentate due grandezze x e y direttamente proporzionali. Quale delle seguenti formule descrive la relazione?



A $y = 4x$
B $y = x$
C $y = 2x$
D $y = 2x + 1$

6 La grandezza y è funzione della grandezza x.

x	1	2	3	4	5
y	30	15	10	7,5	6

Quale delle seguenti affermazioni è corretta?
A y è direttamente proporzionale a x
B y è inversamente proporzionale a x
C y è proporzionale al quadrato di x
D y dipende linearmente da x

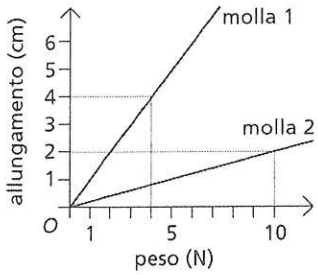
7 Fra le seguenti grandezze solo due sono direttamente proporzionali. Quali?
A la lunghezza della circonferenza e il raggio
B l'area e il perimetro di un tavolo
C il volume di una sfera e il suo raggio
D il numero degli studenti di una scuola e il numero degli insegnanti

8 Se due grandezze sono inversamente proporzionali, la loro rappresentazione grafica è:
A una semiretta non uscente dall'origine degli assi
B una semiretta uscente dall'origine degli assi
C una iperbole
D una parabola

QUESITI E PROBLEMI

Costanti elastiche

1 Due molle, di diverse caratteristiche, hanno i seguenti grafici peso-allungamento.



- Calcola le costanti elastiche delle due molle in N/cm.

  .....

- Esprimi i valori delle costanti in unità del SI.

  .....

- Che relazione c'è tra peso e allungamento?

  .....

- Di quanto si allunga la molla 1 con un peso di 5 N?

  .....

- Qual è il peso che produrrebbe, nella molla 1, un allungamento di 10 cm?

  .....

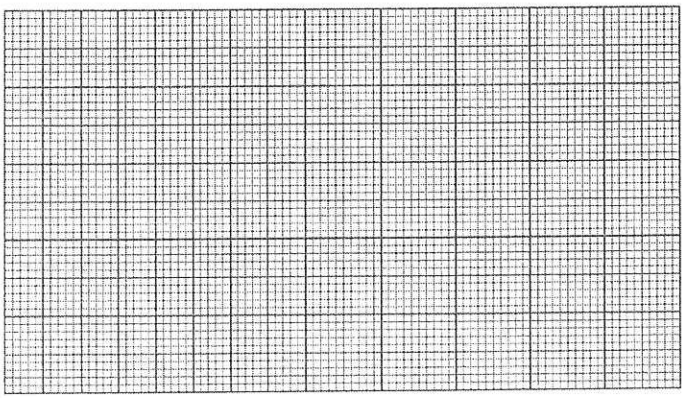
- Puoi essere sicuro della validità dell'ultima risposta data? Spiega.

  .....

Risultante delle forze

2 Due forze hanno intensità 60 N e 80 N. Le loro rette di azione formano un angolo α.

- Rappresenta graficamente la situazione quando $\alpha = 30°$ e $\alpha = 90°$, utilizzando la scala 1 cm $\rightarrow$ 20 N.



- Disegna la risultante delle forze nei due casi.
- È possibile calcolare la risultante delle due forze? Spiega.

  .....

Componenti delle forze

3 Un carrello di peso 196 N si trova su un piano inclinato di 30°.

- Rappresenta con un disegno la situazione fisica mettendo in evidenza la forza-peso.

- Scomponi la forza-peso lungo il piano e la perpendicolare al piano.
- Calcola le componenti della forza-peso.

.....

La forza di attrito

4 Una scatola di 2,0 kg è poggiata sul piano di un tavolo. Viene spinta con una forza parallela al piano. La scatola comincia a muoversi quando la forza vale 17,3 N.

- Fai un disegno per illustrare la situazione.

- Come si chiama la forza che mette in moto la scatola?

.....

- Qual è il coefficiente di attrito statico?

.....

- Se poggiamo sulla scatola un'altra della stessa massa, qual è il coefficiente di attrito statico?

.....

Unità 1 ▪ Lezione 1

Le grandezze fisiche

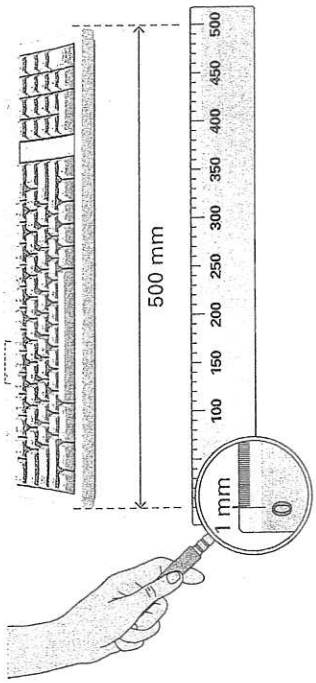
Osservazioni e misure

La fisica studia i fenomeni naturali in cui certe grandezze subiscono dei cambiamenti, mentre altre rimangono costanti nel tempo. Per esempio, la caduta di un pallone da una finestra è un fenomeno fisico. Durante la caduta, il peso del pallone rimane costante, la velocità aumenta e la distanza da terra diminuisce.

Per descrivere un fenomeno non sono sufficienti *osservazioni qualitative* come queste, occorrono *osservazioni quantitative*, cioè basate su misure. Per esempio, a un camionista che deve passare sotto un ponte non serve un cartello con la scritta «Vietato il transito a veicoli troppo alti», perché l'informazione è qualitativa e risulta ambigua. È più utile la scritta «Vietato il transito a veicoli di altezza superiore a 3 metri».

Per fare osservazioni quantitative bisogna utilizzare degli *strumenti* che permettono di misurare grandezze come il peso, la velocità, l'altezza. Le grandezze che si possono misurare si chiamano **grandezze fisiche**.

Misurare significa **confrontare** l'unità di misura scelta con la grandezza da misurare e **contare** quante volte l'unità è contenuta nella grandezza.



△ **Figura 1**
Misura del lato della tastiera.

Se vogliamo misurare la lunghezza della tastiera di un computer, possiamo usare un righello millimetrato e vedere quante volte il millimetro è contenuto nel lato della tastiera [▷ figura 1]. Il millimetro è l'unità di misura scelta in questo caso.

Per comunicare ad altri il risultato della misura facciamo seguire al numero trovato l'unità di misura opportuna. Per dire che la tastiera è lunga 500 mm scriviamo:

$$l = 500 \text{ mm}$$

Osserva l'ordine con cui sono scritte le varie informazioni: la lettera l che rappresenta la lunghezza, il simbolo di uguaglianza, il valore numerico, l'unità di misura.

Le unità di misura e il Sistema Internazionale

L'unità di misura è *arbitraria*; possiamo misurare la lunghezza della tastiera prendendo come unità di misura la lunghezza di una matita, di un chiodo, di un fiammifero o di un altro oggetto preso come campione. L'unità di misura, però, deve essere scelta secondo alcuni criteri di praticità:

- deve essere confrontabile con la grandezza che si vuol misurare (non deve essere né troppo grande né troppo piccola);
- deve essere facilmente riproducibile (cioè deve essere possibile realizzare delle copie);
- non deve cambiare nel tempo;
- deve essere identica per tutti in modo da poter comunicare e capire il risultato delle misure.

Non è necessario fissare l'unità di misura per ogni grandezza fisica; è sufficiente farlo solo per alcune di esse, dette *grandezze fondamentali*. Le altre grandezze fisiche, dette *grandezze derivate*, sono ricavate da quelle fondamentali. Per esempio, se diciamo che la velocità di un oggetto è il rapporto fra la distanza percorsa e il tempo impiegato a percorrerla, l'unità di misura della velocità è il rapporto fra l'unità di misura della distanza e l'unità di misura del tempo.

Unità 1 • Lezione 1
Le grandezze fisiche

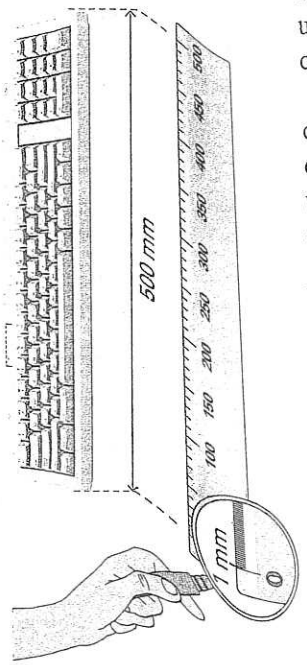
Osservazioni e misure

La fisica studia i fenomeni naturali in cui certe grandezze subiscono dei cambiamenti, mentre altre rimangono costanti nel tempo. Per esempio, la caduta di un pallone da una finestra è un fenomeno fisico. Durante la caduta, il peso del pallone rimane costante, la velocità aumenta e la distanza da terra diminuisce.

Per descrivere un fenomeno non sono sufficienti *osservazioni qualitative* come queste, occorrono *osservazioni quantitative*, cioè basate su misure. Per esempio, a un camionista che deve passare sotto un ponte non serve un cartello con la scritta «Vietato il transito a veicoli troppo alti», perché l'informazione è qualitativa e risulta ambigua. È più utile la scritta «Vietato il transito a veicoli di altezza superiore a 3 metri».

Per fare osservazioni quantitative bisogna utilizzare degli *strumenti* che permettono di misurare grandezze come il peso, la velocità, l'altezza. Le grandezze che si possono misurare si chiamano **grandezze fisiche**.

Misurare significa **confrontare** l'unità di misura scelta con la grandezza da misurare e **contare** quante volte l'unità è contenuta nella grandezza.



