FISICA

per le prime

degli Istituti professionali

LORENZO PANTIERI

Questo lavoro, scritto per gli alunni dell'Istituto «Versari-Macrelli» di Cesena, spiega il programma di fisica degli Istituti professionali italiani. Ringrazio i miei colleghi per l'aiuto fornito. Un «grazie» altrettanto speciale va ai miei studenti: il libro è più loro che mio. Se avete idee su argomenti da aggiungere o modificare, o se vi dovesse capitare di notare un errore, di battitura o di sostanza, mi fareste un favore comunicandomelo. Spero che possiate studiare la fisica con il mio stesso piacere.

♡

Lorenzo Pantieri

Fisica per gli Istituti professionali

☞ lorenzo.pantieri@gmail.com

INDICE

1 GRANDEZZE

Tutto ciò che appartiene all'universo materiale, dalle galassie alle particelle elementari, rientra nel campo di indagine della fisica. Di questo universo la fisica studia le proprietà *misurabili*, cioè quelle di cui si può dare una descrizione quantitativa.

Le leggi della fisica descrivono razionalmente il modo di funzionare della natura, impiegando equazioni matematiche per esprimere relazioni tra *grandezze fisiche*.

> **Definizione 1.** Una *grandezza fisica* è una quantità che può essere misurata con uno specifico strumento.

Sono grandezze fisiche, per esempio, la velocità di un'automobile, la distanza percorsa e il tempo impiegato a percorrerla (misurabili rispettivamente con il tachimetro installato sull'auto stessa, con il contachilometri e con un cronometro).

Per formulare una legge, i fisici osservano un fenomeno naturale, individuano le grandezze che lo descrivono, avanzano un'ipotesi sulla relazione che lega tali grandezze e infine sottopongono questa ipotesi a verifica sperimentale. Questo è il *metodo sperimentale*, definito e applicato per la prima volta nel XVII secolo da Galileo Galilei.

1.1 MISURA DELLE GRANDEZZE FISICHE

Per indagare i fenomeni naturali non serve definire l'essenza delle grandezze, cosa tutt'altro che facile, ma basta indicarne il metodo di misura. È sufficiente, cioè, dare delle grandezze una *definizione operativa*.

> **Definizione 2.** La *definizione operativa* di una grandezza consiste nella descrizione dello strumento e del procedimento da usare per la sua misura.

Fare una misura significa confrontare la grandezza in esame con una grandezza di riferimento, detta *unità di misura*. Per esempio, per misurare la larghezza di un libro possiamo scegliere come unità di misura una gomma (figura 1): dobbiamo contare quante volte la gomma è contenuta nella lunghezza del libro. Nel nostro caso, il libro è lungo cinque "gomme".

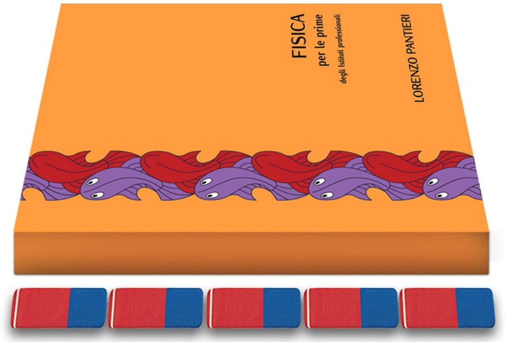


Figura 1: Il libro ha una lunghezza di cinque “gomme”

Una lunghezza, un volume, una massa, eccetera, si misurano, rispettivamente, mediante il confronto con una lunghezza unitaria, un volume unitario, una massa unitaria, eccetera.

Scelta dell’unità di misura

Certamente non misureremmo mai la lunghezza di un libro con una gomma. Un’unità di misura deve essere scelta in modo che resti costante nel tempo (così che ogni misura sia confrontabile con le altre e dia lo stesso risultato se ripetuta) e che sia facilmente riproducibile (in modo da poter essere usata ovunque).

Per misurare la lunghezza del libro dell’esempio precedente scegliamo come unità di misura il centimetro (cm). Per esprimere la misura, che possiamo effettuare con un righello, facciamo seguire al numero ottenuto il simbolo dell’unità scelta. Indicando con l la lunghezza del libro, scriviamo: $l = 24$ cm.

Grandezze fondamentali e grandezze derivate

Si potrebbe pensare di scegliere tante unità di misura indipendenti l’una dall’altra quante sono le grandezze fisiche, ma così si verrebbe a creare una moltitudine di unità scollegate fra loro. Conviene fissare le unità di misura solo per un certo numero di grandezze, che chiameremo *grandezze fondamentali*. La scelta delle grandezze fondamentali deve essere fatta in modo che, una volta stabilite le loro unità di misura, in funzione di queste si possano determinare, attraverso relazioni matematiche, le unità di tutte le altre grandezze, chiamate grandezze *derivate*.

La tabella 1 mostra le grandezze fondamentali del Sistema Internazionale (oggi adottato quasi universalmente), assieme alle rispettive unità di misura.

L’unità di misura del Sistema Internazionale per la lunghezza è il metro. Ciò non esclude che si possano usare il centimetro, il chilometro e qualsiasi altra unità di lunghezza. In relazione al metro si definiscono tutte le altre unità di lunghez-

Tabella 1: Grandezze fisiche fondamentali del Sistema Internazionale

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

za: $1\,\mathrm{cm} = 0{,}01\,\mathrm{m}$, $1\,\mathrm{km} = 1000\,\mathrm{m}$, e così via. Considerazioni analoghe valgono per tutte le altre unità di misura.

Una grandezza fondamentale: la massa

Definizione 3. La *massa* di un corpo è quella proprietà del corpo che si misura con una bilancia a bracci uguali.

Poggiato il corpo su uno dei piatti della bilancia (figura 2), la sua massa è uguale a tante unità quante sono quelle che bisogna porre sull'altro piatto perché la bilancia sia in equilibrio. Il problema della misura della massa è così risolto una volta scelto un corpo campione, la cui massa è assunta come unitaria. Nel Sistema Internazionale, la massa si misura in chilogrammi (kg).

Esercizio 1. La massa di un corpo è 365,5 g. Esprimi la grandezza in kg.

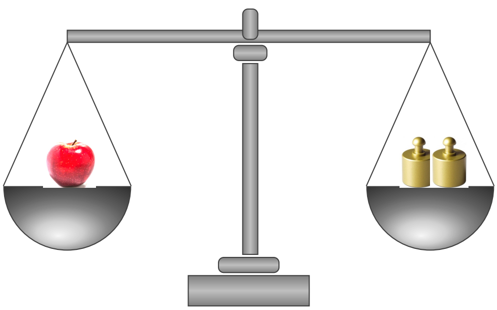


Figura 2: La bilancia a bracci uguali misura operativamente la massa di un corpo

Soluzione. Poiché 1 g è 1 millesimo di kg, cioè 10^{-3} kg:

$$365{,}5\,\mathrm{g} = 365{,}5 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{kg} = 0{,}3655\,\mathrm{kg} \qquad \square$$

Alcune grandezze derivate: area, volume e velocità

L'area di una superficie è, dimensionalmente, il prodotto fra due lunghezze. Poiché, dunque, nel Sistema Internazionale la lunghezza è espressa in metri (m), l'unità di misura dell'area è il metro quadrato (m^2), cioè l'area di un quadrato avente lato di lunghezza 1 m, e quella del volume è il metro cubo (m^3), cioè il volume di un cubo avente lato di lunghezza 1 m.

Per la misura delle aree sono usati anche multipli e sottomultipli del metro quadrato, come per esempio il centimetro quadrato (cm^2) che ha con il metro quadrato la seguente relazione:

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

Per la misura dei volumi, un sottomultiplo frequentemente usato è il decimetro cubo (detto anche *litro* e indicato con i simboli dm^3 o l):

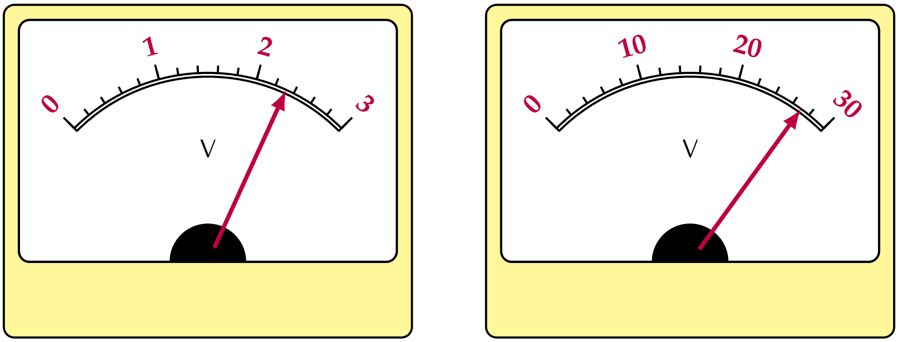
$$1\,\mathrm{dm}^3 = (1\,\mathrm{dm})^3 = (0{,}1\,\mathrm{m})^3 = 0{,}001\,\mathrm{m}^3$$

Un altro esempio di grandezza derivata è la velocità di un corpo in movimento, definita (quando è costante) come il rapporto fra la lunghezza del cammino percorso e il tempo impiegato a percorrerlo. Le dimensioni fisiche della velocità sono il rapporto fra le dimensioni di una lunghezza e le dimensioni di un tempo. Di conseguenza, dato che la lunghezza si misura in metri e il tempo in secondi, l'unità di misura della velocità, nel Sistema Internazionale, è il metro al secondo (m/s). Questa grandezza può essere espressa anche in km/h (chilometri all'ora) o km/s (chilometri al secondo), purché l'unità di misura prescelta sia sempre il rapporto fra un'unità di lunghezza e un'unità di tempo.

Caratteristiche degli strumenti di misura

Per eseguire una misura, bisogna tener conto delle proprietà dello strumento impiegato e, in primo luogo, di alcune caratteristiche generali che sono comuni a tutti gli strumenti.

La figura 3 rappresenta le scale graduate di due voltmetri analogici. Entrambe le scale sono divise in 15 intervalli uguali, mentre il valore di fondo scala è 3 V in un caso e 30 V nell'altro (V è il simbolo del volt, unità di misura del Sistema Internazionale per la tensione elettrica). Il primo voltmetro può apprezzare una variazione minima di tensione di 0,2 V, mentre il secondo una variazione minima di 2 V. Ciò vuol dire che, per ogni incremento di 0,2 V della tensione, l'indice dell'uno si sposta di una tacca sulla scala graduata, mentre per produrre lo stesso



(a) Voltmetro con fondo scala di 3 volt **(b)** Voltmetro con fondo scala di 30 volt

Figura 3: Strumenti di misura

spostamento dell'indice dell'altro la tensione deve aumentare di 2 V. Diremo che il primo voltmetro è 10 volte *più sensibile* del secondo, in quanto capace di rilevare variazioni di tensione 10 volte minori.

Definizione 4. La *sensibilità* di uno strumento è la variazione minima della grandezza misurata che lo strumento può rilevare.

D'altra parte il primo voltmetro non può essere usato per misurare valori di tensione superiori a 3 V, poiché tali valori sono oltre la sua *portata*.

Definizione 5. La *portata* di uno strumento è il valore massimo che lo strumento può misurare.

La tabella 2 descrive la sensibilità e la portata, assieme ad altre due importanti caratteristiche degli strumenti tarati.

1.2 NOTAZIONE SCIENTIFICA

In fisica si incontrano spesso grandezze espresse da numeri molto grandi o molto piccoli. Per esempio:

- la velocità della luce nel vuoto è circa 299 790 000 m/s;
- il diametro di un atomo di idrogeno è circa 0,000 000 000 1 m.

Il primo numero è molto grande, mentre il secondo è molto piccolo, e operare con numeri simili non è semplice. Per rendercene conto, consideriamo una lamina rettangolare di dimensioni

$$b = 0{,}000\,000\,06\,\mathrm{m} \qquad h = 0{,}000\,000\,2\,\mathrm{m}$$

Tabella 2: Principali caratteristiche degli strumenti di misura

Caratteristica	Definizione sintetica	Significato pratico
sensibilità	variazione minima della grandezza che può essere apprezzata dallo strumento	In uno strumento analogico la sensibilità è l'incremento della grandezza che corrisponde alla distanza fra due tacche consecutive della scala graduata. Uno strumento è tanto più sensibile quanto minore è questo incremento.
portata	massimo valore della grandezza che lo strumento può misurare	In uno strumento analogico la portata è il valore di fondo scala. Se il valore della grandezza misurata supera la portata dello strumento, questo può restare danneggiato.
precisione	indice della qualità dello strumento	Uno strumento è tanto più preciso quanto minore è lo scarto fra le sue risposte quando una misura è ripetuta più volte nelle stesse condizioni.
prontezza	indice della rapidità con cui lo strumento risponde a variazioni della grandezza da misurare	Uno strumento pronto è il tachimetro, che rileva quasi istantaneamente la velocità dell'auto. Uno strumento di scarsa prontezza è il termometro a mercurio, che impiega minuti per rilevare la temperatura del paziente.

e calcoliamone l'area:

$$b \times h = 0{,}000\,000\,06\,\mathrm{m} \times 0{,}000\,000\,2\,\mathrm{m} = 0{,}000\,000\,000\,000\,012\,\mathrm{m}^2$$

Come si può notare, per l'eccessiva quantità di zeri è facile commettere degli errori.

Per risolvere questo problema si usa una scrittura compatta che permette di rappresentare numeri di questo tipo in una forma più agevole. Questa scrittura prende il nome di *notazione scientifica*.

Definizione 6. Un numero a è scritto in *notazione scientifica* se si presenta nella forma

$$a = k \cdot 10^n$$

dove k è un numero decimale maggiore o uguale a 1 e minore di 10, e n è un numero intero.

Per esempio, i numeri $6{,}023 \cdot 10^{23}$ e $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ sono scritti in notazione scientifica, mentre i numeri $0{,}384 \cdot 10^6$ e $66 \cdot 10^{-28}$ non lo sono perché il numero davanti alla potenza di 10 è nel primo caso minore di 1 e nel secondo maggiore di 10.

A numeri grandi corrisponde una potenza di 10 con esponente positivo; a numeri piccoli corrisponde una potenza di 10 con esponente negativo.

Come trasformare un numero in notazione scientifica?

Numeri grandi

Per scrivere un numero $a > 1$ in notazione scientifica $k \cdot 10^n$:

- per trovare n si contano le cifre significative di a (prima dell'eventuale virgola) e si *toglie* 1;
- per trovare k si *divide* a per 10^n, dove n è l'intero trovato;
- dopo di che si scrive $a = k \cdot 10^n$, dove n e k sono i due numeri trovati.

Per esempio, 299 790 000:

- le cifre significative sono nove, quindi $n = 9 - 1 = 8$
- si divide il numero per 10^8 e si ottiene $k = 2{,}9979$
- $299\,790\,000 = 2{,}9979 \cdot 10^8$

Numeri piccoli

Per scrivere un numero a in notazione scientifica $k \cdot 10^{-n}$, se $0 < a < 1$:

- per trovare n si contano gli zeri che si trovano tra la virgola e la prima cifra significativa di a e si *aggiunge* 1;
- per trovare k si *moltiplica* a per 10^n, dove n è l'intero trovato;
- dopo di che si scrive $a = k \cdot 10^{-n}$, dove n e k sono i due numeri trovati.

Per esempio, $0,000\,000\,000\,1$:

- gli zeri che si trovano tra la virgola e la prima cifra significativa del numero sono nove, quindi $n = 9 + 1 = 10$
- si moltiplica il numero per 10^{10} e si ottiene $k = 1$
- $0,000\,000\,000\,1 = 1 \cdot 10^{-10}$

Riprendiamo il problema della lamina rettangolare.

Esercizio 2. Considera una lamina rettangolare di dimensioni

$$b = 0{,}000\,000\,06\,\mathrm{m} \qquad h = 0{,}000\,000\,2\,\mathrm{m}$$

e calcolane l'area.

