CAPITOLO 1

LE GRANDEZZE E IL MOTO

Richiami di cinematica

Brian A Jackson/Shutterstock

1 UNITÀ DI MISURA

«Misurare» vuol dire attribuire un valore numerico a ciascuna grandezza fisica che compare nel fenomeno studiato. Il valore numerico dipende dall'unità di misura scelta e, quando viene scritto, deve essere sempre seguito dal simbolo di tale unità. Quando si parla il linguaggio della fisica bisogna dire «la moto andava a 120 km/h» e non «la moto andava a 120».

Nel Sistema Internazionale tutte le unità di misura sono espresse mediante le unità fondamentali elencate nella tabella. Le unità che non compaiono nella tabella sono dette «unità di misura derivate».

Le unità fondamentali del Sistema Internazionale

Nome della grandezza	Unità di misura	Simbolo	Strumento di misura
Lunghezza	metro	m	metro
Intervallo di tempo	secondo	s	cronometro
Massa	kilogrammo	kg	bilancia
Intensità di corrente	ampere	A	amperometro
Temperatura	kelvin	K	termometro
Intensità luminosa	candela	cd	fotometro
Quantità di sostanza	mole	mol	

Ciascuna delle unità fondamentali è definita in modo operativo, dando cioè una procedura che permette di riprodurla con la precisione desiderata. Il secondo e il metro sono definiti nella tabella seguente.

Definizioni operative di secondo e metro

Unità di misura	Definizione
Secondo	Intervallo di tempo impiegato da una particolare onda elettromagnetica, emessa da atomi di cesio, per compiere 9 192 631 770 oscillazioni.
Metro	Distanza percorsa dalla luce, nel vuoto, in un intervallo di tempo pari a 1/299 792 458 di secondo.

2 LA NOTAZIONE SCIENTIFICA

Per lavorare con numeri molto grandi o molto piccoli è utile introdurre la notazione scientifica:

!

la **notazione scientifica** permette di scrivere un numero come il prodotto di due termini: un *coefficiente* (maggiore o uguale di 1 e minore di 10) e una *potenza di 10*.

Alcuni casi possibili:

- $1\,800\,000 = 1{,}8 \times 10^6$.
- $0{,}000\,000\,075 = 7{,}5 \times 10^{-8}$.
- $421 \times 10^3 = (4{,}21 \times 10^2) \times 10^3 = 4{,}21 \times 10^5$.
- $0{,}00598 \times 10^9 = (5{,}98 \times 10^{-3}) \times 10^9 = 5{,}98 \times 10^6$.
- $0{,}000734 \times 10^{-6} = (7{,}34 \times 10^{-4}) \times 10^{-6} = 7{,}34 \times 10^{-10}$.

ESEMPI

1 Sono dati due numeri $a = 5{,}82 \times 10^4$ e $b = 6{,}35 \times 10^7$.

▶ Calcola il prodotto $c = ab$.

Si calcola:

$$c = ab = (5{,}82 \times 10^4)\times(6{,}35 \times 10^7) = (5{,}82 \times 6{,}35)\times(10^4 \times 10^7) =$$
$$= 36{,}957 \times 10^{4+7} = 36{,}957 \times 10^{11} = 3{,}6957 \times 10^{12}.$$

2 Sono dati due numeri $d = 1{,}035 \times 10^{-3}$ e $f = 4{,}14 \times 10^5$.

▶ Calcola il quoziente $g = d/f$.

Si ottiene:

$$g = \frac{d}{f} = \frac{1{,}035 \times 10^{-3}}{4{,}14 \times 10^5} = \frac{1{,}035}{4{,}14} \times \frac{10^{-3}}{10^5} = 0{,}25 \times 10^{-3-5} =$$
$$= 0{,}25 \times 10^{-8} = 2{,}5 \times 10^{-9}.$$

3 Sono dati due numeri $m = 4{,}28 \times 10^7$ e $n = 3{,}911 \times 10^8$.

▶ Calcola la somma $p = m + n$.