△ **Figura 1**
Misura del lato della tastiera.

Se vogliamo misurare la lunghezza della tastiera di un computer, possiamo usare un righello millimetrato e vedere quante volte il millimetro è contenuto nel lato della tastiera [▷ figura 1]. Il millimetro è l'unità di misura scelta in questo caso.

Per comunicare ad altri il risultato della misura facciamo seguire al numero trovato l'unità di misura opportuna. Per dire che la tastiera è lunga 500 mm scriviamo:

$$l = 500 \text{ mm}$$

Osserva l'ordine con cui sono scritte le varie informazioni: la lettera l che rappresenta la lunghezza, il simbolo di uguaglianza, il valore numerico, l'unità di misura.

Le unità di misura e il Sistema Internazionale

L'unità di misura è *arbitraria*; possiamo misurare la lunghezza della tastiera prendendo come unità di misura la lunghezza di una matita, di un chiodo, di un fiammifero o di un altro oggetto preso come campione. L'unità di misura, però, deve essere scelta secondo alcuni criteri di praticità:

- deve essere confrontabile con la grandezza che si vuol misurare (non deve essere né troppo grande né troppo piccola);
- deve essere facilmente riproducibile (cioè deve essere possibile realizzare delle copie);
- non deve cambiare nel tempo;
- deve essere identica per tutti in modo da poter comunicare e capire il risultato delle misure.

Non è necessario fissare l'unità di misura per ogni grandezza fisica; è sufficiente farlo solo per alcune di esse, dette *grandezze fondamentali*. Le altre grandezze fisiche, dette *grandezze derivate*, sono ricavate da quelle fondamentali. Per esempio, se diciamo che la velocità di un oggetto è il rapporto fra la distanza percorsa e il tempo impiegato a percorrerla, l'unità di misura della velocità è il rapporto fra l'unità di misura della distanza e l'unità di misura del tempo.

Per uniformare tutte le unità di misura è stato creato il **Sistema Internazionale di misura** entrato in vigore il primo gennaio 1978, inizialmente solo in alcuni paesi europei. Nel seguito faremo riferimento a questo sistema di unità indicandolo con la sigla SI. Il SI è formato da sette grandezze fisiche fondamentali [▷ tabella 1].

Tabella 1 Grandezze fisiche fondamentali del Sistema Internazionale

Nome	Unità di misura	Simbolo
lunghezza	metro	m
massa	kilogrammo	kg
tempo	secondo	s
temperatura	kelvin	K
intensità corrente elettrica	ampere	A
intensità luminosa	candela	cd
quantità di sostanza	mole	mol

METODO
Solo due unità di misura hanno come simbolo una lettera maiuscola, sono le iniziali di due scienziati di cui parleremo in seguito, Ampère e Kelvin.

Le operazioni fra grandezze fisiche

Due grandezze fisiche si dicono *omogenee* se sono dello stesso tipo; per esempio, sono omogenee due distanze, due temperature, due tempi e così via, mentre non sono omogenee una distanza e una temperatura, un tempo e una massa.

In seguito parleremo spesso di operazioni fra grandezze fisiche. È importante capire quali operazioni possono essere fatte e quali invece non hanno senso.

Operazioni fra grandezze omogenee

Possiamo *confrontare* due grandezze omogenee e stabilire se sono uguali o se una è maggiore dell'altra:

$4\ \text{kg} > 2{,}2\ \text{kg}$ (confronto di due masse, espresse in kilogrammi)

Possiamo *sommare* o *sottrarre* due grandezze omogenee; otteniamo una terza grandezza omogenea alle prime due:

$8\ \text{m} + 5\ \text{m} = 13\ \text{m}$ (somma di due lunghezze, espresse in metri)
$7{,}5\ \text{s} - 4{,}1\ \text{s} = 3{,}4\ \text{s}$ (differenza di due tempi, espressi in secondi)

Possiamo anche *moltiplicare* o *dividere* due grandezze omogenee; otteniamo una nuova grandezza non omogenea alle prime due:

$3\ \text{m} \times 4\ \text{m} = 12\ \text{m}^2$ (prodotto di due grandezze omogenee)
$3\ \text{m} : 4\ \text{m} = 0{,}75$ (rapporto tra due grandezze omogenee)

Osserviamo che il prodotto ha come unità di misura il quadrato dell'unità di misura di ogni singola grandezza, mentre il rapporto non ha unità di misura.

MATEMATICA
Per fare il prodotto di due grandezze, bisogna moltiplicare sia i valori numerici sia le unità di misura: $(3\ \text{m}) \times (4\ \text{m}) = (3 \times 4)(\text{m} \times \text{m}) = 12\ \text{m}^2$.

Operazioni fra grandezze non omogenee

Non ha senso *confrontare* due grandezze non omogenee. Inoltre, non è possibile fare la *somma* o la *differenza* fra grandezze non omogenee; per esempio, non hanno alcun significato operazioni del tipo:

$$15\ \text{m} + 5\ \text{kg}$$
$$12\ \text{s} - 4\ \text{m}$$

Invece, si può fare sia la *moltiplicazione* sia la *divisione* fra due grandezze non omogenee; il risultato è una nuova grandezza che non è omogenea a nessuna di quelle di partenza. Per esempio, la velocità di un veicolo che percorre una distanza di 120 km in 2,5 h è:

$$\frac{120\ \text{km}}{2{,}5\ \text{h}} = \frac{120}{2{,}5} \cdot \frac{\text{km}}{\text{h}} = 48\ \text{km/h}$$

Unità 1 ▪ Lezione 2

La misura di lunghezze, aree e volumi

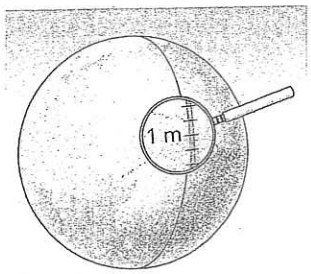
LABORATORIO	La misura indiretta del volume di un oggetto
FILMATO	Misure del volume di un oggetto

Misura di lunghezze

In passato, per misurare le lunghezze sono state usate come unità di misura il passo, il braccio, il piede, il pollice. Si tratta di unità comode, ma poiché variano da un individuo all'altro non sono universali e perciò non sono più utilizzate.

Alla fine del Settecento, in Francia, come unità di misura delle lunghezze è stato adottato il **metro** (simbolo m), definito come la quarantamilionesima parte della lunghezza del meridiano terrestre [▷ figura 1]. Il campione del metro fu costruito tracciando due incisioni su una sbarra di platino e iridio; è conservato nel Museo di Pesi e Misure di Sèvres (Parigi).

Nel 1983 il metro è stato ridefinito facendo riferimento alle onde luminose: il metro è la distanza percorsa dalla luce nel vuoto in un trecentomilionesimo di secondo; più precisamente in 1/299 792 458 secondi.



△ **Figura 1**
La vecchia definizione del metro è legata alle dimensioni della Terra.

Multipli e sottomultipli del metro

Il metro è un'unità di misura che si adatta alla maggior parte degli oggetti che ci circondano, però non è pratico per misurare lunghezze molto piccole o molto grandi.

Per misurare distanze molto piccole si usano i sottomultipli del metro. Per esempio, lo spessore di un capello è circa 0,0004 m; in questo caso si esprime la misura in millimetri, dicendo che lo spessore di un capello è circa quattro decimi di millimetro, cioè 0,4 mm.

Su scala atomica le distanze sono ancora più piccole e si parla di frazioni di **nanomètro**, che è la miliardesima parte del metro.

Il metro è scomodo anche quando si parla di distanze astronomiche. In questo caso si utilizza l'**anno-luce**, cioè la distanza percorsa dalla luce in un anno; l'anno-luce equivale a 9 450 000 000 000 000 m, cioè a circa diecimila miliardi di kilometri.

Nella ▷ tabella 1 sono riportati alcuni multipli e sottomultipli del metro.

Tabella 1 Multipli e sottomultipli del metro

Nome	Simbolo	Valore in metri
kilometro	km	1000 m
metro	m	1 m
decimetro	dm	0,1 m
centimetro	cm	0,01 m
millimetro	mm	0,001 m
micrometro	μm	0,000 001 m
nanometro	nm	0,000 000 001 m

La misura di aree e volumi

L'area di una superficie è il prodotto di due lunghezze. Nel SI l'unità di misura delle aree è (metro) × (metro), cioè **metro quadrato** (simbolo m^2).