Soluzione. Le sue dimensioni in notazione scientifica si scrivono:

$$b = 6 \cdot 10^{-8}\,\mathrm{m} \qquad h = 2 \cdot 10^{-7}\,\mathrm{m}$$

da cui

$$b \times h = 6 \cdot 10^{-8}\,\mathrm{m} \times 2 \cdot 10^{-7}\,\mathrm{m} = 12 \cdot 10^{-15}\,\mathrm{m}^2 = 1{,}2 \cdot 10^{-14}\,\mathrm{m}^2$$

Come si vede, impiegando le proprietà delle potenze l'operazione si svolge agevolmente. □

Prefissi delle unità di misura

Quando il valore di una grandezza misurata è molto grande o molto piccolo, si ricorre spesso all'uso di multipli o sottomultipli dell'unità stessa.

Un chilometro è uguale a 1000 metri ($1\,\mathrm{km} = 1000\,\mathrm{m}$). Il prefisso *chilo*, indicato con la lettera minuscola k, serve sempre a indicare una moltiplicazione per mille: una chilocaloria (1 kcal) equivale a 1000 calorie. Analogamente il prefisso *milli*, indicato con la lettera m, indica una divisione per mille: un millimetro è un millesimo di metro ($1\,\mathrm{mm} = 0{,}001\,\mathrm{m}$), un millisecondo è un millesimo di secondo ($1\,\mathrm{ms} = 0{,}001\,\mathrm{s}$).

La tabella 3 elenca alcuni prefissi impiegati per indicare i multipli e i sottomultipli decimali delle unità di misura.

Esercizio 3. La lunghezza d'onda della luce gialla è circa $0{,}6\,\mu\mathrm{m}$. Scrivi il suo valore in notazione scientifica.

Soluzione.

$$0{,}6\,\mu\mathrm{m} = 0{,}6 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{m} = 6 \cdot 10^{-7}\,\mathrm{m}$$ □

Ordine di grandezza

Talvolta, nel trattare i numeri molto grandi o molto piccoli, non è importante conoscerne il valore esatto, ma basta conoscere l'entità della loro grandezza. Per fare ciò si introduce il seguente concetto.

Tabella 3: Prefissi delle unità di misura

Fattore	**Prefisso**	**Simbolo**	**Valore**
10^{12}	tera	T	1 000 000 000 000
10^{9}	giga	G	1 000 000 000
10^{6}	mega	M	1 000 000
10^{3}	chilo	k	1 000
10^{2}	etto	h	100
10^{1}	deca	da	10
10^{-1}	deci	d	0,1
10^{-2}	centi	c	0,01
10^{-3}	milli	m	0,001
10^{-6}	micro	μ	0,000 001
10^{-9}	nano	n	0,000 000 001
10^{-12}	pico	p	0,000 000 000 001

Definizione 7. L'*ordine di grandezza* di un numero è la potenza di 10 più vicina al numero.

Per determinare l'ordine di grandezza di un numero:

- si scrive il numero dato in notazione scientifica $k \cdot 10^n$;
- se $k < 5$ l'ordine di grandezza è 10^n;
- se $k \geq 5$ l'ordine di grandezza è 10^{n+1}.

Così, l'ordine di grandezza della massa della Terra ($5{,}9 \cdot 10^{24}$ kg) è 10^{25} kg, mentre quello della velocità della luce nel vuoto ($2{,}9979 \cdot 10^8$ m/s) è 10^8 m/s.

Esercizio 4. Determina l'ordine di grandezza dei numeri $0,000\,074$ e $47\,000\,000\,000$.

Soluzione. Scriviamo dapprima i numeri in notazione scientifica:

$$0{,}000\,074 = 7{,}4 \cdot 10^{-5} \qquad 47\,000\,000\,000 = 4{,}7 \cdot 10^{10}$$

L'ordine di grandezza del primo numero è 10^{-4}, perché 7,4 è maggiore di 5. L'ordine di grandezza del secondo numero è 10^{10}, perché 4,7 è minore di 5. □

Esercizio 5. Un lago di forma circolare ha un raggio di circa 500 m e una profondità media di 10 m. Qual è, approssimativamente, il volume dell'acqua in esso contenuta?

Soluzione. Una stima del volume del lago, assumendo che esso abbia la forma di un cilindro, è ottenuta moltiplicando l'area $A = \pi R^2$ della superficie di base per l'altezza h. Si ha pertanto:

$$V = \pi R^2 \cdot h \approx 3{,}14 \cdot (500\,\mathrm{m})^2 \cdot 10\,\mathrm{m} = 7\,850\,000\,\mathrm{m}^3 = 7{,}85 \cdot 10^6\,\mathrm{m}^3$$

e l'ordine di grandezza del valore ottenuto è $10^7\,\mathrm{m}^3$. □

1.3 MISURE DIRETTE E INDIRETTE

Il confronto di una grandezza con un campione assunto come unità di misura rappresenta una *misura diretta*. La misura della massa di un corpo effettuata con una bilancia a bracci uguali è un esempio di misura diretta, in quanto si esegue con il confronto fra la massa incognita e una serie di masse campione.

In molti casi, però, la misura diretta è difficile, o addirittura impossibile: non si può misurare con una bilancia a bracci uguali la massa di un elettrone o quella della Terra. Si deve perciò ricorrere a una *misura indiretta*.

Definizione 8. Misurare *indirettamente* una grandezza significa ricavarne il valore attraverso una relazione matematica che la lega ad altre grandezze, dopo aver misurato queste ultime.

Per esempio, l'area di una superficie regolare può essere determinata indirettamente misurando delle lunghezze e applicando le formule della geometria. L'area A del rettangolo di lati $a = 4{,}5\,\mathrm{cm}$ e $b = 2{,}5\,\mathrm{cm}$ (figura 4) è:

$$A = ab = 4{,}5\,\mathrm{cm} \cdot 2{,}5\,\mathrm{cm} = 11{,}25\,\mathrm{cm}^2$$

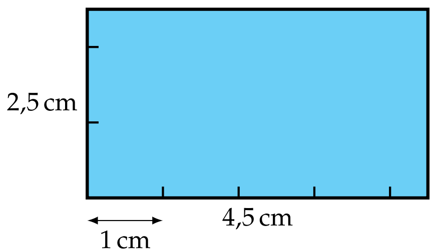


Figura 4: Misura indiretta di un'area

Tabella 4: Densità di alcune sostanze

Sostanza	**Densità** (kg/m^3)	**Sostanza**	**Densità** (kg/m^3)
oro	$1{,}9 \cdot 10^4$	acqua	$1{,}0 \cdot 10^3$
piombo	$1{,}1 \cdot 10^4$	olio d'oliva	920
rame	$8{,}8 \cdot 10^3$	ghiaccio	900
ferro	$7{,}8 \cdot 10^3$	benzina	700
alluminio	$2{,}7 \cdot 10^3$	sughero	300

Densità

Pesa più un chilogrammo di ferro o un chilogrammo di piume? Un chilogrammo è sempre lo stesso, ma un chilogrammo di ferro occupa un volume molto minore di un chilogrammo di piume. In altre parole, a parità di volume la massa del ferro è molto maggiore della massa delle piume, cioè il ferro è *più denso* delle piume.

Definizione 9. Se m è la massa di un corpo e V il suo volume, la *densità* d della sostanza di cui è costituito il corpo è definita dal rapporto tra la sua massa e il suo volume. In formule: $d = m/V$.

La densità, che nel Sistema Internazionale si misura in kg/m^3, è una proprietà caratteristica delle sostanze, ossia una grandezza che assume sempre lo stesso valore per tutti i corpi costituiti dalla stessa sostanza: un chiodo e la testa di un martello, entrambi di ferro, hanno massa e volume diversi, ma il rapporto fra la loro massa e il loro volume è lo stesso.

La relazione che definisce la densità di una sostanza ci indica anche il modo per misurarla: se ne fa una misura indiretta, determinando la massa e il volume di un corpo costituito da quella sostanza, e si calcola poi il rapporto fra le due grandezze. La tabella 4 riporta le densità di alcune sostanze.

Esercizio 6. Un corpo ha massa 6 kg e volume 20 dm^3. Qual è la sua densità?

Soluzione.

$$d = \frac{m}{V} = \frac{6\,\text{kg}}{20\,\text{dm}^3} = \frac{6\,\text{kg}}{20 \cdot (1\,\text{dm})^3} = \frac{6\,\text{kg}}{20 \cdot (0{,}1\,\text{m})^3} = \frac{6\,\text{kg}}{0{,}02\,\text{m}^3} = 300\,\text{kg}/\text{m}^3 \qquad \square$$

1.4 INCERTEZZE DI MISURA

Ogni processo di misura di una grandezza fisica, anche se condotto nel modo più attento possibile e con lo strumento più sofisticato a disposizione, non permette di conoscere con precisione assoluta il valore cercato. I motivi di questa limitazione sono molti e vanno dalla precisione non infinita, ma limitata, dello strumento impiegato, al modo di operare dell'osservatore che esegue la misura, alla variazione imprevedibile delle condizioni ambientali. Tutto ciò implica che ogni misura è inevitabilmente accompagnata anche da un'*incertezza* che impedisce la conoscenza perfetta della grandezza in esame.

Incertezza di sensibilità

Supponiamo di misurare la lunghezza di una lamina rettangolare con una riga avente la sensibilità di 1 intervallo/cm, su cui cioè il tratto fra una suddivisione e la successiva corrisponde a 1 cm. Il risultato della misura è in generale compreso tra due valori, 5 e 6 nel caso della figura 5. Diciamo che i numeri 5 e 6 individuano un intervallo entro cui possiamo ritenere che sia compreso il valore della lunghezza oggetto della nostra misura e scriviamo:

$$l = (5{,}5 \pm 0{,}5)\,\mathrm{cm}$$

dove 5,5 cm è il valore dalla lunghezza e 0,5 cm l'incertezza di misura.

In questo modo assumiamo come misura della lunghezza il valore corrispondente al centro dell'intervallo e come incertezza di misura la semiampiezza dell'intervallo. L'incertezza di misura è chiamata *incertezza di sensibilità*, perché dipende dalla sensibilità dello strumento impiegato.

Applicando lo stesso criterio alle misure di tensioni effettuate con i due voltmetri delle figure 3a e 3b, troviamo rispettivamente gli intervalli:

$$(2{,}3 \pm 0{,}1)\,\mathrm{V} \qquad (27 \pm 1)\,\mathrm{V}$$

Incertezza statistica

Supponiamo ora di misurare più volte la lunghezza della lamina con uno strumento di sensibilità maggiore, in grado di valutare grandezze del decimo di millimetro. Accade qualcosa di inatteso: i risultati si differenziano leggermente gli uni dagli altri e potrebbero essere distribuiti come mostrato nella tabella 5.

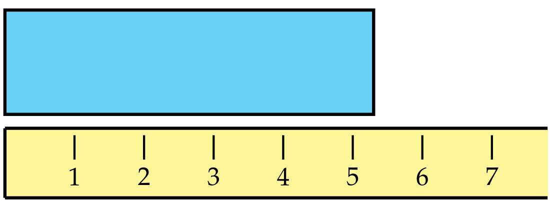


Figura 5: Incertezza di sensibilità

Tabella 5: Misure della lunghezza di una lamina

Misura	1	2	3	4	5	6
Lunghezza (cm)	5,24	5,26	5,32	5,30	5,32	5,36

Come si spiega un fatto del genere? Potremmo pensare che c'è qualcosa che non va nelle nostre misure, ma non è così: l'uso di uno strumento più sensibile ha fatto emergere l'*incertezza statistica*.

Definizione 10. Si dice *statistica* quell'incertezza di misura prodotta dalle variazioni imprevedibili delle condizioni ambientali e dall'inevitabile imperfezione del modo di operare dell'osservatore.

L'incertezza statistica si distribuisce in ugual modo sia in eccesso che in difetto rispetto al valore "vero" della misura e non può essere eliminata, in quanto connaturata a ogni esperimento di laboratorio. Essa può e deve, però, essere correttamente trattata, come vedremo fra poco.

Errori sistematici

L'incertezza statistica va distinta dagli *errori sistematici*.

Definizione 11. Si definiscono *sistematici* tutti quegli errori di misura dovuti all'errata taratura di uno strumento oppure al suo uso improprio.

Sono tali gli errori che avvengono sempre nello stesso verso, cioè o sempre per eccesso o sempre per difetto, sicché il valore della misura effettuata è nel primo caso maggiore del valore "vero" e nel secondo minore. Gli errori sistematici possono derivare da carenze strumentali o da metodi errati di misura. Così, per esempio, si commette un errore sistematico misurando un intervallo di tempo con un cronometro che va avanti oppure indietro; tale errore sistematico può essere eliminato confrontando il cronometro usato con un altro.

A differenza dell'incertezza di sensibilità e di quella statistica, gli errori sistematici sono errori veri e propri, che introducono nella misura uno "sbaglio". Devono essere individuati ed eliminati migliorando lo strumento impiegato, correggendone i difetti e i modi d'impiego, controllandone il funzionamento e la taratura.

La media come valore più significativo

Abbiamo visto che può accadere di ottenere misure leggermente diverse tra loro a causa della presenza dell'incertezza statistica.

Eliminati gli errori sistematici, supponiamo che in una serie di n misure di una stessa grandezza, fatte con lo stesso strumento e con lo stesso metodo dallo stesso sperimentatore, si siano trovati n valori $x_1, x_2, \dots, x_n$. Si dimostra che la miglior stima della grandezza studiata è la *media aritmetica* dei valori trovati, definita dalla relazione

$$M = \frac{x_1 + \cdots + x_n}{n}$$

e che tale stima è tanto più attendibile quanto più è elevato il numero di misure effettuate.

Calcoliamo la media delle misure della lamina riportate nella tabella 5:

$$M = \frac{5{,}24 + 5{,}26 + 5{,}32 + 5{,}30 + 5{,}32 + 5{,}36}{6}\,\text{cm} = 5{,}30\,\text{cm}$$

Rimane il problema di calcolare l'incertezza statistica. Si può assumere come stima di questa incertezza la *semidispersione*

$$d = \frac{1}{2}\left(x_{\text{max}} - x_{\text{min}}\right)$$

dei valori trovati. Se indichiamo con x la grandezza, scriviamo

$$x = M \pm d$$

intendendo con ciò che è *molto probabile* che il valore di una misura cada nell'intervallo tra $M - d$ e $M + d$.

Nell'esempio delle misure della lamina riportate nella tabella 5 è $l_{\text{min}} = 5{,}24\,\text{cm}$ e $l_{\text{max}} = 5{,}36\,\text{cm}$, per cui la semidispersione è $0{,}06\,\text{cm}$. Indicando con l la misura della lamina possiamo perciò scrivere:

$$l = (5{,}30 \pm 0{,}06)\,\text{cm}$$

Esercizio 7. Una classe ha misurato la lunghezza di un banco e la tabella seguente riporta le misure rilevate.

Misura	1	2	3	4	5	6
Lunghezza (cm)	70,5	70,3	70,7	70,6	70,4	70,5

Calcola il risultato della misura e valuta l'incertezza statistica.

Soluzione. Calcoliamo la media delle misure:

$$M = \frac{70{,}5 + 70{,}3 + 70{,}7 + 70{,}6 + 70{,}4 + 70{,}5}{6}\,\text{cm} = 70{,}5\,\text{cm}$$

L'incertezza statistica è data dalla semidispersione dell'intervallo di misura:

$$d = \frac{l_{\text{max}} - l_{\text{min}}}{2} = \frac{70{,}7 - 70{,}3}{2}\,\text{cm} = 0{,}2\,\text{cm}$$

Il risultato della misura è

$$l = (70{,}5 \pm 0{,}2)\,\text{cm} \qquad \square$$

Incertezze assolute e relative

Le incertezze di cui abbiamo finora discusso, sia l'incertezza di sensibilità che quella statistica, sono *incertezze assolute*, di cui cioè risulta affetta la misura.

Se vogliamo confrontare il grado di precisione con cui, con metodi diversi, sono misurate grandezze diverse, non possiamo fare ricorso alle incertezze assolute. Se, per esempio, nella misura di due lunghezze abbiamo ottenuto i risultati:

$$l_1 = (100 \pm 1)\,\text{m} \qquad l_2 = (1000 \pm 2)\,\text{m}$$

la seconda misura, pur essendo affetta da un'incertezza assoluta doppia, è più precisa della prima. In generale, per il confronto si ricorre all'*incertezza relativa*, definita dal rapporto dell'incertezza assoluta con il valore della misura.