Per calcolare la somma conviene scrivere:

$$n = 3{,}911 \times 10^8 = 39{,}11 \times 10^7;$$

così si può ottenere

$$p = m + n = 4{,}28 \times 10^7 + 39{,}11 \times 10^7 = (4{,}28 + 39{,}11) \times 10^7 =$$
$$= 43{,}39 \times 10^7 = 4{,}339 \times 10^8.$$

ESERCIZI

1 Considera i numeri $x_1 = 6{,}3 \times 10^4$ e $8{,}4 \times 10^{-6}$.

► Calcola il loro prodotto.

[$5{,}292 \times 10^{-1} = 0{,}5292$]

2 Sono dati i numeri $y_1 = 5{,}8 \times 10^9$ e $y_2 = 1{,}45 \times 10^{13}$.

► Calcola il loro quoziente y_2/y_1.

[$2{,}5 \times 10^3$]

3 Considera i tre numeri $z_1 = 7{,}1 \times 10^6$, $z_2 = 2{,}46 \times 10^7$ e $z_3 = 8{,}329 \times 10^8$.

► Calcola la loro somma.

[$8{,}646 \times 10^8$]

3 LA DENSITÀ

Uno scatolone vuoto ha una massa decisamente minore dello stesso scatolone pieno di libri. La ragione è che lo scatolone «vuoto» è in realtà pieno d'aria, e l'aria ha una densità molto minore di quella della carta.

!

Consideriamo un oggetto di massa m e che occupa un volume V. La sua densità d è definita dal rapporto

!

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

La densità:

- è direttamente proporzionale alla massa m dell'oggetto;
- è inversamente proporzionale al suo volume V;
- dipende dal materiale di cui l'oggetto è fatto;
- è numericamente uguale alla massa di un volume pari a 1 m³, riempito del materiale di cui è fatto l'oggetto.

Formule inverse:

$$m = dV; \quad V = \frac{m}{d}.$$

ESEMPI

1 Una barretta di cromo ha un volume pari a $3{,}80 \times 10^{-4}$ m³. La sua massa vale 2,732 kg.

► Calcola la densità del cromo.

Utilizzando la definizione vista sopra, si ottiene:

$$d = \frac{m}{V} = \frac{2{,}732\ \text{kg}}{3{,}80 \times 10^{-4}\ \text{m}^3} = 7{,}19 \times 10^3\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

2 Alla temperatura di −4 °C la densità del ghiaccio è 917 kg/m³. Considera un cubetto di ghiaccio (a −4 °C) che occupa un volume di 10,1 cm³.

► Qual è la massa del cubetto di ghiaccio?

Prima di tutto occorre calcolare l'equivalenza:

$$V = 10{,}1\ \text{cm}^3 = 10{,}1 \times 10^{-6}\ \text{m}^3 = 1{,}01 \times 10^{-5}\ \text{m}^3.$$

In questo modo siamo in grado di calcolare:

$$m = dV = \left(917\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \times \left(1{,}01 \times 10^{-5}\ \text{m}^3\right) = 9{,}26 \times 10^{-3}\ \text{kg}.$$

La massa del cubetto di ghiaccio è 9,26 g.

3 La densità dell'oro vale $19{,}3 \times 10^3$ kg/m³.

► Qual è il volume occupato da una barra d'oro della massa di 1,00 kg?

Utilizzando la corrispondente formula inversa si ottiene:

$$V = \frac{m}{d} = \frac{1{,}00\ \text{kg}}{19{,}3 \times 10^3\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 5{,}18 \times 10^{-5}\ \text{m}^3.$$

Un kilogrammo d'oro occupa un volume di appena 51,8 cm³.

ESERCIZI

1 Utilizzando una bilancia di precisione si misura che una campana di vetro del volume di 14,5 L, una volta che in essa si è fatto il vuoto, risulta più leggera di 18,7 g.

► Qual è la densità dell'aria che riempiva la campana di vetro?