Poiché 1 metro equivale a 100 cm, in 1 metro quadrato ci sono 10 000 centimetri quadrati [▷ figura 2]. Infatti:

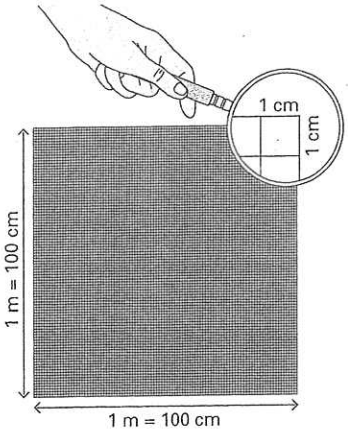
$$(1\ \text{m})^2 = (100\ \text{cm})^2 = (100\ \text{cm}) \times (100\ \text{cm}) = 10\,000\ \text{cm}^2$$

Poiché 1 cm = 0,01 m, vale anche l'uguaglianza:

$$(1\ \text{cm})^2 = (0{,}01\text{m})^2 = (0{,}01\ \text{m}) \times (0{,}01\ \text{m}) = 0{,}0001\ \text{m}^2$$

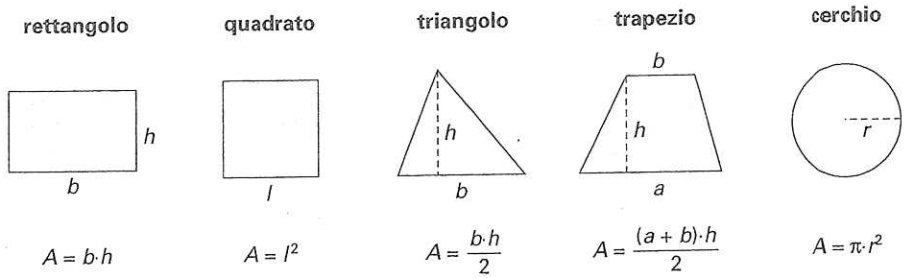
ESEMPIO 1 Se il piano di una scrivania rettangolare ha l'area di 12 850 cm^2, per ottenere l'area in m^2 spostiamo la virgola a sinistra di 4 posti:

$$A = 1{,}2850\ \text{m}^2$$



△ **Figura 2**
Nella prima riga e nella prima colonna ci sono 100 quadratini quindi l'area del quadrato è di 100 × 100 quadratini, cioè 10 000 cm^2.

Riportiamo le aree di alcune figure geometriche.



L'unità di misura del volume è il **metro cubo** (simbolo m^3), cioè un cubo che ha lo spigolo lungo 1 metro. Un metro cubo equivale a 1000 decimetri cubi [▷ figura 3].

$$1\ \text{m}^3 = (10\ \text{dm}) \times (10\ \text{dm}) \times (10\ \text{dm}) = 1000\ \text{dm}^3$$

Poiché 1 m = 100 cm, si ha anche che

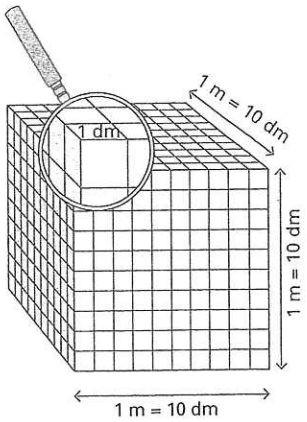
$$(1\ \text{m})^3 = (100\ \text{cm})^3 = (100\ \text{cm}) \times (100\ \text{cm}) \times (100\ \text{cm}) = 1\,000\,000\ \text{cm}^3$$

Valgono anche le seguenti uguaglianze:

$$1\ \text{dm}^3 = 0{,}001\ \text{m}^3;\ 1\ \text{cm}^3 = 0{,}000\,001\ \text{m}^3$$

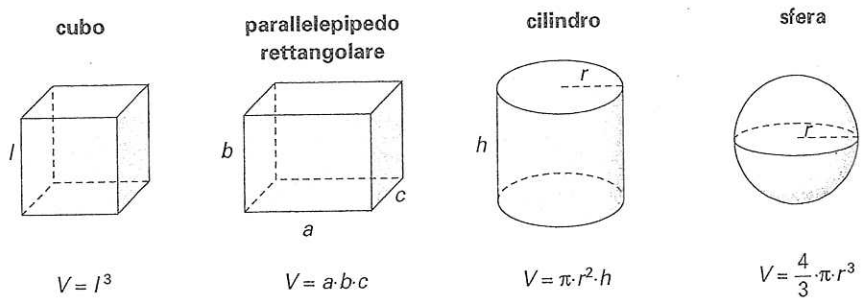
ESEMPIO 2 Se il volume di un libro è $V = 0{,}9\ \text{dm}^3$, per esprimerlo in metri cubi dividiamo il risultato per 1000 (cioè spostiamo di tre posti la virgola a sinistra):

$$V = 0{,}0009\ \text{m}^3$$



△ **Figura 3**
Ciascuno strato contiene 100 cubetti di volume 1 dm^3. Poiché gli strati sono 10, in un metro cubo ci sono 100 × 10 cubetti di 1 dm^3, cioè 1000 dm^3.

Riportiamo alcune formule per il calcolo di volumi di solidi regolari.



Con un cilindro graduato contenente dell'acqua, possiamo anche calcolare il volume di un solido irregolare, per esempio un fermacarte. Leggiamo il volume iniziale dell'acqua (V_i), leggiamo il volume finale (V_f) dopo che abbiamo messo il fermacarte nell'acqua, calcoliamo il volume del solido per differenza:

$$V = V_f - V_i$$

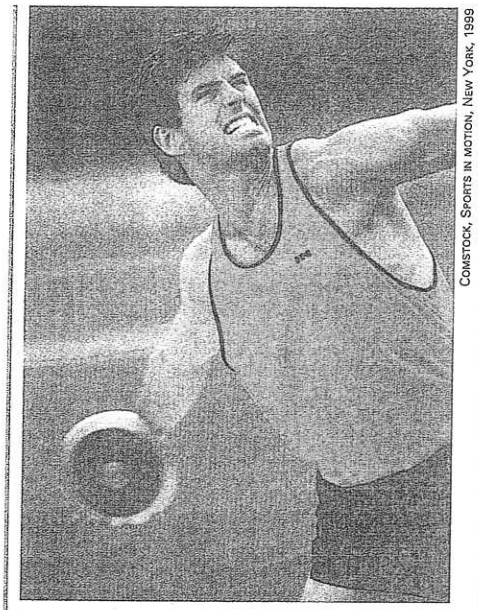
Massa e densità

LABORATORIO	La misura di densità
FILMATO	Determinazione della densità di un materiale

La massa e l'inerzia

La massa ci dà un'idea di quanta materia è contenuta in un corpo. Secondo il fisico inglese Isaac Newton, che introdusse il concetto di massa alla fine del diciassettesimo secolo, la massa di un corpo è strettamente legata alla sua inerzia, cioè alla sua tendenza a rimanere nello stato di quiete o di moto in cui si trova. A una inerzia maggiore corrisponde una massa maggiore [▷ figura 1].

▷ **Figura 1**
La massa del disco di acciaio è maggiore della massa del pallone.

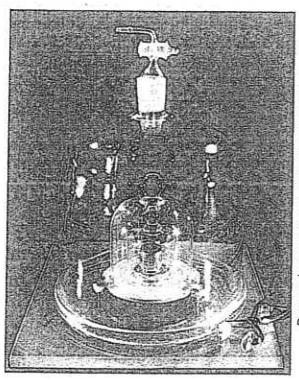


COMSTOCK, SPORTS IN MOTION, NEW YORK, 1999

a L'atleta che lancia il disco di acciaio compie uno sforzo notevole.

COMSTOCK, BIG TIME SPORTS, NEW YORK, 2001

b Il giocatore di basket che lancia il pallone di gomma compie uno sforzo moderato.



BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES, SEVRES

△ **Figura 2**
Il kilogrammo campione.

La massa è una *proprietà intrinseca* dei corpi, non dipende cioè dalle particolari condizioni in cui i corpi possono trovarsi. Per esempio, una mela ha la stessa massa sia che si trovi su un albero sia che si trovi nel frigorifero di casa. La sua massa è la stessa anche sulla Luna o su Marte o nello spazio fra le stelle.

Un'altra proprietà intrinseca della materia è la *carica elettrica*, che può assumere valori positivi o negativi e che è stata introdotta per spiegare il fenomeno dell'elettricità.

Nel SI la massa si misura in kilogrammi (kg) [▷ tabella 1]. Il kilogrammo campione è un cilindro di platino-iridio che ha un diametro di 39 mm e un'altezza di 39 mm [▷ figura 2]. In Italia la copia numero 62 del kilogrammo campione è conservata a Torino, presso l'Istituto di Metrologia Gustavo Colonnetti.

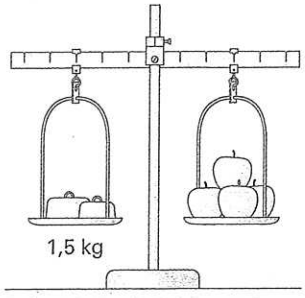
Tabella 1 Multipli e sottomultipli del kilogrammo

Nome	Simbolo	Equivalenza
tonnellata	t	1000 kg
kilogrammo	kg	1 kg
ettogrammo	hg	0,1 kg
decagrammo	dag	0,01 kg
grammo	g	0,001 kg
milligrammo	mg	0,000001 kg

La bilancia a bracci uguali

Lo strumento che permette di misurare le masse è la bilancia a bracci uguali, illustrata nella ▷ figura 3. Essa è costituita da un'asta rigida che può oscillare attorno al suo punto centrale. Agli estremi dell'asta sono appesi due piattelli. Quando sui piattelli non c'è niente, il sistema è in equilibrio.

Questo strumento permette di misurare la massa di un oggetto per confronto con una o più masse campione. Se si mette un corpo su uno dei due piattelli, per ripristinare l'equilibrio bisogna mettere un corpo anche sull'altro. I due corpi hanno la stessa massa quando l'equilibrio del sistema è ristabilito.



△ Figura 3
La bilancia è in equilibrio con 1,5 kg sul piatto di sinistra; le mele hanno una massa di 1,5 kg.

La massa è costante?

La massa complessiva di due sostanze si conserva, cioè rimane la stessa, quando le mescoliamo. Per esempio, se sciogliamo 100 g di zucchero in 1 kg di acqua, otteniamo 1,1 kg di acqua zuccherata (0,1 kg + 1 kg).

La massa si conserva anche nelle reazioni chimiche, dove hanno luogo trasformazioni di sostanze. La conservazione della massa è un principio fondamentale della Chimica ed è stato formulato dal chimico francese Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794).