Dette η_1 ed η_2 (η si legge *eta*) le incertezze relative delle misure l_1 e l_2 sopra considerate (qualunque sia il tipo di incertezza assoluta data, di sensibilità oppure statistica), si ha:

$$\eta_1 = \frac{1}{100} = 1\% \qquad \eta_2 = \frac{2}{1000} = 0{,}2\%$$

La seconda misura, avendo un'incertezza relativa più piccola, è più precisa della prima.

Cifre significative

Cifre significative nelle misure dirette

Ogni misura eseguita con uno strumento è un'approssimazione della grandezza misurata. Il grado di approssimazione dipende dalla sensibilità dello strumento. Così, se nella misura di un intervallo di tempo troviamo 23,5 s, significa che abbiamo impiegato un cronometro al decimo di secondo, che permette di apprezzare con certezza i secondi e di stimare approssimativamente i decimi di secondo. Ci sono tre *cifre significative*: la cifra incerta (5) e le cifre certe alla sua sinistra (23). Non ha senso esprimere il valore di una misura eseguita con questo strumento indicando anche i centesimi di secondo: una scrittura come 23,57 sarebbe scorretta.

Definizione 12. Le *cifre significative* di una misura sono rappresentate dalle cifre certe più la prima cifra incerta.

Il numero di cifre significative si determina contando la cifra incerta e tutte quelle alla sua sinistra fino all'ultima cifra diversa da zero. Gli zeri a sinistra dell'ultima cifra non si contano; sono invece significativi gli zeri finali. Se in una misura di tempo troviamo il valore 12,34 s, le cifre significative sono quattro: abbiamo impiegato un cronometro al centesimo di secondo.

Esercizio 8. Nella misura del lato di un cubetto eseguita con uno strumento della sensibilità di un centesimo di millimetro abbiamo trovato i seguenti valori espressi in millimetri:

$$8{,}41 \quad 8{,}41 \quad 8{,}43 \quad 8{,}40 \quad 8{,}39 \quad 8{,}38 \quad 8{,}44$$

Calcola la media con il numero esatto di cifre significative.

Soluzione. Eseguendo la media con una calcolatrice a dieci cifre troviamo

$$8{,}408\,571\,429$$

cioè un valore con nove cifre decimali, di cui solo le prime due sono significative. In casi come questi, in cui l'elevato numero di cifre è solo il risultato di un'operazione matematica, bisogna indicare il valore della grandezza con il numero esatto di cifre significative. Dobbiamo perciò eliminare tutte le cifre dopo la seconda decimale e, poiché la prima cifra soppressa (8) è maggiore di 5, arrotondiamo la seconda cifra decimale all'unità successiva e scriviamo:

$$8{,}41$$

come media delle misure del lato del cubetto. □

Cifre significative nelle misure indirette

Nel caso di una misura indiretta, per scrivere correttamente il risultato bisogna seguire precise regole che dipendono dal tipo di relazione matematica tra le grandezze coinvolte.

Supponiamo, per esempio, di avere tre misure di lunghezza l_1, l_2 e l_3 che devono essere sommate (perché bisogna calcolare il perimetro p di un oggetto di forma triangolare):

$$p = l_1 + l_2 + l_3$$

Poiché le misure di l_1, l_2 e l_3 sono affette da un'incertezza, anche la misura di p avrà un'incertezza. Si dice che le incertezze di l_1, l_2 e l_3 si *propagano* su p.

Senza occuparci delle teoria generale, ci limitiamo a enunciare la *legge di propagazione delle incertezze* in alcuni casi particolari:

- l'incertezza assoluta di una somma o di una differenza è uguale alla somma delle incertezze assolute degli addendi;
- l'incertezza relativa di un prodotto è uguale alla somma delle incertezze relative dei fattori;
- l'incertezza relativa di un quoziente è uguale alla somma delle incertezze relative delle grandezze a numeratore e a denominatore.

Esercizio 9. Le misure della lunghezza e della larghezza di un tavolo sono:

$$x_1 = (1{,}00 \pm 0{,}01)\,\mathrm{m} \qquad x_2 = (0{,}50 \pm 0{,}01)\,\mathrm{m}$$

Calcola l'incertezza assoluta del perimetro ed esprimi la sua misura.

Soluzione. Poiché 0,01 è l'incertezza assoluta sia sulla lunghezza che sulla larghezza, l'incertezza assoluta del perimetro è 0,04. La misura richiesta è perciò:

$$p = (3{,}00 \pm 0{,}04)\,\mathrm{m}$$ □

Esercizio 10. Esprimi la misura dell'area del tavolo dell'esercizio precedente con l'incertezza di misura.

Soluzione. La misura dell'area è $A = 0{,}50\,\mathrm{m}^2$. Dette η_1, η_2 ed η le incertezze relative delle misure x_1, x_2 e A, risulta:

$$\eta_1 = \frac{0{,}01}{1{,}00} = 1\% \quad \eta_2 = \frac{0{,}01}{0{,}50} = 2\% \quad \Longrightarrow \quad \eta = \eta_1 + \eta_2 = 3\% = 0{,}03$$

da cui, indicando con ΔA (Δ si legge *delta*) l'incertezza assoluta di A:

$$\eta = \frac{\Delta A}{A} \quad \Longrightarrow \quad \Delta A = A \cdot \eta = (0{,}50 \cdot 0{,}03)\,\mathrm{m}^2 = 0{,}015\,\mathrm{m}^2 \approx 0{,}02\,\mathrm{m}^2$$

La misura dell'area è perciò:

$$A = (0{,}50 \pm 0{,}02)\,\mathrm{m}^2$$ □

1.5 LEGGI E LORO RAPPRESENTAZIONI GRAFICHE

Una *legge fisica* è una relazione matematica che intercorre tra grandezze fisiche. In fisica si fa largo uso delle rappresentazioni grafiche delle leggi. Facciamo una breve premessa sul sistema di coordinate cartesiane.

Due rette orientate, perpendicolari tra loro, e un segmento u preso come unità di misura, costituiscono un *sistema cartesiano ortogonale* nel piano (figura 6). L'intersezione O delle rette si chiama *origine* del sistema, e le rette si dicono *assi cartesiani*, e precisamente quello orizzontale *asse delle ascisse* x e quello verticale *asse delle ordinate* y.

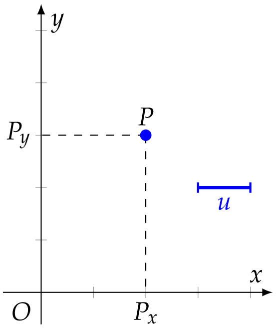


Figura 6: Sistema cartesiano

Dato un punto P del piano, possiamo associare a esso due numeri x e y, chiamati *coordinate cartesiane* di P, che rappresentano le misure dei segmenti OP_x e OP_y, dove P_x è la proiezione ortogonale di P sull'asse x e P_y è la proiezione ortogonale di P sull'asse y. Viceversa, noti i due numeri x e y, restano individuati i punti P_x e P_y e da essi si può costruire il punto P. Inoltre x è positivo o negativo secondo che il verso da O a P_x sia concorde o no con quello positivo sull'asse x; analogamente y è positivo o negativo secondo che il verso da O a P_y sia concorde o no con quello positivo sull'asse y.

Per stabilire la relazione esistente tra due grandezze fisiche x e y si procede nel modo seguente: una volta ottenuto un numero sufficientemente elevato di valori tra loro correlati (per esempio lo spazio y percorso in funzione del tempo x), li si riporta nel piano cartesiano. La curva su cui i punti si dispongono permette di ricavare la relazione che lega le due grandezze studiate.

Di seguito vedremo quattro tipi di leggi che intercorrono spesso tra due grandezze x e y: la proporzionalità diretta, la relazione lineare, la proporzionalità quadratica e la proporzionalità inversa.

Proporzionalità diretta

Due grandezze x e y si dicono *direttamente proporzionali* se sono legate dalla relazione

$$y = kx$$

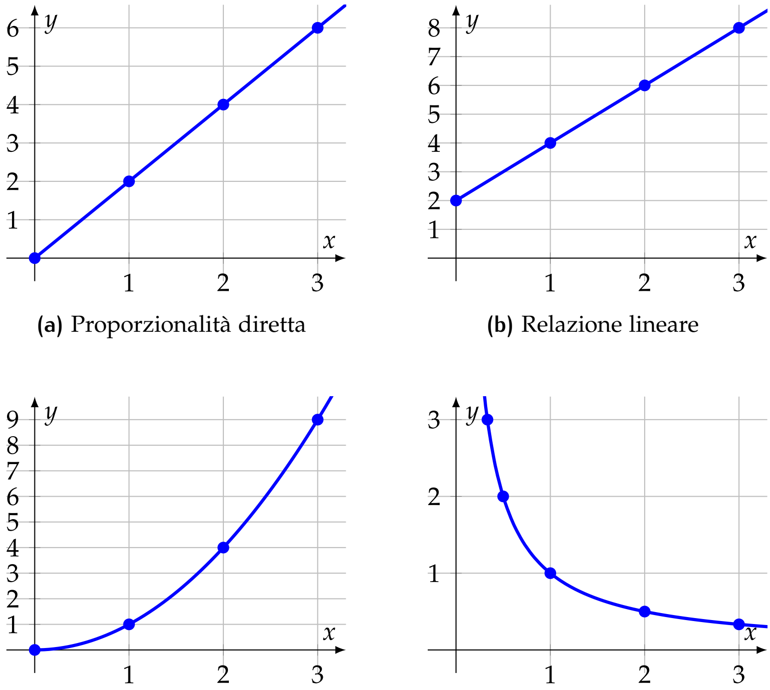
con k costante. In questo caso, se x raddoppia, triplica, eccetera, allora anche y raddoppia, triplica, eccetera. Il grafico della relazione è una retta passante per l'origine (figura 7a).

Relazione lineare

Una relazione tra le grandezze x e y si dice *lineare* se è del tipo

$$y = mx + q$$

con m e q costanti. Il grafico della relazione è una retta (figura 7b).



(a) Proporzionalità diretta

(b) Relazione lineare

(c) Proporzionalità quadratica

(d) Proporzionalità inversa

Figura 7: Leggi e loro rappresentazioni grafiche

Proporzionalità quadratica

Tra le grandezze x e y c'è una *proporzionalità quadratica* se esse sono legate dalla relazione

$$y = kx^2$$

con k costante. In questo caso, se x raddoppia, triplica, quadruplica, eccetera, y si incrementa secondo il quadrato di tali quantità, cioè diventa 4, 9, 16 volte tanto, eccetera. Il grafico della relazione è una parabola passante per l'origine (figura 7c).

Proporzionalità inversa

Due grandezze sono *inversamente proporzionali* se sono legate dalla relazione

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

con k costante. In questo caso, se x raddoppia, triplica, eccetera, allora y si dimezza, diventa un terzo, eccetera. Il grafico della relazione è un'iperbole (figura 7d).

Esercizio 11. La seguente tabella mostra i valori della posizione di un corpo in movimento al variare del tempo.

Tempo (s)	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Posizione (m)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0

Costruisci un grafico cartesiano, mettendo sulle ordinate la posizione e sulle ascisse il tempo, e stabilisci qual è la relazione tra posizione e tempo.

Soluzione. Riportiamo i dati in un piano cartesiano (figura 8). Unendo i punti del grafico otteniamo una semiretta uscente dall'origine. Il rapporto tra la posizione e il tempo è:

$$\frac{5{,}0}{1{,}0}\,\mathrm{m/s} = \frac{10{,}0}{2{,}0}\,\mathrm{m/s} = \frac{15{,}0}{3{,}0}\,\mathrm{m/s} = \frac{20{,}0}{4{,}0}\,\mathrm{m/s} = \frac{25{,}0}{5{,}0}\,\mathrm{m/s} = \frac{30{,}0}{6{,}0}\,\mathrm{m/s} = 5\,\mathrm{m}/s$$

Abbiamo ottenuto un valore costante. Pertanto la posizione (s) e il tempo (t) sono direttamente proporzionali. □

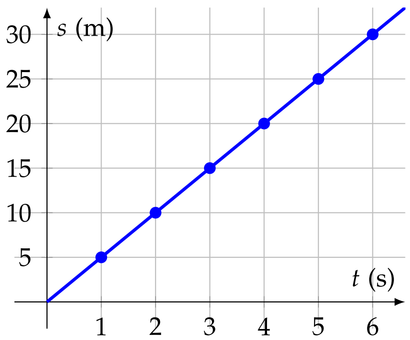


Figura 8: Grandezze direttamente proporzionali

1.6 VETTORI

Si definiscono *scalari* quelle grandezze fisiche che sono descritte in modo completo da un numero (con la relativa unità di misura). La massa di un corpo, la lunghezza di una sbarra e la temperatura dell'aria sono quantità note quando si conosce il valore numerico che le esprime (100 kg, 1 m, 30 °C, per esempio).

Ci sono però alcune grandezze per cui ciò non vale. Gli effetti di uno spostamento o di una forza, infatti, cambiano in funzione non solo dell'intensità, ma anche della direzione e del verso. Grandezze di quest'ultimo tipo si chiamano *vettoriali*. Esse sono identificate da un ente matematico chiamato *vettore*.

Definizione 13. Il segmento orientato di estremi A e B, indicato con $\overrightarrow{AB}$ o con $\vec{v}$, si chiama *vettore*.

Un vettore è caratterizzato da tre elementi:

- il *modulo* (o *intensità*), indicato con $|v|$ o v, uguale alla misura del segmento;
- la *direzione*, indicata dalla retta su cui giace il segmento;
- il *verso*, indicato dalla freccia che dal primo va al secondo estremo.

Vale la *regola del trasporto*: un vettore può essere traslato lungo una qualunque direzione parallela a quella di partenza senza che questa operazione ne alteri il valore. Definiamo ora alcune operazioni con i vettori.

Somma di due vettori

Se i vettori $\vec{a}$ e $\vec{b}$ sono paralleli e hanno lo stesso verso, la loro *somma* (o *risultante*) è il vettore $\vec{R}$ che ha la stessa direzione e lo stesso verso di $\vec{a}$ e $\vec{b}$, e modulo uguale alla somma dei loro moduli (figura 9a). Se invece $\vec{a}$ e $\vec{b}$ sono paralleli e hanno verso opposto, la loro somma è il vettore che ha la direzione e il verso del vettore di modulo maggiore, e modulo uguale alla differenza del moduli (figura 9b).

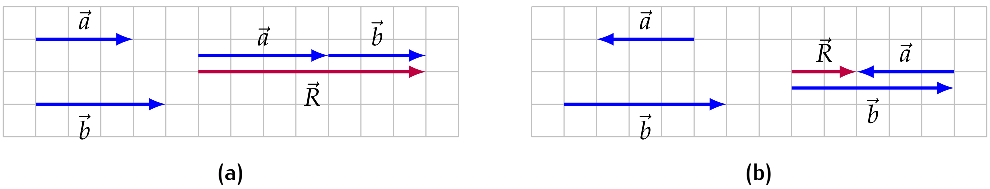
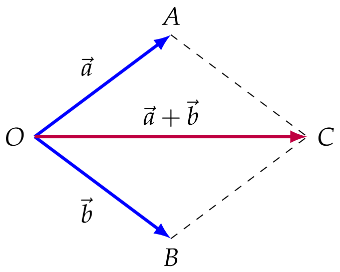
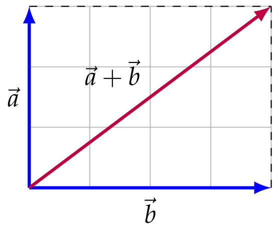


Figura 9: Somma di due vettori paralleli

Se i vettori $\vec{a}$ e $\vec{b}$ non sono paralleli, si sommano con la *regola del parallelogramma*: si rappresentano $\vec{a}$ e $\vec{b}$ in modo che abbiano la stessa origine (eventualmente traslandoli con la regola del trasporto) e si costruisce il parallelogramma avente come lati quelli individuati dai due vettori: il vettore somma è la diagonale del parallelogramma uscente dall'origine (figura 10a). I vettori $\vec{a}$ e $\vec{b}$ si chiamano *componenti*.



(a)



(b)

Figura 10: Regola del parallelogramma

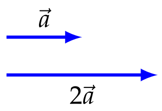
Esercizio 12. Osserva la figura 10b. Calcola il modulo della somma tra $\vec{a}$ e $\vec{b}$, sapendo che a e b valgono rispettivamente 3 u e 4 u.