[1,29 kg/m³]

2 La densità dello zucchero è $1{,}58 \times 10^3$ kg/m³.

► Qual è il volume, in litri, di un sacchetto che contiene 1,5 kg di zucchero?

[0,95 L]

3 Una tanica in metallo per il trasporto della benzina ha una massa di 2,8 kg e possiede un volume utile di 15,0 L. La densità della benzina è 720 kg/m³.

► Calcola la massa della tanica piena di benzina.

[13,6 kg]

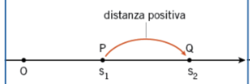
- **Sistema di riferimento.** Su una retta si definisce un *sistema di riferimento* scegliendo in modo opportuno un punto origine (di solito indicato con il simbolo *O*) e un verso positivo. In tal modo possiamo conoscere la *coordinata* (o *ascissa*) di ogni punto sulla retta.
- **Posizione** su una retta. Si chiama *posizione s* di un punto su una retta la coordinata di tale punto.

Sulla base di tutto ciò,

la **distanza** Δs tra due punti su una retta è data dalla differenza tra le posizioni dei due punti: $\Delta s = s_2 - s_1$.

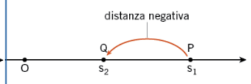
Quindi il valore della distanza può essere:

▶ positivo se il punto materiale si sposta da un certo valore s_1 a un valore s_2 maggiore di s_1. Ciò accade se il punto si muove nel verso scelto sulla retta come positivo.



A

▶ Negativo se il punto materiale si sposta da un certo valore s_1 a un valore s_2 minore di s_1. Avviene se il punto si muove nel verso opposto a quello scelto sulla retta come positivo.



B

ESEMPIO

1 Un punto materiale passa dalla posizione $s_1 = 3{,}8$ m alla posizione $s_2 = 7{,}1$ m.

▶ Quanto vale la distanza Δs percorsa da esso?

Direttamente dalla soluzione otteniamo $\Delta s = s_2 - s_1 = 7{,}1\ \text{m} - 3{,}8\ \text{m} = 3{,}3\ \text{m}$.

ESERCIZI

1 Una caramella cade sul marciapiede mobile di un aeroporto in un punto che dista 11,8 m dall'inizio del marciapiede stesso; poi la caramella viene raccolta quando si trova a 19,6 m dall'inizio del marciapiede.

▶ Che distanza è stata percorsa dalla caramella sul marciapiede mobile? [7,8 m]

2 A fianco di una pista da atletica sono segnate le distanze a partire dalla linea di partenza. Un atleta passa dal punto segnato come «54 m» fino al punto segnato come «22 m».

▶ Che distanza ha percorso l'atleta sulla pista?

▶ Si è allontanato dalla linea di partenza o si è avvicinato a essa? [−32 m]

6 ISTANTE E INTERVALLO DI TEMPO

Il valore che si legge sul display di un cronometro o sul quadrante di un orologio è detto in fisica **istante di tempo**. Questo concetto permette di introdurre una seconda grandezza, l'*intervallo di tempo*:

l'**intervallo di tempo** Δt, o **durata** di un fenomeno, è dato dalla differenza tra l'istante finale t_2 e l'istante iniziale t_1:

$$\Delta t = t_2 - t_1.$$

Esattamente come un punto su una retta ha spessore nullo ed è indicato dalla sua posizione, così la durata di un dato istante di tempo è pari a 0 s.

La tabella seguente riassume i concetti esposti fino ad ora in relazione alle distanze e al tempo.

Concetto	Posizione	Distanza	Istante di tempo	Intervallo di tempo
Significato	Coordinata di un punto sulla retta	Differenza tra due posizioni	Valore indicato da un orologio o da un cronometro	Differenza tra due istanti di tempo
Simbolo	s	Δs	t	Δt
Domanda	Dove?	Quanto dista? Che distanza ha percorso?	Che ore sono?	Quanto dura? Quanto tempo impiega?

ESEMPI

1 Al martedì la lezione di fisica inizia alle ore 11:20 e finisce alle ore 12:10.

▶ Quanto dura la lezione di fisica del martedì?