Alcuni esperimenti hanno mostrato che quando un oggetto si muove a velocità molto elevate, prossime a quella della luce (circa 300 000 km/s), la massa aumenta. Nella vita quotidiana, però, le velocità dei corpi non sono confrontabili con quella della luce e quindi possiamo ritenere che la loro massa rimanga la stessa anche quando essi si muovono.

Nelle reazioni nucleari è possibile che la massa non si conservi, perché una sua parte si trasforma in energia. Le stelle, per esempio, brillano grazie alle reazioni nucleari: ogni secondo grandi quantità di massa sono trasformate in calore ed energia luminosa.

Il peso e la massa

Nella vita quotidiana si confonde la massa con il peso. Per esempio, su una confezione di tonno si legge «Peso 52 g» [▷ figura 4]. In realtà 52 g è la massa e non il peso.

Il **peso** è la forza con cui ogni corpo viene attratto verso il centro della Terra.
La **massa** è una caratteristica intrinseca del corpo.

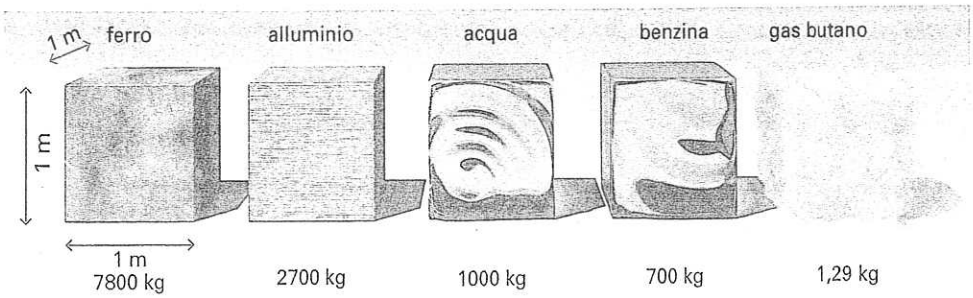
Per esempio, una confezione di pasta ha la stessa massa al livello del mare, in montagna o su un'astronave. Il peso, invece, *non* è una caratteristica propria del corpo, perché dipende anche dal raggio e dalla massa della Terra.

M. Mugnai, 2005

△ Figura 4
Massa e peso vengono spesso confusi.

La densità di una sostanza

Se confrontiamo le masse di 5 cubi di volume uguale (1 m^3) ma contenenti sostanze diverse [▷ figura 5], troviamo valori differenti. Per esempio, un metro cubo di ferro ha una massa di 7800 kg, che è quasi tripla di quella del cubo di alluminio.



◁ Figura 5
A parità di volume, le sostanze che contengono più massa sono più dense.

Ciò significa che la materia è più concentrata in certe sostanze che in altre. Per questo motivo è utile introdurre una grandezza fisica che dipende sia dalla massa sia dal volume che occupa una sostanza. Questa nuova grandezza si chiama *densità*.

METODO
La definizione assegna un significato a una nuova parola (in questo caso *densità*) utilizzando altre parole di cui si conosce il significato.

La **densità** di una sostanza è il rapporto tra la massa e il volume che occupa.

$$\text{densità} = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

Quando viene definita una grandezza fisica derivata, risulta definita anche la sua unità di misura. Poiché la densità è un rapporto, anche la sua unità di misura sarà un rapporto:

$$\text{unità di misura della densità} = \frac{\text{unità di misura di massa}}{\text{unità di misura di volume}}$$

Nel SI la densità si misura in kg/m^3 (si legge «kilogrammo al metro cubo»). Indichiamo la densità con la lettera d.

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

densità $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$ — massa (kg) — volume (m^3)

RICHIAMO
Nel rapporto fra due grandezze si fa il rapporto tra i valori e quello tra le unità di misura.

ESEMPIO 1 Se un oggetto ha la massa di 54 kg e occupa un volume di 0,02 m^3, la sua densità vale:

$$d = \frac{54\ kg}{0{,}02\ m^3} = (54/0{,}02) \times (kg/m^3) = 2700\ kg/m^3$$

La densità è una caratteristica intrinseca delle sostanze omogenee, cioè una caratteristica che dipende dalla particolare sostanza di cui è fatto un oggetto. Un filo di rame ha la stessa densità di una grondaia di rame: il filo ha una piccola massa e un piccolo volume, la grondaia ha una massa più grande e occupa un volume più grande; però il rapporto fra massa e volume è lo stesso sia per il filo sia per la grondaia ed è lo stesso per tutti gli oggetti di rame.

Densità di solidi, liquidi e gas

Nella ▷ tabella 2 sono riportate le densità di alcune sostanze solide, liquide e gassose. In genere i solidi sono più densi dei liquidi, che a loro volta sono più densi dei gas. Il solido più denso esistente in natura è l'osmio: 1 m^3 di osmio ha una massa di 22 500 kg. Il liquido più denso è il mercurio: 1 m^3 di mercurio ha una massa di 13 600 kg.

Poiché le sostanze gassose si comprimono e si espandono molto al variare della temperatura e della pressione, la loro densità dipende da queste due grandezze. La densità dei gas riportati in tabella è alla temperatura di 0 °C e alla pressione di 1 atmosfera.

Tabella 2 Densità di alcune sostanze

Solidi	Densità (kg/m^3)	Liquidi	Densità (kg/m^3)	Gas	Densità (kg/m^3)
oro	19 300	acqua	1000	aria	1,29
piombo	11 400	benzina	720	ossigeno	1,43
argento	10 500	olio d'oliva	920	ozono	2,22
rame	8900	petrolio	790	metano	0,72
ferro	7800	glicerina	1260	idrogeno	0,09
alluminio	2700	mercurio	13 600	elio	0,178

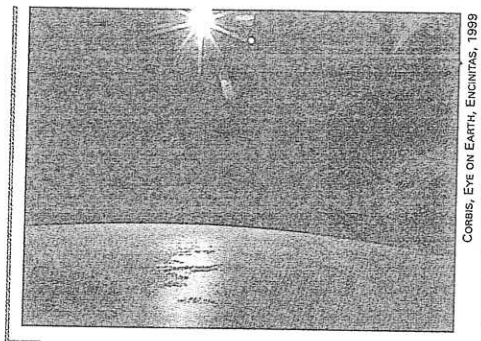
Unità 1 ▪ Lezione 4

La notazione scientifica e l'arrotondamento di un numero

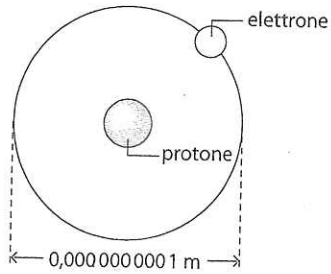
La notazione scientifica

In fisica abbiamo spesso a che fare con numeri molto grandi o molto piccoli [▷ figura 1]. Per esempio, la distanza Terra-Sole è circa 149 miliardi di metri (149 000 000 000 m), il diametro dell'atomo di idrogeno è circa un decimiliardesimo di metri (0,000 000 000 1 m).

▷ **Figura 1**
Numeri molto grandi e molto piccoli in fisica.



a La distanza Terra-Sole è 149 miliardi di metri.



b Il diametro dell'atomo di idrogeno è un decimiliardesimo di metro.

Sia i numeri grandi sia quelli piccoli sono scomodi da leggere e ancora più scomodi se dobbiamo fare dei calcoli. Perciò si preferisce scriverli utilizzando la **notazione scientifica** (o notazione esponenziale).

Nella **notazione scientifica**, un numero è scritto come prodotto tra un altro numero, maggiore o uguale a 1 e minore di 10, e una potenza di 10.

MATEMATICA
La scrittura $1 \leq a < 10$ significa che il valore di a è maggiore o uguale a 1, ma minore di 10.

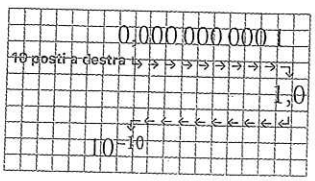
In altri termini, ogni numero viene scritto nella forma:

$$a \times 10^n$$

dove n rappresenta un esponente positivo o negativo e a soddisfa alla doppia disuguaglianza:

$$1 \leq a < 10$$

ESEMPIO 1 I numeri $5{,}97 \times 10^{24}$ e $1{,}0 \times 10^{-14}$ sono scritti in notazione scientifica. Non è scritto in notazione scientifica il numero $66{,}7 \times 10^{10}$, perché 66,7 è maggiore di 1 ma non è minore di 10. Neanche il numero $3{,}5 \times 4^3$ è scritto in notazione scientifica perché 4^3 non è una potenza di 10.



△ **Figura 2**
Spostare la virgola a destra di 10 posti significa moltiplicare per 10^{10}. Moltiplicando 1,0 per 10^{-10} si ottiene il numero 0,000 000 000 1.

Come si scrive 0,000 000 000 1 in notazione scientifica?
Il numero deve essere scritto nella forma $a \times 10^n$; quindi bisogna trovare il valore di a e di n.

Per trovare a, mettiamo la virgola dopo la prima cifra diversa da zero e scriviamo 1,0. Così facendo abbiamo spostato la virgola di 10 posti a destra, cioè abbiamo moltiplicato per 10^{10}.

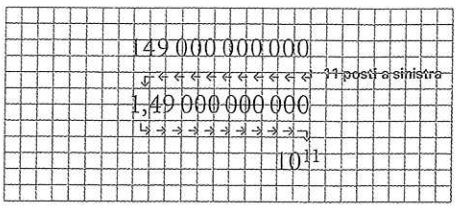
Per riottenere il numero di partenza dobbiamo moltiplicare per 10^{-10}; quindi l'esponente n è uguale a -10 [▷ figura 2].