Soluzione. Il modulo della somma è, per il teorema di Pitagora:

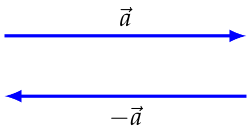
$$\sqrt{a^2+b^2} = \sqrt{3^2+4^2}\,\mathrm{u} = \sqrt{25}\,\mathrm{u} = 5\,\mathrm{u} \qquad \square$$

Prodotto di uno scalare per un vettore

La somma di due vettori uguali ad $\vec{a}$ è indicata con $2\vec{a}$. Il vettore $2\vec{a}$, prodotto del numero 2 per il vettore $\vec{a}$, rappresenta perciò un vettore avente la stessa direzione e lo stesso verso di $\vec{a}$, e modulo pari al doppio del modulo di $\vec{a}$ (figura 11a).



(a) Vettori $\vec{a}$ e $2\vec{a}$



(b) $-\vec{a}$ è l'opposto di $\vec{a}$

Figura 11: Prodotto di uno scalare per un vettore

Più in generale, si definisce *prodotto* $k\vec{a}$ di un numero k per un vettore $\vec{a}$ il vettore che ha la stessa direzione di $\vec{a}$, lo stesso verso o quello opposto secondo che k sia positivo o negativo, e modulo uguale al prodotto tra il valore assoluto di k e il modulo di $\vec{a}$. In particolare, il vettore $-\vec{a}$, chiamato *opposto* di $\vec{a}$, ha lo stesso modulo e la stessa direzione di $\vec{a}$ e verso opposto (figura 11b).

Differenza di due vettori

La somma del vettore $\vec{a}$ con l'opposto di $\vec{b}$, cioè con $-\vec{b}$, è definita *differenza* di $\vec{a}$ e $\vec{b}$ e viene indicata con la notazione $\vec{a}-\vec{b}$.

1.7 ESERCIZI

Chi non risolve esercizi non impara la fisica.

Misura delle grandezze fisiche

1 Vero o falso?

a. L'unità di misura della lunghezza nel Sistema Internazionale è il millimetro. [V] [F]

b. In un giorno (24 ore) ci sono più di 1000 minuti. [V] [F]

c. In un anno ci sono circa $3 \cdot 10^7$ secondi. [V] [F]

d. Centimetro, minuto e grammo sono unità di misura fondamentali nel Sistema Internazionale. [V] [F]

e. La sensibilità di uno strumento è il valore massimo che lo strumento può misurare. [V] [F]

[2 affermazioni vere e 3 false]

2 Indica la risposta corretta.

a. La fisica si occupa di tutto quello che si può:

[A] studiare [B] contare [C] descrivere [D] misurare

b. Ipotizzando che tu abbia scelto come unità di misura il *gonfio* (unità stabilita da te), contrariamente al resto dell'umanità che continua a usare il m^3, allora:

[A] non potresti più misurare i volumi

[B] potresti ancora misurare i volumi, ma nessuno ti capirebbe

[C] le tue misure sarebbero meno precise

[D] le tue misure sarebbero più precise

c. L'unità di misura del tempo nel Sistema Internazionale è:

[A] il secondo [B] il minuto [C] l'ora [D] l'anno

d. L'unità di misura della massa nel Sistema Internazionale è:

[A] il grammo [C] il chilogrammo

[B] l'ettogrammo [D] il quintale

e. Quale dei seguenti gruppi di unità di misura, appartiene totalmente al Sistema Internazionale?

A metro, chilogrammo, secondo
B centimetro, secondo, grammo
C chilometro, minuto, chilogrammo
D millimetro, minuto, grammo

[2 risposte A, 1 B, 1 C e 1 D]

Notazione scientifica

3 Esprimi in notazione scientifica i seguenti numeri.

a. 1234
b. 34 000
c. 490 000
d. 990 000
e. 26 000 000
f. 126 000 000
g. 0,000 01
h. 0,000 083
i. 0,000 008 1
j. 0,000 004 56
k. 0,000 000 987
l. 0,000 000 735 1

4 Disponi in ordine di distanza dal Sole i seguenti pianeti, in base alla distanza media in km riportata tra parentesi: Mercurio ($5{,}8 \cdot 10^7$), Nettuno ($4{,}5 \cdot 10^9$), Giove ($7{,}8 \cdot 10^8$), Plutone ($5{,}9 \cdot 10^9$), Urano ($2{,}9 \cdot 10^9$), Terra ($1{,}5 \cdot 10^8$), Marte ($2{,}3 \cdot 10^8$).

5 Si dice che nell'universo ci siano 100 miliardi di galassie e che ciascuna contenga 100 miliardi di stelle. Se tutte fossero come il Sole, la cui massa è di circa $2 \cdot 10^{30}$ kg, a quanto ammonterebbe la massa di tutte le stelle dell'universo messe insieme? [$2 \cdot 10^{52}$ kg]

6 Indica l'ordine di grandezza dei seguenti numeri:

a. $3{,}4 \cdot 10^{15}$
b. $1{,}2 \cdot 10^{3}$
c. $4{,}26 \cdot 10^{27}$
d. $2{,}5 \cdot 10^{11}$
e. $4{,}5 \cdot 10^{31}$
f. $5{,}1 \cdot 10^{-3}$
g. $7{,}32 \cdot 10^{-12}$
h. $6{,}2 \cdot 10^{-15}$
i. $2{,}3 \cdot 10^{-5}$
j. $4{,}17 \cdot 10^{-25}$
k. $9{,}0 \cdot 10^{9}$
l. $6{,}6 \cdot 10^{-27}$

Misure dirette e indirette

7 Vero o falso?

a. Una misura si dice indiretta quando lo strumento di misura è lontano dall'oggetto da misurare. V F

b. 100 litri d'acqua pesano un quintale (100 kg). V F

c. La densità è il prodotto tra la massa e il volume di un corpo. V F

d. Nel Sistema Internazionale, la densità si misura in g/cm^3. V F

e. La massa di 500 g di acciaio è uguale alla massa di 500 g di gommapiuma. V F

[2 affermazioni vere e 3 false]

8 Un campione di sangue di volume $3{,}5\,\text{cm}^3$ ha una massa di 3,71 g. Determinane la densità. [$1060\,\text{kg}/\text{m}^3$]

9 In una bombola ci sono 10 l di un gas di massa $5 \cdot 10^{-3}$ kg. Qual è la densità del gas? $[0{,}5\,\mathrm{kg/m^3}]$

10 Un gas è contenuto in un cilindro. Il cilindro ha un diametro di 24 cm e un'altezza di 32 cm. La masse del gas contenuto è 2 g. Qual è la densità del gas? $[0{,}14\,\mathrm{kg/m^3}]$

11 Sapendo che la densità di un corpo ha il valore di $0{,}58 \cdot 10^3\,\mathrm{kg/m^3}$ (legno di abete) e che la sua massa è di 113,68 kg, determinane il volume di $\mathrm{dm^3}$. $\left[196\,\mathrm{dm^3}\right]$

12 Sapendo che la densità di un corpo ha il valore di $2{,}7 \cdot 10^3\,\mathrm{kg/m^3}$ (alluminio) e che la sua massa è di 66,15 kg, determinane il volume in $\mathrm{dm^3}$. $\left[24{,}5\,\mathrm{dm^3}\right]$

13 Un cilindro omogeneo di gesso (densità $2,32 \cdot 10^3\,\mathrm{kg/m^3}$ ha un diametro di 5 cm e un'altezza di 12 cm. Calcola la sua massa. $[0{,}55\,\mathrm{kg}]$

14 Un cono omogeneo di ghiaccio (densità $9{,}17 \cdot 10^2\,\mathrm{kg/m^3}$) ha un diametro di 8 cm e un'altezza di 15 cm. Calcola la sua massa. (*Suggerimento*: la formula del volume del cono è: $V = \pi R^2 \cdot h/3$.) $[0{,}23\,\mathrm{kg}]$

15 Un oggetto di legno ha massa di 476 g e volume di 545 ml. Qual è la sua densità? $[0{,}873\,\mathrm{g/cm^3}]$

Incertezze di misura

16 Indica la risposta corretta.

a. Data l'intensità di corrente elettrica $I = (0{,}85 \pm 0{,}05)$ A, ottenuta da una lettura diretta sullo strumento, quale delle seguenti affermazioni è *errata*?

- A La misura è 0,85.
- B I è il simbolo della grandezza e A l'unità di misura
- C $0,05$ A è l'incertezza e 0,85 A è il valore della grandezza
- D L'incertezza di sensibilità è 0,05 A.

b. L'incertezza relativa è definita come:

- A il rapporto tra il valore della grandezza e la sua incertezza
- B la somma tra il valore della grandezza e la sua incertezza
- C il rapporto tra l'incertezza e il valore della grandezza
- D il prodotto tra l'incertezza e il valore della grandezza

c. Quale tra le seguenti affermazioni sull'incertezza è corretta?

- A Volendo, può essere completamente eliminata

B Ogni misura è inevitabilmente accompagnata da un'incertezza

C L'incertezza di sensibilità non dipende dallo strumento impiegato

D L'incertezza statistica è un particolare errore sistematico

d. Quale tra le seguenti affermazioni sull'incertezza relativa è corretta?

A È un numero puro, cioè privo di unità di misura

B Può essere minore, uguale o maggiore di 1

C È un altro modo per chiamare l'incertezza di sensibilità di uno strumento

D Ha la stessa unità di misura del valore della grandezza cui si riferisce

e. Data la misura $S = (1{,}25 \pm 0{,}05)\,\mathrm{m}^2$, la sua incertezza relativa vale:

A $0{,}05\,\mathrm{m}^2$ B $0{,}05$ C $0{,}04\,\mathrm{m}^2$ D $0{,}04$

f. In presenza di una singola misura:

A l'incertezza è data dalla differenza tra la misura maggiore e la misura minore

B come incertezza si considera l'incertezza di sensibilità

C la migliore stima della grandezza è il valore ottenuto più volte

D la migliore stima della grandezza è data dalla media delle misure

g. In presenza di misure ripetute:

A l'incertezza è data dalla differenza tra la misura maggiore e la misura minore

B come incertezza si considera l'incertezza di sensibilità

C la migliore stima della grandezza è il valore ottenuto più volte

D la migliore stima della grandezza è data dalla media delle misure

[2 risposte A, 2 B, 1 C e 2 D]

17 Vero o falso?

a. In qualunque misura c'è un margine di incertezza. V F

b. L'incertezza assoluta non ha unità di misura. V F

c. L'incertezza relativa ha la stessa unità di misura della grandezza cui si riferisce. V F

d. Le cifre significative di una misura sono rappresentate dalle cifre certe più la prima cifra incerta. V F

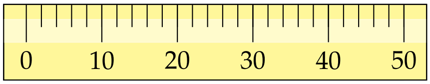
e. L'incertezza relativa permette di valutare la precisione di una misura. V F

f. Un errore nella taratura di uno strumento è un esempio di incertezza statistica. [V] [F]

g. Gli errori sistematici devono essere individuati ed eliminati. [V] [F]

[4 affermazioni vere e 3 false]

18 Considera lo strumento rappresentato nella figura seguente (non in scala).



cm

Qual è incertezza di sensibilità? [1 cm]

19 I risultati dei primi tre posti di una gara di nuoto sono espressi dai seguenti tempi:

$$51{,}22\,\mathrm{s} \qquad 51{,}24\,\mathrm{s} \qquad 51{,}27\,\mathrm{s}$$

Qual è la sensibilità del cronometro impiegato? [0,01 s]

20 Sono state misurate le seguenti grandezze:

$$t = (0{,}95 \pm 0{,}01)\,\mathrm{s} \qquad l = (23{,}5 \pm 0{,}1)\,\mathrm{cm}$$

Calcola le rispettive incertezze relative. [$\approx 1\%$; $\approx 0{,}4\%$]

21 Sono state misurate le seguenti grandezze:

$$v = (112 \pm 4)\,\mathrm{km/h} \qquad g = (9{,}81 \pm 0{,}01)\,\mathrm{m/s^2} \qquad T = (36{,}8 \pm 0{,}1)\,^\circ\mathrm{C}$$

Calcola le rispettive incertezze relative. [$\approx 4\%$; $\approx 0{,}1\%$; $\approx 0{,}2\%$]

22 Sono state misurate le seguenti grandezze:

$$A = (100 \pm 5)\,\mathrm{g} \qquad B = (50 \pm 2)\,\mathrm{g} \qquad C = (40 \pm 1)\,\mathrm{g} \qquad D = (8{,}0 \pm 0{,}5)\,\mathrm{g}$$

Determina, motivando la risposta, la misura più precisa. [C]

23 Sono state misurate le seguenti grandezze:

$$A = (800 \pm 8)\,\mathrm{s} \qquad B = (1500 \pm 7)\,\mathrm{s} \qquad C = (40 \pm 1)\,\mathrm{s} \qquad D = (1000 \pm 9)\,\mathrm{s}$$

Qual è la più precisa? [B]

24 L'incertezza relativa di una misura diretta è 0,02. Se il valore della grandezza è 250 cm, quanto vale l'incertezza di sensibilità dello strumento? [5 cm]

25 L'incertezza relativa di una misura è paria a 0,00625. Trova l'incertezza assoluta della grandezza, sapendo che il valore della grandezza è 80,0 kg. [0,5 kg]

26 In una serie di dieci misure del diametro di un filo metallico, si sono ottenuti i seguenti valori espressi in millimetri:

$$4{,}38 \quad 4{,}43 \quad 4{,}39 \quad 4{,}44 \quad 4{,}38 \quad 4{,}39 \quad 4{,}44 \quad 4{,}42 \quad 4{,}41 \quad 4{,}42$$

Calcola la media. [4,41 mm]

27 La misura di una massa è (400 ± 2) g. Se la stessa misura viene espressa in milligrammi, quanto vale l'incertezza assoluta? E l'incertezza relativa? [2000 mg; 0,5%]

28 Le misure della lunghezza e della larghezza di un tavolo sono 160 cm e 80 cm, con l'incertezza relativa dell'1%. Calcola la misura del perimetro e dell'area con l'incertezza assoluta. $\left[(480 \pm 5)\ \text{cm}; (1{,}28 \pm 0,03)\ \text{m}^2\right]$

29 Le misure della lunghezza e della larghezza di un tavolo sono 160 cm e 80 cm, con l'incertezza relativa dell'1%. Calcola la misura del perimetro e dell'area con l'incertezza assoluta. $\left[(480 \pm 5)\ \text{cm}; (1{,}28 \pm 0,03)\ \text{m}^2\right]$

30 Un insegnante di Fisica, per mostrare che le misure di uno stesso oggetto sono soggette a intertezze che dipendono dall'osservatore, ha fatto misurare la lunghezza di una cattedra con un metro a ciascun alunno della propria classe. I risultati sono stati i seguenti:

Misura	1	2	3	4	5
Lunghezza (cm)	100,8	100,9	101,0	101,1	101,2

Qual è la lunghezza media della cattedra? [101,0 cm]

Leggi e loro rappresentazioni grafiche

31 Indica la risposta corretta.

a. Due grandezze A e B sono tra loro direttamente proporzionali se:

- A $A \cdot B =$ costante
- C $A/B =$ costante
- B $A + B =$ costante
- D $A - B =$ costante

b. Due grandezze A e B sono tra loro direttamente proporzionali se:

- A al crescere di A, B rimane costante
- B al crescere di A, B diminuisce in proporzione (se A raddoppia, B dimezza)
- C al crescere di A, B cresce in proporzione (se A raddoppia, B raddoppia)
- D al crescere di A, B varia secondo una propria legge

c. Se $Z = M \cdot N$ con M costante, quale delle seguenti affermazioni è *falsa*?

- A Z e N sono direttamente proporzionali
- B Il rapporto fra Z e N è costante
- C Il rapporto fra N e Z è costante
- D Z e N sono inversamente proporzionali

d. Da quale delle seguenti affermazioni *non* si può dedurre che x e y sono grandezze direttamente proporzionali?

A Il grafico nel piano x-y è una retta passante per l'origine

B Se x aumenta, anche y aumenta

C Il rapporto y/x è costante

D Se x raddoppia, triplica, eccetera, anche y raddoppia, triplica, eccetera

e. Se x e y hanno una relazione di proporzionalità quadratica $y = kx^2$, quale delle seguenti affermazioni è *errata*?