L'orario 11:20 significa 11 h 20 min, mentre l'orario 12:10 equivale a 12 h 10 min. Quindi la durata della lezione è

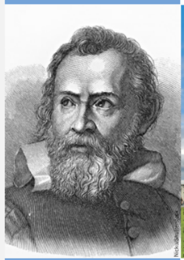
$$\Delta t = (12\ \text{h}\ 10\ \text{min}) - (11\ \text{h}\ 20\ \text{min}) = 50\ \text{min}.$$

2 Sto ascoltando una canzone con un lettore che segna il tempo. Il ritornello della canzone inizia all'istante 1 min 12 s e finisce all'istante 1 min 53 s.

▶ Quanto dura il ritornello della canzone?

$$\Delta t = (1\ \text{min}\ 53\ \text{s}) - (1\ \text{min}\ 12\ \text{s}) = 41\ \text{s}$$

GALILEO GALILEI E IL METODO SPERIMENTALE



Come ha fatto Galileo a scoprire che tutti i corpi cadrebbero a terra nello stesso modo, se non ci fosse l'attrito dell'aria? Non è una verità evidente, che sta davanti agli occhi di tutti.

Al contrario è un'affermazione che va contro il senso comune: un vaso di fiori che cade dal secondo piano arriva a terra ben prima di una foglia che si è staccata dalla pianta.

Oggi sappiamo che Galileo ha ragione. Robert Boyle lo ha verificato poco dopo la metà del Seicento, mettendo oggetti di peso e forma diversi dentro un tubo nel quale aveva fatto il vuoto, cioè aveva aspirato dell'aria. Capovolgendo il tubo, tutti gli oggetti toccano il fondo nello stesso istante.

Anche gli astronauti lo hanno verificato nel 1971 sulla Luna, dove non c'è atmosfera: una piuma e un martello, lasciati cadere dalla stessa altezza, arrivano al suolo contemporaneamente.

Nel Seicento, ai tempi di Galileo, per spiegare la caduta dei gravi si faceva riferimento alla teoria di Aristotele, secondo la quale la velocità di caduta è direttamente proporzionale alla massa del corpo: una pietra di 10 kg sarebbe 10 volte più veloce di un sasso da 1 kg.

Galileo ha avuto il coraggio di mettere in dubbio ciò che diceva Aristotele, la cui autorità era all'epoca indiscutibile. Per prima cosa ha demolito logicamente la sua affermazione, inventando un esperimento ideale, il cui risultato porta a una contraddizione.

Immagina di far cadere due oggetti di diversi dalla stessa altezza; secondo Aristotele, quando arrivano a terra il più pesante ha una velocità v_p maggiore della velocità v_l di quello più leggero. Poi immagina di legare i due oggetti insieme con una corda sottile:

- puoi aspettarti che quello più leggero e lento ostacoli il moto dell'altro e sia tirato da esso. Quindi la velocità comune con cui i due arrivano a terra dovrebbe essere *compresa* tra v_p e v_l.
- Ma si può ragionare in un altro modo: i due oggetti uniti formano un unico corpo, più pesante di ciascuno dei due. Stando così le cose, la velocità comune con cui i due arrivano a terra dovrebbe essere *maggiore* di v_p.

Due ragionamenti diversi ma corretti, entrambi basati sulla teoria di Aristotele, portano a risultati incompatibili tra loro. Ciò è inaccettabile e quindi dobbiamo ammettere che l'idea di partenza è sbagliata.

Così, con un esperimento ideale Galileo ha falsificato la teoria.

Il passo successivo consiste nell'inventare un nuovo modello che descriva in modo accurato il fenomeno. Ancora una volta Galileo fa ricorso a un esperimento, questa volta reale.

LA CADUTA LIBERA COME CASO LIMITE DEL PIANO INCLINATO

L'esperimento ha lo scopo di verificare l'ipotesi che i corpi cadano con accelerazione costante, cioè aumentino la velocità in modo direttamente proporzionale al tempo.