Possiamo scrivere:

$$0{,}000\,000\,000\,1 = 1{,}0 \times 10^{-10}$$

Come si scrive 149 000 000 000 in notazione scientifica?
Anche in questo caso il numero deve essere del tipo $a \times 10^n$. Per trovare a, mettiamo la virgola dopo la prima cifra e scriviamo 1,490 000 000 00. In pratica abbiamo moltiplicato il numero per 10^{-11}. Per riottenere il numero di partenza dobbiamo moltiplicare per 10^{11}; quindi l'esponente n è uguale a 11 [▷ figura 3].

$$149\,000\,000\,000 = 1{,}49 \times 10^{11}$$



◁ **Figura 3**
Spostare la virgola a sinistra di 11 posti significa moltiplicare per 10^{-11}. Moltiplicando 1,49 per 10^{11} si ottiene il numero 149 000 000 000.

Operazioni con notazioni scientifiche

Vediamo, ora, come fare le varie operazioni con grandezze scritte in notazione scientifica.

Moltiplicazione e divisione

Per moltiplicare $(4{,}2 \times 10^5\ \text{m})$ e $(2{,}5 \times 10^3\ \text{m})$, bisogna moltiplicare fra loro i numeri, le potenze e le unità di misura:

$$(4{,}2 \times 10^5\ \text{m}) \times (2{,}5 \times 10^3\ \text{m}) = (4{,}2 \times 2{,}5) \times (10^5 \times 10^3) \times (\text{m} \times \text{m}) = 10{,}5 \times 10^8\ \text{m}^2$$

Si segue lo stesso procedimento per la divisione:

$$\frac{9{,}0 \times 10^5\ \text{m}}{1{,}8 \times 10^3\ \text{m}} = \left(\frac{9{,}0}{1{,}8}\right) \times \left(\frac{10^5}{10^3}\right) \times \left(\frac{\text{m}}{\text{m}}\right) = 5{,}0 \times 10^2$$

Addizione e sottrazione

Sommiamo $7{,}0 \times 10^4$ m e $2{,}0 \times 10^4$ m. Poiché le potenze sono uguali, si raccoglie a fattore comune la potenza seguita dall'unità di misura:

$$7{,}0 \times 10^4\ \text{m} + 2{,}0 \times 10^4\ \text{m} = (7{,}0 + 2{,}0) \times 10^4\ \text{m} = 9{,}0 \times 10^4\ \text{m}$$

Lo stesso metodo si utilizza per la sottrazione:

$$6{,}5 \times 10^4\ \text{m} - 4{,}3 \times 10^4\ \text{m} = (6{,}5 - 4{,}3) \times 10^4\ \text{m} = 2{,}2 \times 10^4\ \text{m}$$

Se le potenze *non* sono uguali, non si può fare subito né la somma né la sottrazione. Prima di effettuare l'operazione, bisogna trasformare una delle due grandezze in modo che le potenze siano identiche, come negli esempi che seguono.

$$5{,}0 \times 10^3\ \text{m} + 2{,}0 \times 10^4\ \text{m} = 5{,}0 \times 10^3\ \text{m} + 20 \times 10^3\ \text{m} = 25 \times 10^3\ \text{m} = 2{,}5 \times 10^4\ \text{m}$$

$$71 \times 10^5\ \text{kg} - 4{,}0 \times 10^6\ \text{kg} = 7{,}1 \times 10^6\ \text{kg} - 4{,}0 \times 10^6\ \text{kg} = 3{,}1 \times 10^6\ \text{kg}$$

Elevamento a potenza

Per elevare a potenza il valore di una grandezza, si eleva allo stesso esponente il numero, la potenza di 10 e l'unità di misura. Calcoliamo il quadrato di $5{,}0 \times 10^3$ s.

$$(5{,}0 \times 10^3\ \text{s})^2 = (5{,}0)^2 \times (10^3)^2 \times (\text{s})^2 = 25 \times 10^6\ \text{s}^2 = 2{,}5 \times 10^7\ \text{s}^2$$

Radice quadrata

Per estrarre la radice quadrata di una grandezza, si estrae la radice quadrata di ogni elemento della grandezza. Estraiamo la radice quadrata di $9{,}0 \times 10^4\ \text{m}^2$.

$$\sqrt{(9{,}0 \times 10^4\ \text{m}^2)} = (\sqrt{9{,}0}) \times (\sqrt{10^4}) \times (\sqrt{\text{m}^2}) = 3{,}0 \times 10^2\ \text{m}$$

MATEMATICA
○ Radice quadrata ed elevamento al quadrato sono operazioni inverse.

$$\sqrt{m^2} = m$$
$$\sqrt{3^2} = 3$$

L'arrotondamento di un numero decimale

Molto spesso capita di dover arrotondare dei numeri. Facciamo degli esempi e poi diamo la regola per gli arrotondamenti.

- Arrotondiamo il numero 3,74621 a tre cifre decimali.
  Per arrotondare a *tre* decimali, si guarda la *quarta* cifra, in questo caso il 2. Poiché 2 è minore di 5 si scrive il numero eliminando le cifre che seguono la terza. Il numero arrotondato è 3,746.
- Arrotondiamo il numero 2,4187 a 2 decimali.
  Si guarda sempre la cifra *successiva* a quella da arrotondare, in questo caso 8. Poiché 8 è maggiore di 5, la cifra 8 viene eliminata assieme a quelle che la seguono e quella che la precede viene aumentata di 1. Il numero arrotondato a due decimali è 2,42.
- Arrotondiamo il numero 6,35 a 1 decimale.
  Si guarda la seconda cifra decimale, cioè il 5. Per arrotondare, si elimina il 5 aumentando di 1 la cifra che lo precede: in tal caso il numero arrotondato è 6,4.

Per arrotondare un numero a n decimali si guarda la cifra **successiva** alla n-esima:
se essa è minore di 5, la cifra viene eliminata assieme a quelle che la seguono e la precedente rimane identica;
se è maggiore o uguale a 5, la cifra viene eliminata e la precedente si aumenta di 1.

Naturalmente, possiamo applicare la regola ogni volta che dobbiamo arrotondare il valore di una grandezza fisica.

L'ordine di grandezza

Consideriamo i due numeri 3000 e 7500. Entrambi sono maggiori di 1000 e minori di 10 000, però il primo è più vicino a 1000, cioè a 10^3, il secondo è più vicino a 10 000, cioè a 10^4. Diciamo che l'*ordine di grandezza* di 3000 è 10^3, l'ordine di grandezza di 7000 è 10^4.

L'ordine di grandezza di un numero è la potenza di 10 più vicina al numero stesso.

Tabella 1

	lunghezza (m)
universo osservabile	10^{26}
diametro della Via Lattea	10^{21}
distanza di Proxima Centauri	10^{17}
diametro del sistema solare	10^{13}
diametro terrestre	10^{7}
monte Everest	10^{4}
sequoia	10^{2}
uomo	1
paramecio	10^{-2}
batterio	10^{-6}
atomo	10^{-10}
nucleo atomico	10^{-15}

In pratica, l'ordine di grandezza di un numero è la potenza di 10 che meglio approssima il numero. Possiamo valutare anche l'ordine di grandezza di una misura, con l'avvertenza di riportare accanto alla potenza di 10 anche l'unità di misura della grandezza.

Per esempio, la distanza Milano-Napoli è circa 800 km. Questa distanza è maggiore di 10^2 km e minore di 10^3 km, ma è più vicina a 10^3 km, perciò l'ordine di grandezza è 10^3 km. La stessa distanza, espressa in metri, ha un ordine di grandezza di 10^6 m. Nella ▷ tabella 1 sono illustrati alcuni ordini di grandezze di varie lunghezze, in metri.

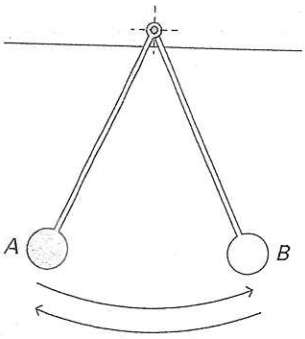
Perché è utile l'ordine di grandezza?

- Permette di fare velocemente dei confronti. Per esempio, sappiamo che la lunghezza di un'aula è 8,2 m, quella di tutto l'edificio è 65 m. Possiamo dire che la lunghezza dell'edificio è un ordine di grandezza superiore a quello dell'aula.
- Permette di valutare velocemente il risultato di un calcolo. Supponiamo di dover fare il seguente prodotto: 1550×345. I due fattori hanno, rispettivamente, ordini di grandezza 10^3 e 10^2. Il prodotto avrà come ordine di grandezza 10^{3+2}. Se utilizzando la calcolatrice sbagliamo tasto e viene un risultato con ordine di grandezza diverso da 10^5, possiamo accorgerci dell'errore.

Unità 1 ▪ Lezione 5

L'incertezza di una misura

LABORATORIO | La misura diretta del periodo di un pendolo



△ Figura 1
Un pendolo.

Errori nelle misure

Un pendolo oscilla fra due punti A e B [▷ figura 1]. Vogliamo misurare il tempo che impiega per fare un'oscillazione completa (andata e ritorno) mediante un cronometro. Facciamo partire il cronometro quando il pendolo è nel punto A e lo fermiamo quando ritorna in A.

La misura fatta in questo modo è piuttosto grossolana, perché è difficile avviare il cronometro nell'istante preciso in cui il pendolo inizia la sua oscillazione ed è difficile fermare il cronometro quando il pendolo ritorna esattamente nel punto A. Per diminuire gli errori di sincronizzazione potremmo misurare il tempo di 10 oscillazioni e poi dividere il valore trovato per 10. In questo modo diminuiamo l'errore ma non siamo sicuri che non ci siano altri errori; per esempio chi ci assicura che le oscillazioni sono tutte identiche?