A Se x quadruplica, y si dimezza

B La rappresentazione grafica è una parabola

C Se x diventa un terzo, y diventa un nono

D Il rapporto y/x^2 è costante

[1 risposta A, 1 B, 2 C e 1 D]

32 Osserva le tabelle 6a e 6b. Per ciascuna di esse, stabilisci se x e y sono direttamente o inversamente proporzionali e, se lo sono, trova la loro costante di proporzionalità. [$k = 2$; $k = 10$]

Tabella 6: Tabelle con valori correlati di grandezze fisiche

(a)

x	1	2	5	10
y	2	4	10	20

(b)

x	1	2	5	10
y	10	5	2	1

33 Osserva i grafici 12a e 12b. Per ciascuno di essi, stabilisci se x e y sono direttamente o inversamente proporzionali e, se lo sono, determina la loro costante di proporzionalità. [$k = 5$ per entrambi]

34 Vero o falso?

a. Se due grandezze aumentano contemporaneamente, allora sono direttamente proporzionali. V F

b. Numero di libri uguali acquistati e cifra totale pagata sono grandezze direttamente proporzionali. V F

c. Se il rapporto tra due grandezze dà sempre lo stesso numero, esse sono direttamente proporzionali. V F

d. Se due grandezze sono direttamente proporzionali, allora la loro somma è costante. V F

e. Se due grandezze sono inversamente proporzionali, allora il loro prodotto è costante. V F

[3 affermazioni vere e 2 false]

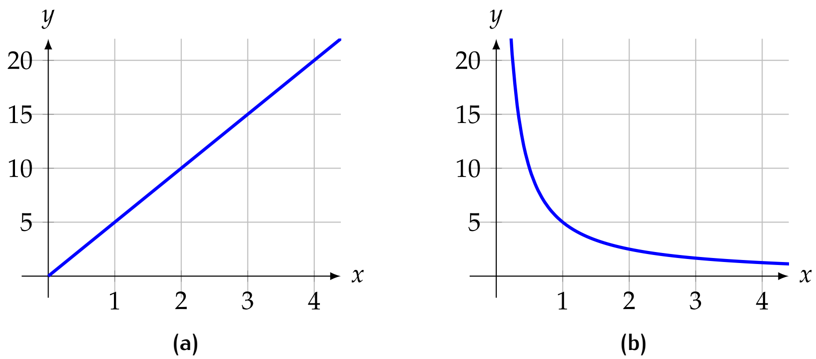


Figura 12: Grafici di relazioni tra grandezze fisiche

Vettori

35 Vero o falso?

a. I vettori sono delle forze. V F

b. La massa e la densità sono grandezze vettoriali. V F

c. Per sommare due vettori bisogna sempre sommare i loro moduli. V F

d. Se $\vec{a}$ e $\vec{b}$ sono due vettori paralleli e discordi con $a = b$, il modulo della somma è nullo. V F

e. Le forze e gli spostamenti sono grandezze vettoriali. V F

[2 affermazioni vere e 3 false]

36 Indica la risposta corretta.

a. Che cosa differenzia una grandezza scalare da una grandezza vettoriale?

A La grandezza vettoriale non ha unità di misura

B La grandezza scalare è denotata da una freccia sopra il suo simbolo letterale

C La grandezza vettoriale, oltre al modulo, possiede anche direzione e verso

D La grandezza scalare, oltre al modulo, possiede anche direzione e verso

b. Quale fra le seguenti coppie di grandezze fisiche è interamente costituita da grandezze vettoriali?

A spostamento e forza

B densità e volume

C forza e massa

D lunghezza e forza

c. La somma di due vettori paralleli e concordi ha come modulo:

A il modulo del vettore ottenuto con la regola del parallelogramma

B il modulo ottenuto dalla somma dei moduli dei due vettori

C il modulo ottenuto dalla differenza dei moduli dei due vettori

D nessuna delle precedenti

d. La somma di due vettori paralleli e discordi ha come modulo:

A il modulo del vettore ottenuto con la regola del parallelogramma

B il modulo ottenuto dalla somma dei moduli dei due vettori

C il modulo ottenuto dalla differenza dei moduli dei due vettori

D nessuna delle precedenti

e. La somma di due vettori formanti un angolo di $45°$ ha come modulo:

A il modulo del vettore ottenuto con la regola del parallelogramma

B il modulo ottenuto dalla somma dei moduli dei due vettori

C il modulo ottenuto dalla differenza dei moduli dei due vettori

D nessuna delle precedenti

f. Due vettori, di moduli 6 u e 8 u, sono perpendicolari. Il vettore somma ha modulo:

A 2 u   B 10 u   C 14 u   D 48 u

g. Le caratteristiche che identificano un vettore sono:

A angolo, modulo e direzione   C direzione, verso e angolo

B modulo, intensità e verso   D modulo, direzione e verso

[2 risposte A, 2 B, 2 C e 1 D]

2 MOTI RETTILINEI

Il problema del moto ha interessato gli scienziati fin dall'antichità. È un problema difficile da risolvere, tranne alcuni casi particolari: è complesso studiare la caduta di una foglia da un albero, mentre è molto più semplice esaminare il movimento di un'auto che procede con velocità costante su un'autostrada.

Definizione 14. Diciamo che un corpo è *in moto* quando la sua posizione varia nel tempo rispetto a un altro, assunto come riferimento.

In questo capitolo ci limiteremo al moto di un *punto materiale*, cioè di un corpo le cui dimensioni sono piccole rispetto a quelle dello spazio in cui avviene il moto.

Definizione 15. La linea descritta da un punto mobile nel tempo prende il nome di *traiettoria*.

Considereremo solo i moti *rettilinei*, cioè i moti in cui la traiettoria del punto mobile è una linea retta.

2.1 MOTO RETTILINEO UNIFORME

Consideriamo un'auto che viaggia alla *velocità* di 120 chilometri all'ora (si scrive anche 120 km/h) lungo un'autostrada rettilinea. Questo valore si legge sul tachimetro. Ciò significa che l'auto in un'ora percorre lo spazio di 120 km, in mezz'ora percorre 60 km e così via. Il moto dell'auto è *uniforme* se la lancetta sul tachimetro segna sempre la stessa velocità; se la lancetta si sposta il moto è *vario*. I moti uniformi sono rari: l'auto può muoversi con velocità costante solo se non c'è traffico.

Definizione 16. Si dice che un punto materiale si muove di moto rettilineo *uniforme* se il rapporto $\Delta s/\Delta t$ tra lo spazio Δs percorso nell'intervallo di tempo Δt e l'intervallo stesso di tempo Δt è costante al variare del tempo. Questo rapporto costante si chiama *velocità* e si indica con v.

Quindi nel moto rettilineo uniforme è:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \tag{1}$$

Nel Sistema Internazionale la velocità si misura in m/s. Il km/h è un'unità di uso frequente e vale la seguente trasformazione:

$$1\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = \frac{(1/1000)\,\mathrm{km}}{(1/3600)\,\mathrm{h}} = 3{,}6\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$$

In un moto rettilineo uniforme il legame tra lo spazio s percorso e il tempo t impiegato a percorrerlo è espresso dalla seguente *legge oraria*:

$$s = v \cdot t + s_0 \tag{2}$$

dove v è la velocità e s_0 la posizione occupata dal mobile per $t = 0$ (figura 13).

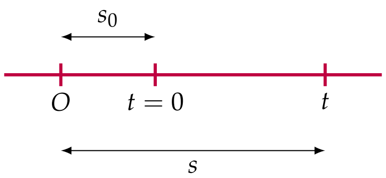


Figura 13: Spazio percorso dopo il tempo t in un moto rettilineo uniforme

NOTA BENE Quella appena definita è la *velocità scalare*. Oltre a questa, esiste la velocità vettoriale così definita: dato il vettore posizione $\vec{r}$, che ha l'origine in un punto fisso e il secondo estremo coincidente con il corpo nell'istante considerato, e il vettore spostamento $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$, che ha l'origine nella posizione iniziale e il secondo estremo nella posizione finale, la *velocità vettoriale* è $\vec{v} = \Delta\vec{r}/\Delta t$. Nei moti rettilinei, questi vettori sono paralleli alla direzione del moto (figura 14), per cui basta considerarne il modulo (con segno positivo o negativo secondo che il verso sia concorde o no con quello positivo sulla retta). Per questo motivo ci limiteremo a considerare la velocità scalare.

Diagramma orario di un moto rettilineo uniforme

Se rappresentiamo in un sistema di assi cartesiani lo spazio percorso dall'auto dell'esempio precedente in funzione del tempo, otteniamo i punti della figura 15.

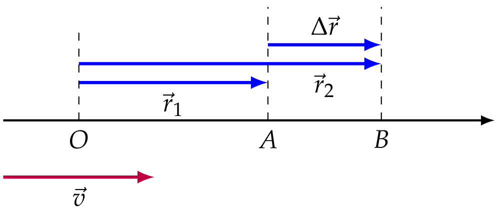


Figura 14: Velocità vettoriale nei moti rettilinei

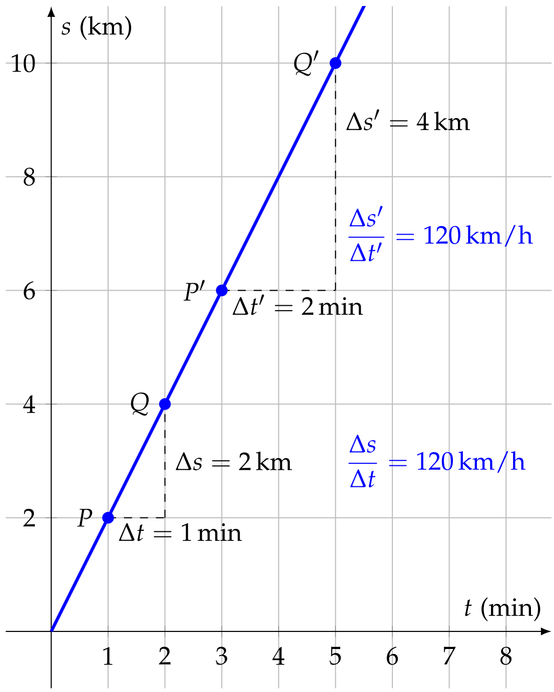


Figura 15: Diagramma orario di un'auto a 120 km/h

Facendo altre misure intermedie si possono ottenere altri punti. Qual è la linea individuata da tutti i punti? Poiché la (2) dice che la relazione tra lo spazio e il tempo è lineare, la linea cercata è una retta. Il risultato vale per tutti i moti rettilinei uniformi e viceversa un moto è rettilineo uniforme se il diagramma spazio-tempo, chiamato anche *diagramma orario*, è una retta.

La figura 15 mostra che il rapporto $\Delta s/\Delta t$ calcolato in qualunque intervallo di tempo Δt assume sempre lo stesso valore. In figura si è eseguito il calcolo in due intervalli di tempo, $\Delta t = 1\,\text{min}$ e $\Delta t' = 2\,\text{min}$, ottenendo sempre come valore del rapporto 120 km/h. A questo rapporto si dà anche il nome di *pendenza* del diagramma orario. In generale, la velocità di un moto uniforme è la pendenza costante della retta che ne rappresenta il diagramma orario.

La figura 16 mostra i diagrammi orari di auto con diverse velocità: quanto più un'auto è veloce tanto più la sua pendenza è grande.

La figura 17 rappresenta il diagramma orario di due moti rettilinei uniformi con uguale velocità. Essi sono paralleli in quanto hanno la stessa pendenza v e differiscono solo per il valore di s corrispondente all'istanze iniziale $t = 0$.

Esercizio 13. Un'auto si muove di moto rettilineo uniforme percorrendo 108 km in un'ora. Calcola la sua velocità in m/s.

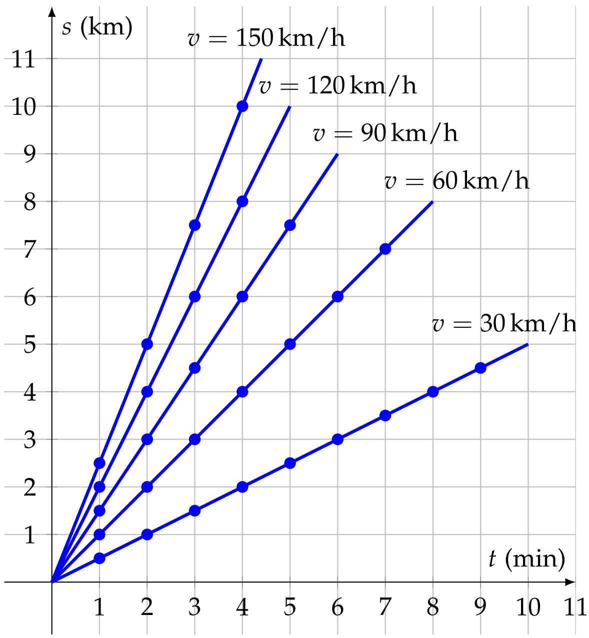


Figura 16: Diagrammi orari di auto con diverse velocità

Soluzione.

$$v = \frac{108\,\text{km}}{1\,\text{h}} = \frac{108 \cdot 1000\,\text{m}}{60 \cdot 60\,\text{s}} = \frac{108}{3600/1000}\,\text{m/s} = \frac{108}{3{,}6}\,\text{m/s} = 30\,\text{m/s}$$

Per trasformare i km/h in m/s dobbiamo sempre *dividere* per 3,6. □

Esercizio 14. Un'auto percorre 25 m in 1 s. Calcola la sua velocità in km/h.

Soluzione.

$$v = 25\,\frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{(25 \cdot 1/1000)\,\text{km}}{(1/3600)\,\text{h}} = \frac{25 \cdot 3600\,\text{km}}{1000\,\text{h}} = 25 \cdot 3{,}6\,\text{km/h} = 90\,\text{km/h}$$

Per trasformare i m/s in km/h dobbiamo sempre *moltiplicare* per 3,6. □

Esercizio 15. Un corpo si muove alla velocità di 5 m/s. Calcola lo spazio percorso dopo mezz'ora.

Soluzione. Calcoliamo la velocità del corpo in km/h:

$$v = 5 \cdot 3{,}6\,\text{km/h} = 18\,\text{km/h}$$

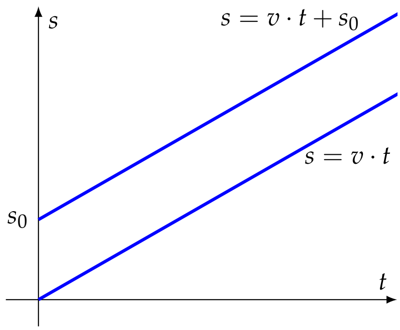


Figura 17: Diagramma orario di due moti rettilinei uniformi con uguale velocità

Sostituiamo i valori nella legge oraria (2) del moto rettilineo uniforme ($s_0 = 0$):

$$s = v \cdot t \quad \Longrightarrow \quad s = 18 \cdot 0{,}5\,\mathrm{km} = 9\,\mathrm{km} \qquad \square$$

Esercizio 16. Un corpo si muove di moto rettilineo uniforme con velocità $3\,\mathrm{m/s}$, partendo dalla posizione iniziale $s_0 = 1\,\mathrm{m}$ all'istante $t_0 = 0\,\mathrm{s}$. Calcola la posizione assunta all'istante $t_1 = 2\,\mathrm{s}$.

Soluzione. Scriviamo la relazione $s = v \cdot t + s_0$ e sostituiamo i valori:

$$s_1 = v \cdot t_1 + s_0 = (3 \cdot 2 + 1)\,\mathrm{m} = 7\,\mathrm{m} \qquad \square$$

Esercizio 17. Un'auto si muove di moto rettilineo uniforme con velocità $20\,\mathrm{m/s}$, percorrendo in totale $3{,}6\,\mathrm{km}$. Quanto tempo impiega a compiere il tragitto?

Soluzione.

$$s = v \cdot t \quad \Longrightarrow \quad t = \frac{s}{v} = \frac{3{,}6\,\mathrm{km}}{20\,\mathrm{m/s}} = \frac{3600\,\mathrm{m}}{20\,\mathrm{m/s}} = 180\,\mathrm{s} = 3\,\mathrm{min} \qquad \square$$

2.2 MOTO RETTILINEO VARIO

I moti che si presentano nella realtà non sono in generale uniformi, ma *vari*, come per esempio il moto di un'auto che si muove nel traffico di una città oppure di un atleta impegnato in una corsa.