Tuttavia i mezzi tecnici a sua disposizione non gli permettono di misurare la velocità istantanea. Mentre per valutare le lunghezze gli basta un metro, misurare con precisione i brevi intervalli di tempo necessari ai corpi per toccare terra costituisce un problema.

Allora, visto che il moto di caduta libero è troppo veloce per essere studiato, Galileo realizza la caduta libera al rallentatore grazie a un piano inclinato, ben levigato per ridurre l'attrito, su cui rotola una sfera di bronzo, che può quindi raggiungere il suolo in tempi più lunghi, misurabili con gli strumenti a sua disposizione. Inoltre, l'attrito con l'aria non modifica in modo apprezzabile il moto della pesante sfera di bronzo.

L'apparato sperimentale è composto da:

- un **piano inclinato** con una scanalatura;
- un **regolo** (cioè un metro) di ottone suddiviso in intervalli uguali;
- una **sfera di bronzo**;
- un **orologio ad acqua**. Il tempo di caduta della sfera è ottenuto pesando la quantità d'acqua che, durante la discesa della sfera lungo il piano, fuoriesce da un secchio attraverso un sottile cannello e si raccoglie in un recipiente posato sul piatto di una bilancia.

Galileo misura il tempo di caduta della sfera per diverse lunghezze del percorso. Poi, confrontando tempi di discesa e lunghezze, verifica che esiste una proporzionalità diretta fra le distanze percorse Δs e i quadrati dei corrispondenti intervalli di tempo $(\Delta t)^2$; questo è vero per diverse inclinazioni del piano e anche quando cambia la massa la composizione della sfera:

$$\Delta S = \frac{1}{2}\alpha(\Delta t)^2.$$

Da ciò arriva alla formulazione di una legge generale sul moto di caduta libera, che vale anche al limite quando il piano inclinato è in posizione verticale.

Tradotta in parole, la legge afferma che, se non ci fosse l'attrito con l'aria, tutti i corpi cadrebbero con un moto uniformemente accelerato.

IL METODO SPERIMENTALE

Galileo è stato un rivoluzionario. Ha avuto il coraggio di mettere in dubbio ciò che i suoi contemporanei ritenevano ovvio e soprattutto ha inventato il metodo sperimentale, su cui si fonda la scienza.

Secondo questo metodo, un'affermazione è vera se è verificata dagli esperimenti e non se si basa sul principio di autorità («l'ha detto Aristotele»). Gli esperimenti sono il banco di prova di un modello o una teoria: fino a quando la verificano, la teoria è vera; basta un solo esperimento che la contraddica per renderla falsa.

Ripercorriamo i passi del metodo sperimentale, facendo riferimento alla caduta dei gravi.

1. *Osservazione di un fenomeno*: tutti i corpi cadono e il loro moto verso il basso è influenzato dall'attrito dell'aria.
2. *Scelta delle grandezze fisiche per descriverlo*: lunghezza, tempo, velocità, accelerazione.
3. *Formulazione di un'ipotesi*: se l'attrito con l'aria è trascurabile, i corpi cadono con accelerazione costante.
4. *Esperimenti per verificare l'ipotesi*: misura della relazione fra tempi e lunghezze nella caduta dal piano inclinato, caduta libera come piano inclinato a 90 gradi in condizioni tali che l'attrito sia trascurabile. Se gli esperimenti contraddicono l'ipotesi, occorre scartarla, inventarne una nuova e ripetere il ciclo.
5. *Enunciazione della legge sperimentale*:

$$\Delta S = \frac{1}{2}\alpha(\Delta t)^2.$$

Le leggi sperimentali costituiscono delle conoscenze particolari che sono poi integrate in strutture logiche più complete, le teorie fisiche.

Per esempio, la legge di caduta dei gravi può essere dedotta a partire dai principi della dinamica, che sono le leggi su cui si basa tutta la meccanica.

Le teorie, infatti, sono costruite in modo da permettere di derivare dai loro assiomi tutte le leggi sperimentali note in un certo ambito della fisica. L'accordo con le leggi sperimentali conferma la teoria.