Ogni volta che si effettua una misura si introducono diversi tipi di errori e quindi il valore che otteniamo è da considerarsi *incerto*. In ogni misura ci possono essere due tipi di errori.

- Gli **errori accidentali** sono dovuti al caso. Nell'esempio del pendolo, la misura potrebbe essere falsata da una corrente d'aria che fa aumentare o diminuire il tempo di un'oscillazione. Questo tipo di errore è imprevedibile e può essere per *eccesso* o per *difetto*.
- Gli **errori sistematici** sono quelli che si ripetono sempre allo stesso modo, sempre per difetto o sempre per eccesso. Per esempio, un righello di plastica, che è stato esposto al calore e si è dilatato, fornisce sempre una misura sbagliata per difetto. Invece, un cronometro che «va avanti di 1 s», misura il tempo sbagliando per eccesso.

▽ Figura 2
Incertezza di due strumenti.

Il risultato di una misura

Poiché nel misurare una grandezza si possono commettere diversi errori, non ha senso cercare il valore esatto della grandezza. Nel comunicare il risultato della misura è necessario associarle anche un errore.

Nei casi più semplici, si può assumere come errore l'**incertezza** dello strumento, cioè il valore più piccolo che lo strumento permette di leggere. Per esempio, se misuriamo un intervallo di tempo con un cronometro al secondo, l'incertezza su ogni misura è 1 s, mentre se il cronometro è al decimo di secondo, l'incertezza è 0,1 s. Una lunghezza misurata con un righello su cui si leggono i millimetri ha un'incertezza di 1 mm [▷ figura 2]; una massa misurata con una bilancia su cui si possono leggere anche i grammi ha un'incertezza di 1 g.

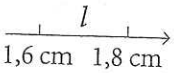
Per esprimere la misura, mettendo in evidenza anche l'errore, scriviamo il valore trovato seguito dal simbolo ± e dall'incertezza. Facciamo riferimento al righello:

$$\text{lunghezza} = 1{,}7\ \text{cm} \pm 0{,}1\ \text{cm}$$

Il numero che sta dopo il simbolo ± rappresenta l'incertezza sulla misura, detto anche **errore assoluto**. In questo caso il valore della grandezza misurata è compreso fra 1,7 cm − 0,1 cm e 1,7 cm + 0,1 cm, cioè fra 1,6 cm e 1,8 cm.

Di seguito sono riportati diversi modi *equivalenti* per scrivere il risultato della misura con l'errore:

$l = 1{,}7\ \text{cm} \pm 0{,}1\ \text{cm}$ $\quad l = (1{,}7 \pm 0{,}1)\ \text{cm}$ $\quad 1{,}6\ \text{cm} < l < 1{,}8\ \text{cm}$



METODO
Poiché l'errore assoluto si può sommare o sottrarre alla grandezza, deve avere la stessa unità di misura.

Il valore medio e l'errore assoluto

Spesso, quando si ripete la misura di una grandezza, si ottengono valori diversi. È allora ragionevole assumere come risultato il valore medio delle varie misure, cioè il rapporto fra la somma delle misure e il numero delle misure:

$$\text{valore medio} = \frac{\text{somma delle misure}}{\text{numero delle misure}}$$

Se la grandezza è stata misurata poche volte, si assume come errore assoluto la semi-differenza fra il valore massimo e il valore minimo ottenuti:

$$\text{errore assoluto} = \frac{\text{valore massimo} - \text{valore minimo}}{2}$$

ESEMPIO 1 Misurando quattro volte la massa di un monitor abbiamo ottenuto:

$$m_1 = 4{,}00\ \text{kg};\ m_2 = 4{,}02\ \text{kg};\ m_3 = 4{,}05\ \text{kg};\ m_4 = 3{,}97\ \text{kg}$$

La massa media è $m_{\text{media}} = \dfrac{(4{,}00 + 4{,}02 + 4{,}05 + 3{,}97)\ \text{kg}}{4} = 4{,}01\ \text{kg}$

L'errore assoluto è:

$$\text{errore assoluto} = \frac{(4{,}05\ \text{kg} - 3{,}97\ \text{kg})}{2} = 0{,}04\ \text{kg}$$

L'errore relativo e l'errore percentuale

La conoscenza dell'errore assoluto su una misura non dà informazioni sul grado di *precisione* con cui è stata effettuata. Per esempio, un errore di 20 s è piccolo se è stato commesso nella misura della durata di un'ora di lezione, mentre potrebbe essere grande se fatto nella misura del tempo impiegato da un'automobile a spostarsi tra due semafori distanti 50 m. L'errore assoluto di 1 metro è grande se è stato commesso nel misurare l'altezza di un edificio, ma è piccolo nella misura della distanza tra Roma e Bologna.

Per stabilire se una misura è più o meno precisa si calcolano altri due tipi di errore: l'*errore relativo* e l'*errore percentuale*.

L'**errore relativo** è il rapporto fra l'errore assoluto e il valore medio.

$$\text{errore relativo} = \frac{\text{errore assoluto}}{\text{valore medio}}$$

L'**errore percentuale** è uguale all'errore relativo moltiplicato per 100 ed espresso in %.

$$\text{errore percentuale} = (\text{errore relativo} \times 100)\%$$

ESEMPIO 2 L'errore relativo sulla massa del monitor dell'esempio 1 è:

$$\text{errore relativo} = \frac{0{,}04\ \text{kg}}{4{,}01\ \text{kg}} = 0{,}01$$

L'errore percentuale è:

$$\text{errore percentuale} = (0{,}01 \times 100)\% = 1\%$$

cioè, nel misurare la massa del monitor, abbiamo sbagliato di 1 parte su 100 parti.

METODO
L'errore relativo non ha unità di misura, perché rapporto fra due grandezze omogenee.

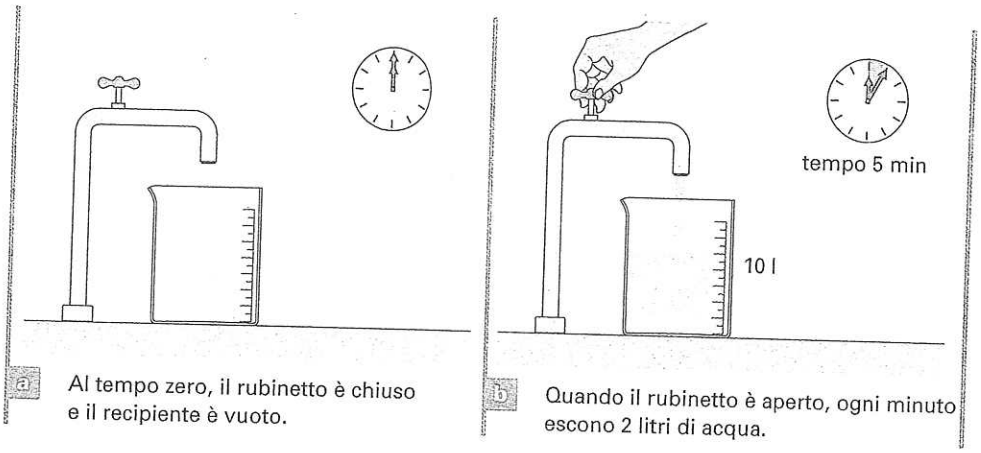
Unità 2 ▪ Lezione 1

Le rappresentazioni di un fenomeno e i grafici

La rappresentazione mediante una tabella

Consideriamo un rubinetto dal quale può uscire un flusso di acqua costante nel tempo, per esempio 2 litri di acqua al minuto. Sotto il rubinetto è posto un recipiente inizialmente vuoto [▷ figura 1*a*]. La quantità d'acqua che si raccoglie nel recipiente dipende dall'intervallo di tempo trascorso. Perciò diciamo che la quantità d'acqua è la *variabile dipendente* e il tempo trascorso è la *variabile indipendente*.

▷ Figura 1
Quantità di acqua e tempo.



a Al tempo zero, il rubinetto è chiuso e il recipiente è vuoto.

b Quando il rubinetto è aperto, ogni minuto escono 2 litri di acqua.

Poiché il flusso dell'acqua non cambia, dopo 2 minuti nel recipiente ci sono 4 litri, dopo 3 minuti 6 litri e così via [▷ figura 1*b*]. Rappresentiamo il fenomeno con la ▷ tabella 1.

Tabella 1

Tempo (min)	0	1	2	3	4	5	...
Quantità (litri)	0	2	4	6	8	10	...

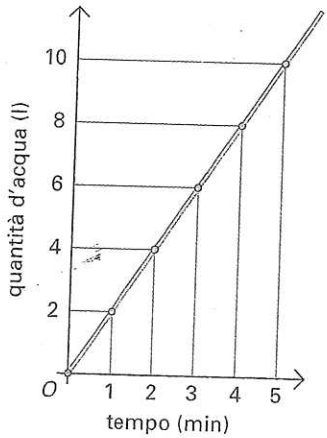
La rappresentazione mediante una formula

Nella ▷ tabella 1 c'è una regolarità: ogni quantità di acqua si ottiene moltiplicando per 2 il tempo corrispondente. Se indichiamo con q la quantità di acqua che c'è nel recipiente al tempo generico t, possiamo descrivere il fenomeno con la formula:

$$q = 2 \cdot t$$

dove 2 è espresso in litri al minuto.