Consideriamo il caso concreto di un atleta che percorre i $100\,\mathrm{m}$ in $10{,}9\,\mathrm{s}$. Supponiamo che siano stati misurati i tempi impiegati a raggiungere tanti traguardi

Tabella 7: Dati relativi alla corsa di un atleta che percorre i 100 m in 10,9 s

s (m)	t (s)	Δs (m)	Δt (s)	$\dfrac{\Delta s}{\Delta t}$ (m/s)
0	0,0			
10	1,5	10	1,5	6,7
20	2,7	10	1,2	8,3
30	3,5	10	0,8	12,5
40	4,2	10	0,7	14,3
50	5,0	10	0,8	12,5
60	5,9	10	0,9	11,1
70	6,9	10	1,0	10,0
80	8,1	10	1,2	8,3
90	9,4	10	1,3	7,7
100	10,9	10	1,5	6,7

lungo il percorso, distanti 10 m l'uno dall'altro. La tabella 7 riporta le misure ottenute (prima e seconda colonna): la terza colonna indica lo spazio Δs compreso tra due traguardi e la quarta l'intervallo Δt di tempo impiegato a percorrerlo, mentre nell'ultima colonna sono stati calcolati i corrispondenti valori dei rapporti $\Delta s / \Delta t$.

L'intervallo Δt di tempo impiegato dall'atleta per percorrere lo spazio $\Delta s = 10\,\text{m}$, corrispondente alla distanza tra due osservatori consecutivi, non è più costante come nel moto uniforme, ma varia tra un minimo di 0,7 s e un massimo di 1,5 s. Siamo in presenza di un *moto vario*.

Definizione 17. Un punto materiale si muove di *moto vario* se percorre spazi uguali in tempi generalmente diversi.

Velocità media

Definizione 18. La *velocità media* è il rapporto tra lo spazio percorso e il tempo impiegato a percorrerlo.

In simboli, se Δs è lo spazio percorso nell'intervallo Δt di tempo, la velocità media v_m è:

$$v_\mathrm{m} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Eseguendo il calcolo nel caso dell'atleta considerato si ottiene:

$$v_\mathrm{m} = \frac{100\,\mathrm{m}}{10{,}9\,s} = 9{,}2\,\mathrm{m/s}$$

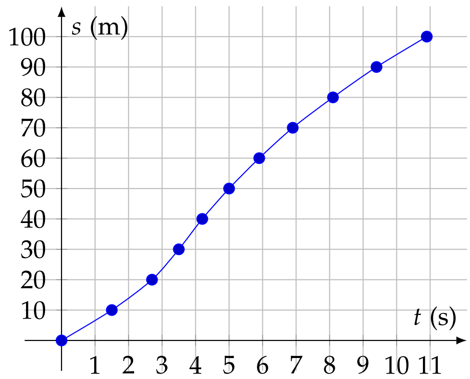


Figura 18: Diagramma orario di un atleta che percorre 100 m in 10,9 s

Possiamo anche calcolare le velocità medie con cui l'atleta compie le successive distanze di 10 m, ottenendo i risultati riportati nell'ultima colonna della tabella 7: in generale, la velocità media varia al variare dell'intervallo di tempo in cui è calcolata e assume il valore minimo di 6,7 m/s e il valore massimo di 14,3 m/s.

Le proprietà del moto si possono visualizzare ricorrendo a una rappresentazione grafica, riportando in ascisse i tempi e in ordinate le distanze (figura 18). Qual è il diagramma orario? Escludendo che questo possa essere costituito dalla spezzata avente come vertici i punti corrispondenti alle misure effettuate, in quanto in tal caso si supporrebbe che il moto in ogni intervallo di tempo fosse uniforme, è naturale supporre che il diagramma orario sia rappresentato da una linea curva come quella della figura.

Esercizio 18. Un'auto è entrata in autostrada alle 9:00, è uscita alla 11:00 e ha percorso 216 km. Qual è la sua velocità media, in m/s?

Soluzione.

$$v_\mathrm{m} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{216\,\mathrm{km}}{(11-9)\,\mathrm{h}} = \frac{216\,\mathrm{km}}{2\,\mathrm{h}} = 108\,\mathrm{km/h} = (108/3{,}6)\,\mathrm{m/s} = 30\,\mathrm{m/s} \qquad \square$$

Esercizio 19. Un'auto percorre 150 m in 6 s. Qual è la sua velocità media, in km/h?

Soluzione.

$$v_\mathrm{m} = \frac{150\,\mathrm{m}}{6\,\mathrm{s}} = 25\,\mathrm{m/s} = 25 \cdot 3{,}6\,\mathrm{km/h} = 90\,\mathrm{km/h} \qquad \square$$

Esercizio 20. Un'auto viaggia un'ora alla velocità di 120 km/h e poi per due ore alla velocità di 60 km/h. Trova la velocità media.

Soluzione.

$$v_{\mathrm{m}} = \frac{s}{t} = \frac{s_1 + s_2}{t_1 + t_2} = \frac{v_1 t_1 + v_2 t_2}{t_1 + t_2} = \frac{120 \cdot 1 + 60 \cdot 2}{1 + 2}\,\mathrm{km/h} = 80\,\mathrm{km/h} \qquad \square$$

Esercizio 21. Carlo percorre 6 km a 80 km/h e i successivi 6 km a 120 km/h. Qual è la sua velocità media? (*Suggerimento*: la risposta *non* è 100 km/h.)

Soluzione.

$$v_{\mathrm{m}} = \frac{s}{t} = \frac{s_1 + s_2}{t_1 + t_2} = \frac{s_1 + s_2}{s_1/v_1 + s_2/t_2} = \frac{6 + 6}{6/80 + 6/120}\,\mathrm{km/h} = 96\,\mathrm{km/h} \qquad \square$$

Velocità istantanea

Assistendo a una corsa riusciamo in generale a individuare quando l'atleta si muove più velocemente e quando meno velocemente. Nel caso di un'auto, la velocità istante per istante si legge direttamente sul tachimetro. Precisiamo subito che quella letta sul tachimetro è chiamata *velocità istantanea*.

Definizione 19. La *velocità all'istante* t è il valore che assume la velocità media $\Delta s/\Delta t$ quando Δt è molto piccolo.

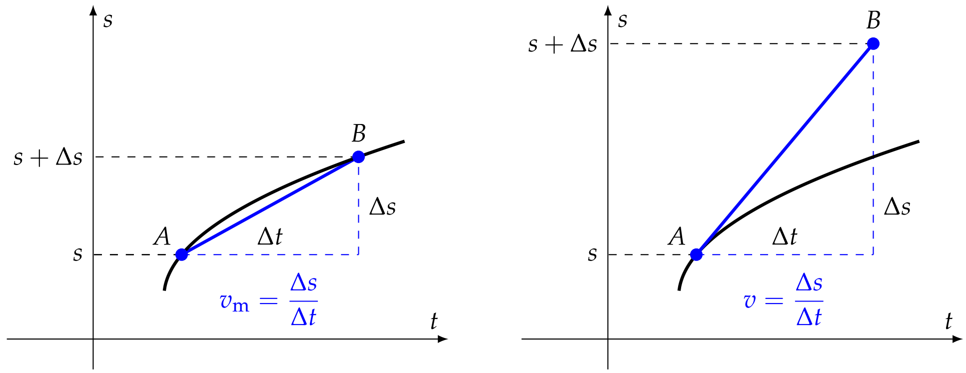
Se consideriamo il diagramma orario di un mobile, si dimostra che la velocità media (figura 19a) è misurata dalla pendenza della corda AB, mentre la velocità istantanea (figura 19b) è misurata dalla pendenza della tangente.

In un moto vario la velocità istantanea, in generale variabile da un istante all'altro, è dunque misurata dalla pendenza della retta tangente al diagramma orario nel punto di ascissa uguale all'istante considerato.

In un moto uniforme la velocità media e quella istantanea coincidono, in quanto entrambe rappresentano la pendenza del diagramma orario. In seguito, parlando di velocità, ci riferiremo sempre a quella istantanea.

Autovelox e tutor in autostrada

I concetti di velocità istantanea e velocità media sono entrambi applicati dalla polizia stradale sulle autostrade italiane. L'*autovelox* è in grado di rilevare la velocità istantanea del veicolo, mentre il *tutor* permette, con due rilevamenti, di calcolare



(a) La velocità media è la pendenza della corda del diagramma orario

(b) La velocità istantanea è la pendenza della tangente al diagramma orario

Figura 19: Velocità media e velocità istantanea

la velocità media del veicolo tra due punti presi in esame (solitamente distanti una decina di chilometri). In questo modo, anche se l'autista riesce a eludere la fotocellula che misura la velocità istantanea rallentando in prossimità della stessa, si vedrà segnalare la sanzione se la sua velocità di guida è superiore alla media consentita.

Noto il diagramma orario di un moto, possiamo ricavare delle informazioni sulla natura del moto semplicemente studiando la pendenza della retta tangente, come mostra l'esempio seguente.

Esercizio 22. Un'auto si muove su una strada rettilinea con un moto il cui diagramma orario è rappresentato nella figura 20. Determina le proprietà del moto e la distanza dalla posizione iniziale in cui si trova dopo 2 h.

Soluzione. Le proprietà del moto si determinano dividendo il diagramma orario in tre parti rappresentate dai segmenti OA, AB e BC.

- Nel primo intervallo di tempo di 30 min il diagramma orario è rettilineo ed è crescente: il moto dell'auto è perciò rettilineo uniforme con velocità uguale alla pendenza del segmento OA, cioè 120 km/h.
- Nel secondo intervallo di tempo di 1 h il diagramma orario è un segmento di pendenza nulla: durante questo intervallo di tempo l'auto è ferma.
- Nel terzo intervallo di tempo di 30 min il diagramma orario è rettilineo ed è decrescente: l'auto si muove in verso contrario a quello del tratto OA con velocità uguale alla pendenza di BC, cioè −80 km/h.

Alla fine del percorso l'auto si trova a 20 km di distanza dal punto di partenza. □

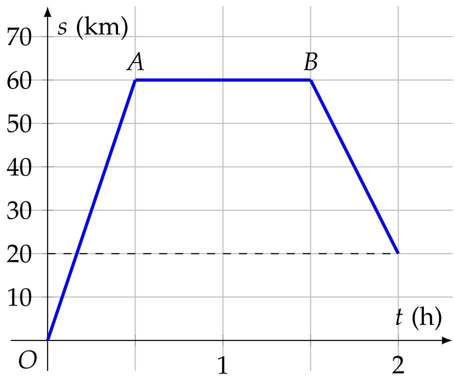


Figura 20: Studio di un moto a partire dal suo diagramma orario

Accelerazione media

Nel moto vario la velocità istantanea dipende dal tempo. Consideriamo due istanti t e $t' = t + \Delta t$, separati dall'intervallo Δt di tempo e supponiamo che le corrispondenti velocità siano v e v'. Nell'intervallo di tempo Δt si è quindi avuta la variazione di velocità $\Delta v = v' - v$. Se v' è più grande di v allora $\Delta v > 0$, mentre se v' è minore di v allora $\Delta v < 0$, cioè la variazione di velocità è positiva se la velocità aumenta, mentre è negativa se la velocità diminuisce.

Definizione 20. L'*accelerazione media* è il rapporto tra la variazione di velocità nell'intervallo di tempo Δt e l'intervallo stesso.

In simboli, se Δv è la variazione di velocità nell'intervallo di tempo Δt, l'accelerazione media a_{m} è:

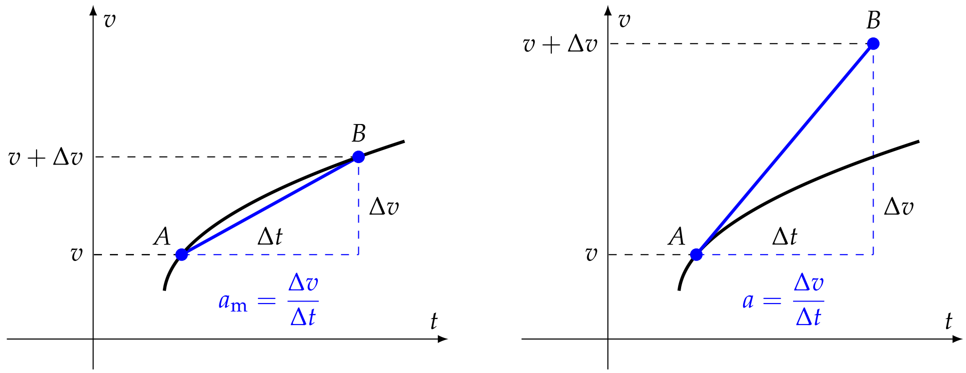
$$a_{\text{m}} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \tag{3}$$

L'accelerazione è un rapporto tra una variazione di velocità e un intervallo di tempo: le sue dimensioni sono quelle di una velocità diviso un tempo; tenendo conto delle dimensioni della velocità (uno spazio diviso un tempo), risulta che le dimensioni dell'accelerazione sono quelle di uno spazio diviso un tempo al quadrato. Nel Sistema Internazionale l'accelerazione si misura in m/s^2.

Esercizio 23. Un'auto passa in 5 secondi da 84 km/h a 120 km/h. Qual è la sua accelerazione media?

Soluzione.

$$a_{\text{m}} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(120 - 84)\,\text{km/h}}{5\,\text{s}} = \frac{36\,\text{km/h}}{5\,\text{s}} = \frac{(36/3{,}6)\,\text{m/s}}{5\,\text{s}} = 2\,\text{m/s}^2 \qquad \square$$



(a) L'accelerazione media è la pendenza della corda del diagramma velocità-tempo

(b) L'accelerazione istantanea è la pendenza della tangente al diagramma velocità-tempo

Figura 21: Accelerazione media e accelerazione istantanea

Esercizio 24. Un corpo al tempo $t_1 = 4\,\mathrm{s}$ si muove alla velocità $v_1 = 4\,\mathrm{m/s}$; al tempo $t_2 = 9\,\mathrm{s}$ la velocità è $v_2 = 14\,\mathrm{m/s}$ Qual è la sua accelerazione media?

Soluzione.

$$a_\mathrm{m} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{14 - 4}{9 - 4}\,\mathrm{m/s^2} = 2\,\mathrm{m/s^2} \qquad \square$$

Accelerazione istantanea

Analogamente a quanto fatto per la velocità istantanea, definiamo l'*accelerazione istantanea* come segue.

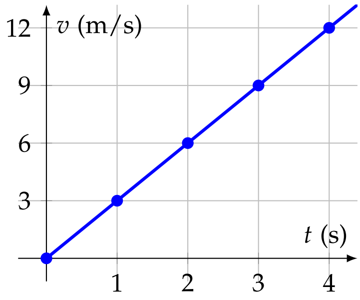
Definizione 21. L'*accelerazione all'istante* t è il valore che assume l'accelerazione media $\Delta v/\Delta t$ quando Δt è molto piccolo.

Se conosciamo il diagramma della velocità in funzione del tempo, l'accelerazione media (figura 21a) è misurata dalla pendenza della corda AB, mentre l'accelerazione istantanea (figura 21b) è misurata dalla pendenza della tangente. In seguito, parlando di accelerazione, ci riferiremo sempre a quella istantanea.

In un moto vario è sempre presente un'accelerazione, che in generale varia da un istante all'altro. I moti vari sono quelli più diffusi: ne sono esempi i moti degli atleti, degli autisti, dei corpi che cadono.

t (s)	v (m/s)
0	0
1	3
2	6
3	9
4	12

(a)



(b)

Figura 22: Velocità in funzione del tempo per un moto rettilineo uniformemente accelerato con $a = 3\,\text{m/s}^2$

NOTA BENE Quella appena definita è l'accelerazione scalare. Analogamente a quanto visto con la velocità, esiste anche l'accelerazione vettoriale: $\vec{a} = \Delta\vec{v}/\Delta t$. Nei moti rettilinei, questo vettore è parallelo alla direzione del moto, per cui basta considerarne il modulo (con segno positivo o negativo secondo che il verso sia concorde o no con quello positivo sulla retta). Per questo motivo ci limiteremo a considerare l'accelerazione scalare.

2.3 MOTO RETTILINEO UNIFORMEMENTE ACCELERATO

Il più semplice moto vario è quello rettilineo con accelerazione costante.

Definizione 22. Il *moto rettilineo uniformemente accelerato* è un moto la cui traiettoria è rettilinea e l'accelerazione è costante nel tempo.

Se l'accelerazione è costante, il mobile varia la sua velocità in uguali intervalli Δt di tempo sempre della stessa quantità Δv.

Velocità in funzione del tempo

Supponiamo che un punto mobile si muova di moto rettilineo uniformemente accelerato, con accelerazione $a = 3\,\text{m/s}^2$, e che inizialmente, cioè per $t = 0$, sia in quiete. La velocità aumenta di $3\,\text{m/s}$ in ogni secondo (tabella 22b), cui corrisponde il grafico della figura 22a. Questo grafico è una linea retta perché la sua pendenza, che rappresenta l'accelerazione, è costante nel tempo. In generale, quindi, per un moto rettilineo uniformemente accelerato il grafico velocità-tempo è una linea retta.

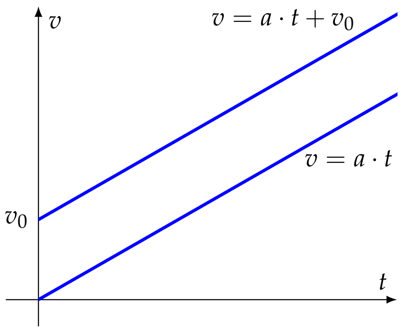


Figura 23: Diagramma velocità-tempo di due moti rettilinei uniformemente accelerati con uguale accelerazione

In un moto rettilineo uniformemente accelerato, l'equazione che esprime la velocità in funzione del tempo è

$$v = a \cdot t + v_0 \tag{4}$$

dove a è l'accelerazione e v_0 la velocità iniziale (cioè per $t = 0$).

La figura 23 mostra il diagramma velocità-tempo di due moti rettilinei uniformemente accelerati con uguale accelerazione: le due rette, avendo la stessa pendenza in quanto supponiamo uguale l'accelerazione nei due casi, sono parallele tra loro. Poiché la pendenza della retta esprime la misura dell'accelerazione, con l'aumentare della pendenza aumenta anche l'accelerazione.

Esercizio 25. Un'auto lanciata alla velocità di $108\,\mathrm{km/h}$ inizia a frenare. Supponiamo che durante la frenata il moto sia uniformemente ritardato con decelerazione $a = 3\,\mathrm{m/s^2}$. In quanto tempo si fermerà?

Soluzione. La formula (4) vale anche con accelerazione *negativa* (il moto è detto anche *decelerato*): in questo caso la velocità *diminuisce* col tempo e la (4) si scrive

$$v = -at + v_0 \tag{5}$$

in cui a è il valore assoluto dell'accelerazione. L'equazione precedente mostra che inizialmente la velocità è v_0 e diminuisce costantemente nel tempo, sicché a un certo istante è nulla e poi cambia segno. In questo caso si ha perciò un'*inversione* del moto.

Indicando con v_0 la velocità all'inizio della frenata, si applica la (5) in cui t è il tempo richiesto e v è zero. Si ha perciò:

$$0 = -at + v_0 \quad \Longrightarrow \quad t = \frac{v_0}{a}$$

Prima di sostituire i valori di a e di v_0 è necessario esprimere v_0 in m/s per avere t in secondi. Si ha

$$v_0 = 108\,\mathrm{km/h} = (108/3{,}6)\,\mathrm{m/s} = 30\,\mathrm{m/s} \quad \Longrightarrow \quad t = \frac{30}{3}\,\mathrm{s} = 10\,\mathrm{s} \qquad \square$$

Legge oraria

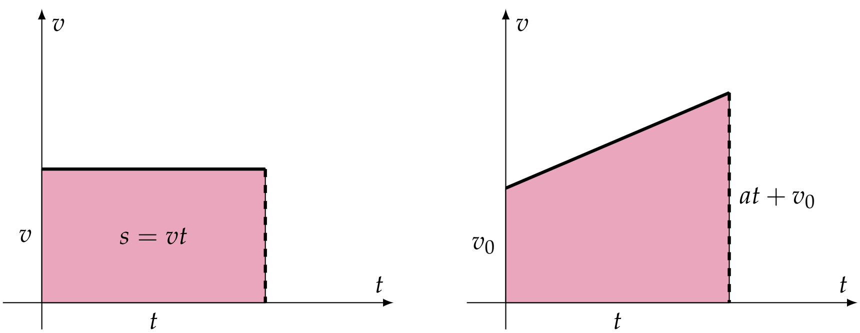
Abbiamo visto che nel moto rettilineo uniforme lo spazio percorso è uguale al prodotto della velocità per il tempo. Come si calcola lo spazio s percorso in un tempo t nel moto rettilineo uniformemente accelerato?

Nel moto uniforme la velocità è costante e quindi il diagramma velocità-tempo è una retta di equazione $v =$ costante. Lo spazio percorso, essendo il prodotto della velocità per il tempo, è rappresentato dall'area del rettangolo di figura 24a. Si dimostra che questa proprietà è generale: qualunque sia il moto, lo spazio percorso in un certo intervallo di tempo è espresso dall'area della figura delimitata dal diagramma velocità-tempo, dalle ordinate estreme (corrispondenti agli istanti iniziale e finale dell'intervallo) e dall'asse dei tempi.

Per il moto rettilineo uniformemente accelerato la figura da considerare è un trapezio (figura 24b) in cui le basi sono v_0 (nell'istante $t = 0$) e $at + v_0$ (nell'istante generico t) mentre l'altezza è t. Lo spazio percorso è pertanto l'area del trapezio:

$$s = \frac{v_0 + (at + v_0)}{2} \cdot t \quad \Longrightarrow \quad s = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t$$

In essa è $s = 0$ per $t = 0$, perché abbiamo supposto di misurare lo spazio percorso a partire dalla posizione occupata dal mobile per $t = 0$. Se invece misuriamo



(a) Lo spazio percorso in un moto rettilineo uniforme come area di un rettangolo

(b) Lo spazio percorso in un moto rettilineo uniformemente accelerato come area di un trapezio

Figura 24: Calcolo dello spazio dal diagramma velocità-tempo

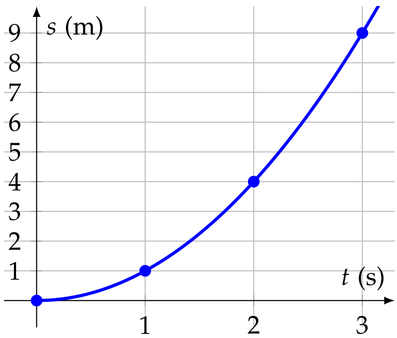


Figura 25: Diagramma orario di un moto uniformemente accelerato con $a = 2\,\mathrm{m/s^2}$

lo spazio a partire da un'altra origine O, tale che il mobile per $t = 0$ sia già a distanza s_0 da questa origine, lo spazio percorso nel tempo t diventa:

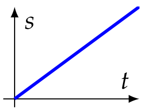
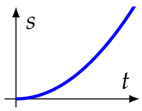
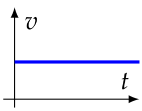
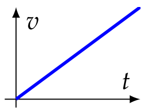
$$s = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t + s_0 \tag{6}$$

La figura 25 mostra il diagramma orario di un moto uniformemente accelerato con $a = 2\ \mathrm{m/s^2}$, $v_0 = 0$ e $s_0 = 0$.

La tabella 8 riassume la caratteristiche principali del moto rettilineo uniforme e del moto rettilineo uniformemente accelerato.

Esercizio 26. Un corpo, con accelerazione costante uguale a $3\,\mathrm{m/s^2}$, parte da fermo. Calcola la posizione del corpo e la sua velocità dopo $4\,\mathrm{s}$.

Tabella 8: Moto rettilineo uniforme e moto rettilineo uniformemente accelerato

	Moto rettilineo uniforme	**Moto rettilineo uniformemente accelerato**
Legge oraria	$s = vt$ $(s_0 = 0)$	$s = \frac{1}{2}at^2$ $(s_0 = 0, v_0 = 0)$
Velocità	$v =$ costante	$v = at$ $(v_0 = 0)$
Diagramma s-t		
Diagramma v-t		

Soluzione. Applichiamo la legge oraria del moto rettilineo uniformemente accelerato (6):

$$s = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 4^2\,\mathrm{m} = 24\,\mathrm{m}$$

Applichiamo la (4):

$$v = at = 3 \cdot 4\,\mathrm{m/s} = 12\,\mathrm{m/s} \qquad \square$$

Esercizio 27. Un corpo, con accelerazione costante, parte da fermo. Dopo 10 s la velocità è 5 m/s. Calcola la posizione del corpo dopo altri 15 s.

Soluzione. Schematizziamo i dati del problema:

$$t_0 = 0\,\mathrm{s} \quad t_1 = 10\,\mathrm{s} \quad t_2 = t_1 + 15\,\mathrm{s} = 25\,\mathrm{s} \qquad v_0 = 0\,\mathrm{m/s} \quad v_1 = 5\,\mathrm{m/s}$$

Dobbiamo applicare la legge oraria del moto rettilineo uniformemente accelerato, ma per farlo dobbiamo prima calcolare il valore dell'accelerazione:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_1 - v_0}{t_1 - t_0} = \frac{5 - 0}{10 - 0}\,\mathrm{m/s^2} = 0{,}5\,\mathrm{m/s^2}$$

da cui

$$s_2 = \frac{1}{2}at_2^2 = \frac{1}{2} \cdot 0{,}5 \cdot 25^2\,\mathrm{m} = 156{,}25\,\mathrm{m} \qquad \square$$

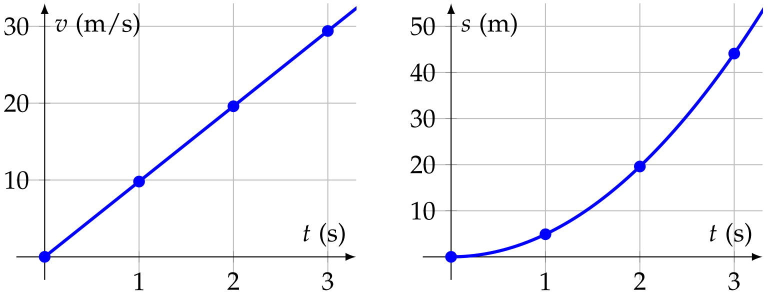
Caduta libera dei gravi

Un caso particolare di moto uniformemente accelerato è quello di un corpo, definito *grave*, che cade per effetto dell'*accelerazione di gravità*, cioè dell'accelerazione con cui gli oggetti sono naturalmente attratti verso il centro della Terra. Se il moto avviene lungo una direzione verticale (perpendicolare al suolo terrestre) si parla di movimento in *caduta libera*.

Se lasciamo cadere due oggetti di massa diversa, per esempio una pallina di ferro e un foglio di carta, la pallina arriva a terra per prima, ma se appallottoliamo il foglio di carta i due arriveranno a terra quasi contemporaneamente. Il diverso risultato è dovuto alla resistenza che l'aria oppone al moto dei corpi. Se la resistenza dell'aria è trascurabile, tutti i corpi (indipendentemente dalla loro massa, forma e dimensione) cadono con la stessa accelerazione g, che vale circa 9,8 $\mathrm{m/s^2}$.

Fissiamo come sistema di riferimento un asse verticale diretto verso il centro della Terra e lasciamo cadere da una certa quota un corpo (un sasso, per esempio). Per conoscere la posizione del grave in funzione del tempo usiamo la legge oraria del moto rettilineo uniformemente accelerato (6), sostituendo la generica accelerazione a con g:

$$s(t) = \frac{1}{2}gt^2 + v_0 t + s_0 \tag{7}$$



(a) Grafico velocità-tempo **(b)** Grafico spazio-tempo

Figura 26: Rappresentazione grafica delle leggi di caduta di un grave nel vuoto

In modo analogo possiamo calcolare la velocità istante per istante:

$$v(t) = gt + v_0 \tag{8}$$

La figura 26 rappresenta le leggi di caduta di un grave nel vuoto (con $v_0 = 0$ e $s_0 = 0$).

Esercizio 28. Un sasso inizialmente fermo viene lasciato cadere da un dirupo in un lago e impiega 3 s a raggiungere l'acqua. Calcola la velocità con cui il sasso raggiunge l'acqua e l'altezza del dirupo.

Soluzione. Con asse di riferimento orientato verso il basso, applichiamo la (8) ponendo $v_0 = 0$ e $g = 9{,}8\,\mathrm{m/s^2}$:

$$v = gt + v_0 = (9{,}8 \cdot 3 + 0)\,\mathrm{m/s} = 29{,}4\,\mathrm{m/s}$$

Per calcolare l'altezza del dirupo scriviamo la legge oraria (7) ponendo $v_0 = 0$, $s_0 = 0$ e $g = 9{,}8\,\mathrm{m/s^2}$:

$$s = \frac{1}{2}gt^2 + v_0 t + s_0 = \frac{1}{2} \cdot 9{,}8 \cdot 3^2\,\mathrm{m} = 44{,}1\,\mathrm{m} \qquad \square$$

Esercizio 29. Un sasso cade liberamente da un'altezza h, con velocità iniziale nulla. Trascurando la resistenza dell'aria, esprimi il tempo di caduta e la velocità di caduta in funzione di h.

Soluzione. Dalla (7), ponendo $s = h$, $v_0 = 0$ e $s_0 = 0$, e risolvendo rispetto a t, si trova il tempo di caduta:

$$h = \frac{1}{2}gt^2 \quad \Longrightarrow \quad t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \tag{9}$$

e sostituendo nella (8), con $v_0 = 0$, si ricava la velocità di caduta:

$$v = gt \qquad \Longrightarrow \qquad v = \sqrt{2gh} \tag{10}$$

Esercizio 30. Una goccia d'acqua cade dal sesto piano di un edificio. Quanto tempo impiega per arrivare a terra e con quale velocità giunge, supponendo che l'altezza del sesto piano sia 19,6 m e trascurando la resistenza dell'aria?

Soluzione. Per la (9) il tempo di caduta, tenendo conto che è $h = 19{,}6\,\mathrm{m}$, risulta:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 19,6}{9{,}8}}\,\mathrm{s} = 2\,\mathrm{s}$$

Per la (10):

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9{,}8 \cdot 19{,}6}\,\mathrm{m/s} = 19{,}6\,\mathrm{m/s} \approx 70{,}6\,\mathrm{km/h} \qquad \square$$

Esercizio 31. Un sasso viene lanciato verticalmente verso l'alto con velocità iniziale v_0. In quanto tempo raggiunge l'altezza massima? Qual è l'altezza massima h raggiunta? Si trascuri la resistenza dell'aria.

Soluzione. In questo caso conviene scegliere come sistema di riferimento un asse verticale diretto verso l'alto. Tenendo conto del segno dell'accelerazione di gravità, le formule (7) e (8) diventano:

$$s(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 t + s_0 \tag{11}$$

$$v(t) = -gt + v_0 \tag{12}$$

Poiché il moto è uniformemente ritardato, il sasso rallenta e quindi la sua velocità diminuisce finché diventa nulla. Il tempo impiegato per raggiungere la massima altezza si ricava pertanto dalla (12) ponendo $v = 0$:

$$v = -gt + v_0 \qquad \Longrightarrow \qquad 0 = -gt + v_0 \qquad \Longrightarrow \qquad t = \frac{v_0}{g} \tag{13}$$

L'altezza massima h raggiunta è espressa dal secondo membro della (11), sostituendo al posto di t il valore v_0/g trovato e ponendo $s_0 = 0$:

$$h = -\frac{1}{2}g\left(\frac{v_0}{g}\right)^2 + v_0\frac{v_0}{g} + 0 = -\frac{1}{2}g\frac{v_0^2}{g^2} + \frac{v_0^2}{g} = -\frac{1}{2}\frac{v_0^2}{g} + \frac{v_0^2}{g} = \frac{v_0^2}{2g} \tag{14}$$

Esercizio 32. Una pietra è lanciata verticalmente verso l'alto con velocità iniziale $v_0 = 72\,\text{km/h}$. Qual è l'altezza massima raggiunta? Quanto tempo impiega per giungere a tale altezza? Si trascuri la resistenza dell'aria.