Qual è il significato di questa formula? Essa permette di calcolare la quantità d'acqua presente nel recipiente in un istante generico t. La formula traduce nel linguaggio formale della matematica un fenomeno fisico che si svolge nel tempo, stabilendo un legame fra q misurato in litri e t misurato in minuti.



△ Figura 2
Ogni punto della tabella rappresenta una coppia di valori.

La rappresentazione mediante un grafico

Per rappresentare il fenomeno possiamo usare anche un grafico. Riportiamo sull'asse orizzontale il tempo (variabile indipendente) e su quello verticale la quantità di acqua

(variabile dipendente). Per ogni coppia di elementi che si corrispondono nella ▷ tabella 1 disegniamo un punto nel piano, come nella ▷ figura 2. Poiché sappiamo che il flusso di acqua è costante, possiamo unire i punti con una linea continua.

Dalla tabella al grafico

I grafici sono molto utili perché permettono di visualizzare la relazione tra due grandezze fisiche. Per costruire un grafico possiamo partire da una tabella di dati o da una formula.

Supponiamo di disporre della ▷ tabella 2, relativa alla velocità di un'automobile. Per costruire il grafico si procede in questo modo:

- Si disegnano due rette perpendicolari, una orizzontale (*asse delle ascisse*) e l'altra verticale (*asse delle ordinate*) [▷ figura 3*a*]: le due rette individuano il *piano cartesiano*.
- Vicino a ogni asse si scrive il nome di una grandezza e la rispettiva unità di misura.
- Si stabilisce il *verso di percorrenza* su ciascun asse, cioè il verso secondo il quale la grandezza rappresentata aumenta.
- Si stabiliscono le opportune *scale* sui due assi, per adattare alle dimensioni del grafico i valori della tabella. Nella ▷ figura 3*b*, a 1 cm sull'asse orizzontale corrisponde 0,1 h, a 1 cm su quello verticale corrisponde 40 km/h. Pertanto le scale sono:

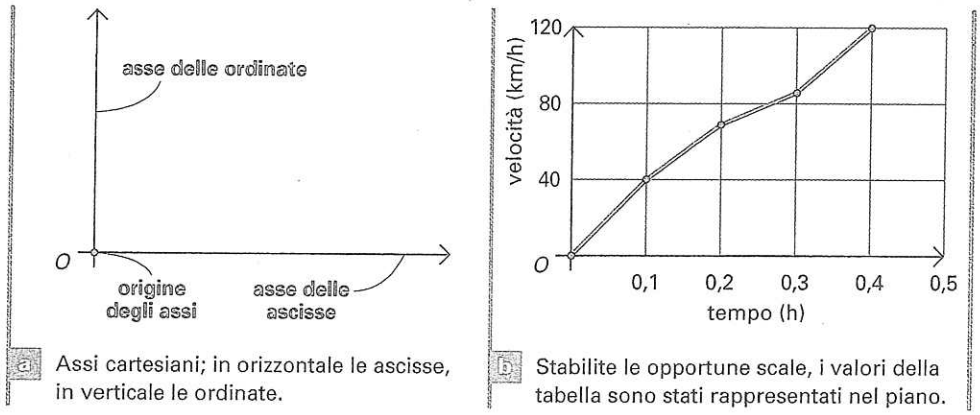
scala orizzontale: 1 cm → 0,1 h
scala verticale: 1 cm → 40 km/h

- Si riportano i valori numerici della tabella nel piano cartesiano, ogni coppia di valori della tabella individua un punto nel piano.
- Se sappiamo che le due grandezze variano con continuità, possiamo unire i punti con una linea continua.

Tabella 2

Tempo (h)	Velocità (km/h)
0	0
0,1	40
0,2	70
0,3	85
0,4	120

METODO
Le due scale devono essere scelte tenendo presente i valori più grandi presenti in tabella. La scala lungo l'asse orizzontale non dipende dalla scala lungo l'asse verticale.



a Assi cartesiani; in orizzontale le ascisse, in verticale le ordinate.

b Stabilite le opportune scale, i valori della tabella sono stati rappresentati nel piano.

◁ **Figura 3**
Grafico cartesiano.

Dalla formula al grafico

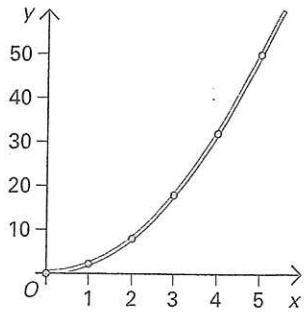
Costruiamo ora il grafico relativo alla funzione $y = 2x^2$. La formula permette di costruire una tabella, assegnando alla variabile x dei valori e calcolando i corrispondenti valori della y [▷ tabella 3].

Tabella 3

x	0	1	2	3	4	5
y	$2 \cdot 0^2 = 0$	$2 \cdot 1^2 = 2$	$2 \cdot 2^2 = 8$	$2 \cdot 3^2 = 18$	$2 \cdot 4^2 = 32$	$2 \cdot 5^2 = 50$

Disegniamo i due assi cartesiani x e y. In questo caso sugli assi non mettiamo unità di misura perché non sappiamo di quali grandezze si tratta.

Per ogni coppia di numeri della tabella, riportiamo un punto sul piano. Uniamo tutti i punti con una linea continua e otteniamo il grafico [▷ figura 4].



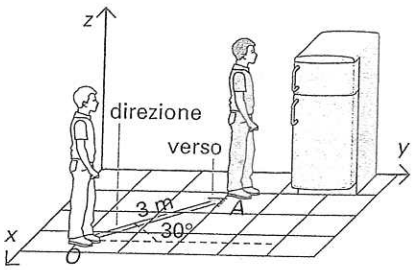
△ **Figura 4**
Grafico della funzione $y = 2x^2$.

Unità 3 ▪ Lezione 1

Gli spostamenti e le forze

ANIMAZIONE | Che cos'è un vettore

Gli spostamenti e la loro somma



△ **Figura 1**
La posizione finale dipende da direzione, verso e lunghezza dello spostamento.

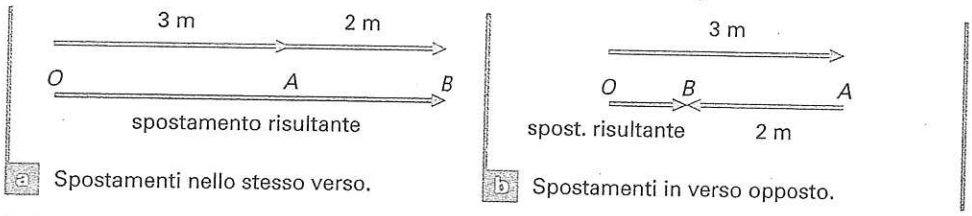
Un ragazzo, ▷ figura 1, si sposta di 3 metri verso il frigorifero, lungo la retta che forma un angolo di 30° con l'asse delle y.

La sua posizione finale è individuata dal *segmento orientato* che parte da O e termina in A che indichiamo con il simbolo $\overrightarrow{OA}$, oppure con una lettera minuscola, per esempio s, sormontata da una freccia: $\vec{s}$.

Supponiamo ora che il ragazzo si muova [▷ figura 2*a*] di 3 metri ($\overrightarrow{OA}$) e poi di 2 metri ($\overrightarrow{AB}$) lungo una retta nello stesso verso; lo spostamento totale $\overrightarrow{OB}$, detto **spostamento risultante**, è di 5 metri.

Se invece si sposta di 3 metri ($\overrightarrow{OA}$) e poi torna indietro di 2 metri ($\overrightarrow{AB}$), come nella ▷ figura 2*b*, alla fine lo spostamento risultante $\overrightarrow{OB}$ è lungo 1 metro.

▷ **Figura 2**
Spostamenti successivi su una retta.



a Spostamenti nello stesso verso.

b Spostamenti in verso opposto.

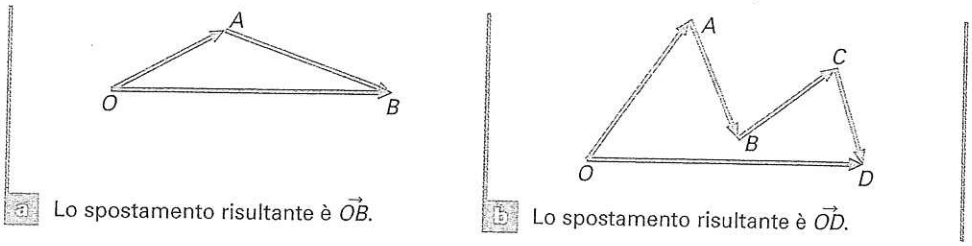
Due spostamenti successivi sulla stessa retta si sommano se hanno lo stesso verso, si sottraggono se hanno versi opposti.

I due spostamenti $\overrightarrow{OA}$ e $\overrightarrow{AB}$ della ▷ figura 3*a* sono consecutivi, ma hanno direzioni diverse. Lo spostamento risultante è dato dal segmento orientato $\overrightarrow{OB}$.

Abbiamo disegnato lo spostamento risultante unendo con un segmento orientato la coda del primo spostamento con la punta del secondo. Questo metodo che permette di trovare la somma di due spostamenti si chiama **metodo punta-coda**.

Il metodo punta-coda si applica anche se gli spostamenti da sommare sono più di due [▷ figura 3*b*]: si unisce la coda del primo spostamento con la punta dell'ultimo.

▷ **Figura 3**
Somma di due o più spostamenti.



a Lo spostamento risultante è $\overrightarrow{OB}$.

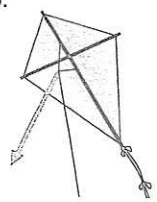
b Lo spostamento risultante è $\overrightarrow{OD}$.

Le grandezze che si comportano come gli spostamenti si chiamano **grandezze vettoriali** o *vettori*.

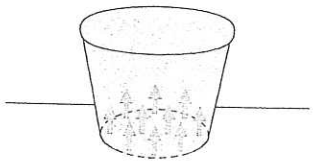
Le grandezze caratterizzate solo da un numero seguito da un'unità di misura si chiamano **grandezze scalari** o *scalari*.

▽ **Figura 4**
Forze localizzate e forze ripartite.

a Forza localizzata in un punto.



b Forza ripartita alla base del vaso.



Le caratteristiche delle forze

Un ragazzo che trattiene l'aquilone con un filo [▷ figura 4*a*] esercita una forza concentrata su una superficie molto più piccola di quella della superficie dell'aquilone; diciamo che l'azione della forza è *localizzata* in un punto.

Un vaso è poggiato a terra [▷ figura 4*b*]. Il pavimento esercita un'azione distribuita su tutta la base del vaso. In questo caso l'azione della forza è *ripartita* su una superficie.

Negli esempi appena visti c'è un *contatto* tra il corpo che esercita la forza e il corpo

che la subisce; in entrambi i casi si tratta di **forze di contatto**.

Esistono anche **forze a distanza**, che fanno sentire la loro influenza senza un contatto fra corpi. Per esempio, quando una calamita attira una biglia di ferro, non c'è contatto fra i due oggetti, eppure viene esercitata una forza a distanza.

La forza-peso

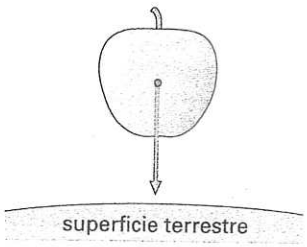
Un'altra azione a distanza è quella che la Terra esercita su tutti i corpi, si chiama *forza di gravità* o *forza-peso*. Essa è la somma delle forze esercitate sulle singole particelle materiali che costituiscono un corpo, quindi è una forza ripartita.

Per semplificare possiamo supporre che l'azione della Terra sia *puntuale* e, quindi, trattare la forza-peso come una forza unica applicata in un punto, detto **baricentro** [> figura 5].

Le caratteristiche della forza-peso sono le seguenti:

- agisce lungo la verticale del luogo in cui si trova il corpo;
- è diretta verso il basso, come il filo a piombo;
- è distribuita su tutto il corpo, ma la si può considerare applicata in un punto.

7 Figura 5
Possiamo considerare il peso della mela applicato in un punto detto *baricentro*.



L'unità di misura delle forze

Nel SI la forza è una grandezza *derivata*; l'unità di misura è il **newton** (simbolo N).

La Terra esercita una forza attrattiva di circa 9,8 N su un oggetto di massa 1 kg, che si trova a livello del mare e alla nostra latitudine.

D'ora in poi utilizzeremo la seguente corrispondenza fra massa e peso:

$$1\ \text{kg} \rightarrow 9{,}8\ \text{N}$$

che significa «alla massa di un kilogrammo corrisponde un peso di 9,8 N».

ESEMPIO 1 Se la massa di una persona è 70 kg, il suo peso è:

$$P = (70 \times 9{,}8)\ \text{N} = 686\ \text{N}$$

METODO
Se la massa di 1 kg corrisponde al peso di 9,8 N, 2 kg corrisponderanno a $2 \times 9{,}8$ N e così via. Massa e peso sono direttamente proporzionali.

Gli effetti e la rappresentazione delle forze

Possiamo osservare gli effetti delle forze quando queste sono applicate agli oggetti.

Quando un portiere blocca il pallone con le mani, ne diminuisce la velocità fino a fermarlo. Se invece respinge il pallone con la testa, la forza che egli esercita modifica la traiettoria del pallone. Nei due esempi la forza *modifica* la velocità del pallone.

La forza di un arciere che tende l'arco *deforma* il corpo a cui è applicata.

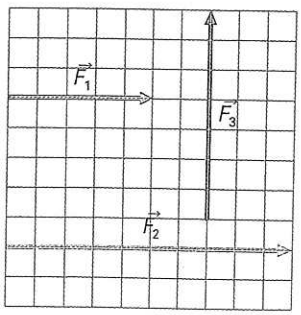
È più facile spezzare un listello di legno piuttosto che uno di ferro delle stesse dimensioni. Perché le particelle di cui sono composti i due materiali sono tenute insieme da forze di diversa intensità. Le forze che tengono unite le particelle di ferro sono molto più grandi di quelle che tengono unite le particelle di legno.

Le forze provocano cambiamenti di velocità e deformazioni degli oggetti; esse sono anche responsabili della struttura interna dei corpi.

Nelle figure precedenti abbiamo rappresentato le forze con dei segmenti orientati, come gli spostamenti. Questa rappresentazione è corretta perché le forze sono dei vettori.

- La lunghezza del segmento orientato è proporzionale all'*intensità della forza*.
- La retta su cui giace il segmento è detta *retta d'azione* della forza.
- La punta della freccia rappresenta il *verso* della forza.

Nella > figura 6 sono rappresentate alcune forze di diversa intensità e diversa retta d'azione: $F_1 = 5$ N, $F_2 = 10$ N, $F_3 = 7$ N. La rappresentazione è in scala. Le due forze $\vec{F_1}$ e $\vec{F_2}$ hanno la stessa direzione, perciò sono *parallele*.

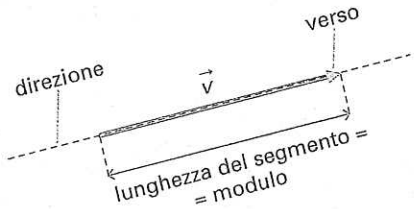


△ Figura 6
Le forze sono rappresentate con dei segmenti orientati.

I vettori

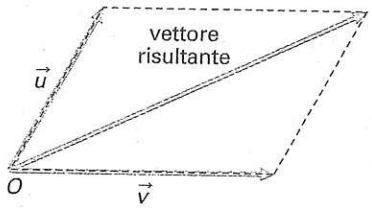
Le caratteristiche di un vettore

Un vettore è un ente matematico che viene rappresentato graficamente con un segmento orientato, come lo spostamento. La lunghezza del segmento indica l'*intensità* (o *modulo*) del vettore, la *direzione* è data dalla retta su cui giace il segmento, la freccia indica il *verso* del vettore. Un vettore viene indicato con una lettera sormontata da una freccia, per esempio $\vec{v}, \vec{a}, \vec{F}$. Se invece vogliamo indicare il modulo del vettore scriviamo la lettera senza la freccia.



Somma di due vettori

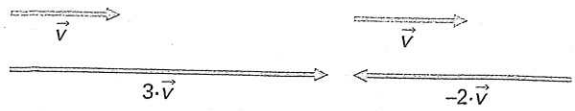
I vettori si sommano come gli spostamenti; in particolare, se due vettori hanno la stessa direzione si sommano come i numeri relativi. Per sommare due vettori che hanno direzioni diverse, invece, utilizzeremo gli stessi metodi usati per gli spostamenti, cioè il metodo punta-coda o la regola del parallelogramma.



Prodotto e quoziente di un vettore per un numero

Il prodotto di un numero positivo per un vettore $\vec{v}$ dà origine a un nuovo vettore che ha la stessa direzione e lo stesso verso di $\vec{v}$; il modulo del nuovo vettore, invece, dipende dal valore del numero.

Se moltiplichiamo un vettore $\vec{v}$ per un numero negativo, il nuovo vettore ha la stessa direzione del vettore di partenza ma verso opposto.



Il vettore $\vec{v}$ è stato moltiplicato per un numero positivo.

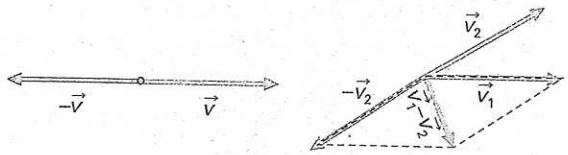
Il vettore $\vec{v}$ è stato moltiplicato per un numero negativo.

Considerazioni analoghe si possono fare sulla *divisione* di un vettore per un numero.

Differenza fra due vettori

Dato un vettore $\vec{v}$, il vettore $-\vec{v}$ si chiama **opposto** di $\vec{v}$. La differenza tra due vettori, $\vec{v}_1 - \vec{v}_2$, può essere scritta come somma tra due vettori: $\vec{v}_1 + (-\vec{v}_2)$.

Fare la differenza tra due vettori significa sommare al primo vettore l'opposto del secondo.



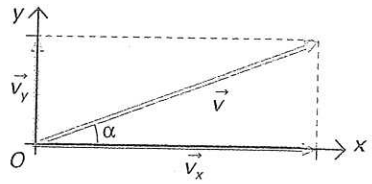
I vettori $\vec{v}$ e $-\vec{v}$ sono opposti (hanno la stessa direzione, la stessa intensità ma verso opposto).

La differenza tra due vettori si trova sommando al primo vettore $\vec{v}_1$ l'opposto del secondo $-\vec{v}_2$.

La scomposizione di un vettore

Consideriamo un vettore $\vec{v}$ che forma un angolo α con l'asse x. Se dalla punta del vettore $\vec{v}$ si mandano le perpendicolari ai due assi cartesiani, si ottengono altri due vettori, $\vec{v}_x$ e $\vec{v}_y$ tali che

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y$$

Poiché $\vec{v}$ è l'ipotenusa di un triangolo rettangolo, di cui $\vec{v}_x$ e $\vec{v}_y$ sono i cateti, i moduli dei tre vettori soddisfano all'uguaglianza:

$$v^2 = (v_x)^2 + (v_y)^2$$