Soluzione. Trasformiamo prima la velocità in m/s. Si ha:

$$v_0 = (72/3{,}6)\,\text{m/s} = 20\,\text{m/s}$$

Sostituendo questo valore nelle (13) e (14) si ha rispettivamente:

$$h = \frac{400}{2 \cdot 9{,}8}\,\text{m} \approx 20{,}4\,\text{m} \qquad t = \frac{20}{9{,}8}\,\text{s} \approx 2{,}04\,\text{s}$$ □

2.4 ESERCIZI

Chi non risolve esercizi non impara la fisica.

Moto rettilineo uniforme

1 Vero o falso?

a. Nel moto rettilineo uniforme la velocità è costante. V F

b. Un corpo che viaggia a $18\,\text{m/s}$ è più veloce di uno che viaggia a $18\,\text{km/h}$. V F

c. In un grafico spazio-tempo la retta rappresenta la traiettoria del moto. V F

d. Il diagramma orario di un moto rettilineo uniforme è una retta che passa sempre per l'origine. V F

e. La velocità di un moto rettilineo uniforme è la pendenza costante della retta che ne rappresenta il diagramma orario. V F

[3 affermazioni vere e 2 false]

2 Indica la risposta corretta.

a. $100\,\text{km/h}$ corrispondono a:

A circa $27{,}8\,\text{m/s}$ B $100\,\text{m/s}$ C circa $33{,}3\,\text{m/s}$ D $50\,\text{m/s}$

b. Sapendo che il tragitto casa-scuola è lungo $854\,\text{m}$, quanto tempo si impiega a percorrerlo comminando alla velocità costante di $5\,\text{km/h}$?

A circa 10 secondi
C 547 secondi
B circa 10 minuti e 15 secondi
D 700 secondi

c. In un moto rettilineo uniforme la velocità è:

A il prodotto tra lo spazio percorso e il tempo impiegato a percorrerlo

B il prodotto tra la velocità del corpo e lo spazio percorso

D la somma tra lo spazio percorso e il tempo impiegato a percorrerlo

C il rapporto tra lo spazio percorso e il tempo impiegato a percorrerlo

d. Un corpo si muove di moto rettilineo uniforme con una velocità di 90 km/h . Quanto spazio percorre in 5 ore ?

A 45 km B 180 km C 450 km D altro

e. Un corpo si muove di moto rettilineo uniforme percorrendo 90 metri in 3 secondi. Qual è la sua velocità ?

A 27 m/s B 30 m/s C 300 m/s D altro

f. Un corpo, muovendosi alla velocità di 40 m/s, ha percorso 200 m. Quanto tempo ha impiegato ?

A 5 s B 20 s C 50 s D altro

g. In relazione al grafico spazio-tempo di un moto rettilineo uniforme *non* è corretto affermare che:

A si può ricavare la velocità

B si può individuare la posizione iniziale

C per ogni valore del tempo si può trovare il corrispondente valore dello spazio

D si può dedurre la direzione della traiettoria

[2 risposte A, 2 B, 2 C e 1 D]

3 Indica la risposta corretta.

a. Se A viaggia a 36 km/h e B a 12 m/s, allora:

A A è più veloce di B

B B è più veloce di A

C A e B hanno la stessa velocità

D le velocità non si possono confrontare

b. Un pedone percorre 50 m in 20 s. La sua velocità è:

A 1000 km/h B 2,5 m/s C 70 m/s D 0,4 s/m

c. Per trasformare i m/s in km/h bisogna:

A moltiplicare per 1000 C moltiplicare per 3,6

B dividere per 3,6 D dividere per 3600

d. La figura 27a rappresenta i moti di due corpi A e B. Che cosa si può dire della loro velocità?

A I due corpi hanno la stessa velocità

B A è più veloce di B, perché al tempo zero ha già percorso una certa distanza

C B è più veloce di A, perché la retta ha una pendenza maggiore

D Non si può rispondere perché non ci sono le scale sugli assi

e. Con riferimento al grafico 27b, quale delle seguenti affermazioni è *errata*?

A il corpo è fermo

B la velocità è costante

C il tempo t e lo spazio s sono direttamente proporzionali

D il rapporto s/t è costante

f. Dopo aver esaminato il grafico spazio-tempo 27c, si può affermare che:

A il corpo è fermo C la velocità non è costante

B il corpo si allontana dall'origine D la traiettoria è una curva

g. Osserva il grafico 27d e individua l'affermazione *errata*.

A In un'ora sono stati percorsi 30 km

B In 40 minuti sono stati percorsi 20 km

C La velocità è 30 km/h

D In 20 minuti sono stati percorsi 40 km

[2 risposte A, 2 B, 2 C e 1 D]

4 Un'auto si muove di moto rettilineo uniforme percorrendo 72 km in un'ora. Calcola la sua velocità in m/s. [20 m/s]

5 Un'auto si muove di moto rettilineo uniforme percorrendo 10 m in un secondo. Calcola la sua velocità in km/h. [36 km/h]

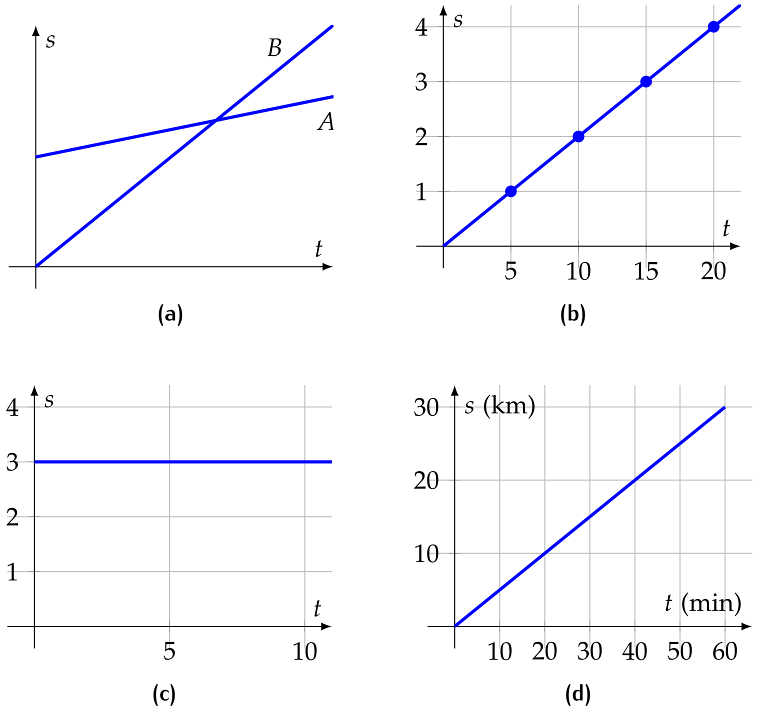


Figura 27: Diagrammi orari

6 Come si esprime il limite di velocità di 130 km/h, in vigore sulle autostrade italiane, in m/s? [36,11 m/s]

7 Un'auto percorre con moto uniforme un rettilineo di 5 km in 10 minuti. Determina la sua velocità in m/s. [8,3 m/s]

8 Un ciclista si muove alla velocità di 12 m/s. Quanto spazio percorre in 9 secondi? Quanto tempo è necessario per percorrere 144 m? [108 m; 12 s]

9 Un'auto si muove a 80 km/h. Quanto spazio percorre in mezz'ora? Dopo quanto tempo avrà percorso 240 km? [40 km; 3 h]

10 Correndo a una velocità costante di 28 m/s un ghepardo balza addosso a un piccolo di gnu dopo aver percorso un tratto di 70 m. Quanto tempo dura la corsa del ghepardo? [2,5 s]

11 Che distanza percorrerebbe il ghepardo dell'esercizio precedente se corresse per 5 s alla velocità di 28 m/s? [140 m]

12 Un treno si muove alla velocità costante di 72 km/h. Quanti metri percorre in 16 minuti? [$1{,}92 \cdot 10^4$ m]

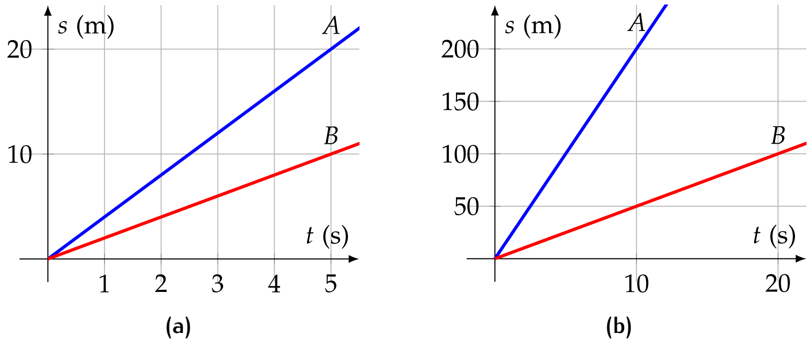


Figura 28: Diagrammi orari

13 Un atleta si muove alla velocità di 8,1 m/s. Quanti metri percorre in 6 minuti? [2916 m]

14 Un'automobile percorre 144 km in 1 h e 20 minuti. Determina la velocità in km/h e m/s. [108 km/h; 30 m/s]

15 Nel percorso da casa a scuola, che è di 5 km, Elisa impiega con il motorino 9 minuti e 22 secondi. Calcola la sua velocità, immaginando che resti costante nel tragitto. [32 km/h]

16 Un ciclista percorre la distanza di 28 km fra Cesena e Forlì alla velocità costante di 6,25 m/s. Quanto tempo impiega per andare da una città all'altra? [1 h 14 min 40 s]

17 Un'auto va da Cesena a Bologna, distanti 93 km, alla velocità costante di 130 km/h. Determina il tempo impiegato dall'auto per andare da una città all'altra. [42 min 55 s]

18 Un camion parte da Cesena e si muove lungo l'autostrada a velocità costante. Dopo 42 minuti si trova a 63 km dal punto in cui ha iniziato il viaggio. Calcola a quale distanza da Cesena si trova dopo 1 h 15 min 20 s. [113 km]

19 Osserva i grafici 28a e 28b. Determina le velocità dei due moti rappresentati in ciascun grafico. [4 m/s, 2 m/s; 20 m/s, 5 m/s]

20 Tenendo conto che la distanza Sole-Terra è 150 000 000 km e che la luce viaggia alla velocità di circa 300 000 km/s, quanti secondi impiega la luce del Sole per raggiungere la Terra? [500 s]

21 Un'auto viaggia alla velocità di 50,0 m/s. Determina la velocità in km/h e il tempo che impiega per percorrere 60 km. [180 km/h; 20 min]

22 Un'auto procede alla velocità costante di 108 km/h. Quanti chilometri percorre in 10 minuti? [18 km]

23 Un'auto di formula uno sta viaggiando a una velocità di 360 km/h. Quanti metri percorre in un decimo di secondo? [10 m]

24 Un'auto viaggia a 144 km/h. Quanti metri percorre in un minuto? Quanti centimetri in un secondo? [2400 m; 4000 cm]

25 Usain Bolt ha corso i 100 m piani in 9,58 s, e Dennis Kimetto ha vinto la maratona (42,195 km) in 2 ore, 2 minuti e 57 secondi. Quali sono state le loro velocità medie? Se Bolt avesse mantenuto il suo ritmo per un'intera maratona, quale tempo record avrebbe registrato? [37,58 km/h, 20,59 km/h; 1 h 7 min 22 s]

26 Per un violento starnuto gli occhi possono chiudersi per la durata di mezzo secondo. Se si sta guidando un'auto a 90 km/h, quanta strada si percorre in quel tempo? [12,5 m]

27 Un lanciatore di baseball lancia la palla a una velocità orizzontale di 160 km/h. Quanto tempo impiega la palla a raggiungere la base distante 18,4 m? [0,41 s]

28 Un fulmine cade a 6,5 km di distanza da Luca. Sapendo che il suono viaggia alla velocità di circa 340 m/s, quanto tempo passa prima che Luca senta il tuono? [19,1 s]

29 Durante una gita in montagna, un ragazzo è giunto di fronte a una parete di roccia, e lancia un grido di richiamo ai suoi compagni rimasti 60 metri indietro. Questi sentono prima la voce diretta e dopo 5 secondi ne sentono l'eco. Sapendo che la velocità del suono vale circa 340 m/s, calcola quanto tempo prima dei compagni il ragazzo sente l'eco e a quale distanza dalla parete si trova. [0,18 s; 850 m]

30 Un treno lungo 150 metri entra in una galleria lunga 850 metri. Sapendo che impiega 25 s per uscire completamente dalla galleria, qual è la velocità del treno? [144 km/h]

31 Andrea e Beatrice fanno una gara a chi arriva primo a un traguardo distante 18 metri dalla loro posizione iniziale. Convinto di vincere, Andrea parte 2 secondi dopo Beatrice. Sapendo che Andrea e Beatrice corrono a una velocità pari, rispettivamente, a 3,5 m/s e 2,5 m/s, chi vincerà? (Fai l'ipotesi che le velocità siano costanti.) [Andrea]

32 Arianna e Bruno si trovano a una distanza di 30 metri. Arianna si dirige verso Bruno a una velocità di 3 m/s; Bruno indugia per 3 secondi, dopo i quali le va incontro percorrendo 4 metri ogni 2 secondi. Quanti metri deve percorrere Arianna per incontrare Bruno? [21,6 m]

33 Alberto e Barbara si sfidano sui 100 metri piani. Alberto vince tagliando il traguardo in 10 s, mentre Barbara è staccata di 5 metri. Decidono allora di fare un'altra sfida; Barbara vuole però, visto l'esito precedente, che Alberto parta 5 metri dietro. Alberto accetta. Chi vincerà ora? [Alberto]

34 Argo è il cane di Biagio. Un giorno il cancello di casa viene lasciato aperto e Argo fugge a una velocità di 20 km/h. Dopo 90 secondi, Biagio si accorge dell'accaduto e prende lo scooter, mettendosi all'inseguimento a 50 km/h. Stabilisci quanto dura l'inseguimento e quanta strada ha percorso Biagio per riprendere Argo. [2 min 30 s; 833 m]

35 La polizia sta inseguendo un ladro che ha svaligiato un negozio; quest'ultimo ha un vantaggio di 2 km ma viaggia con un furgone poco veloce (108 km/h), mentre la polizia lo segue a 144 km/h. Stabilire quanto dura l'inseguimento e quanta strada ha percorso la polizia per acciuffare il ladro. [3 min 20 s; 8 km]

36 Un gatto (15 m/s) sta rincorrendo un topolino (5 m/s). La distanza iniziale tra i due è di 15 m. Quanta strada deve percorrere il gatto per prendere il topolino? [22,5 m]

37 Due treni, distanti 200 m, si stanno venendo incontro (su due binari diversi); le loro velocità sono 35 m/s e 45 m/s. Dopo quanto tempo si incontreranno? [2,5 s]

Moto vario

38 Indica la risposta corretta.

a. In un certo istante Marco sta viaggiando in auto con velocità di 90 km/h. Se dopo 3 minuti il tachimetro segna come velocità 144 km/h, qual è stata approssimativamente la sua accelerazione, immaginando che sia stata costante?

A 0,36 m/s^2 B 0,083 m/s^2 C 0,083 m/s D 0,36 m/s

b. Matteo sta viaggiando in auto a 70 km/h quando comincia a frenare. Se per arrestarsi impiega 6 secondi, quale è stato approssimativamente il modulo della sua accelerazione media?

A 11,7 m/s^2 B 3,2 m/s^2 C 3,2 m/s D 11,7 m/s

c. La figura 29a rappresenta la distanza percorsa da un'auto in funzione del tempo. Quale delle seguenti affermazioni è *sbagliata*?

A L'auto è stata ferma per un'ora

B L'auto è ritornata al punto di partenza

C Il viaggio è durato tre ore

D Nella prima ora il modulo della velocità media è maggiore che nell'ultima ora

d. Qual è la velocità media sull'intero percorso dell'auto del quesito precedente?

A 50 km/h B 100 km/h C 150 km/h D 200 km/h

e. Dal grafico spazio-tempo rappresentato nella figura 29b, quale tra le seguenti affermazioni è *errata*?

A Nel tratto OA la velocità è di 3 m/s

B La velocità è la stessa mentre il corpo percorre i tratti OA e BC

C Durante tutto il moto la velocità è costante

D Nell'intervallo di tempo da $t = 1\,s$ a $t = 4\,s$ il corpo è fermo

f. Osserva il diagramma orario 29c e calcola la velocità media del corpo.

A 3 m/s B 4 m/s C 5 m/s D 6 m/s

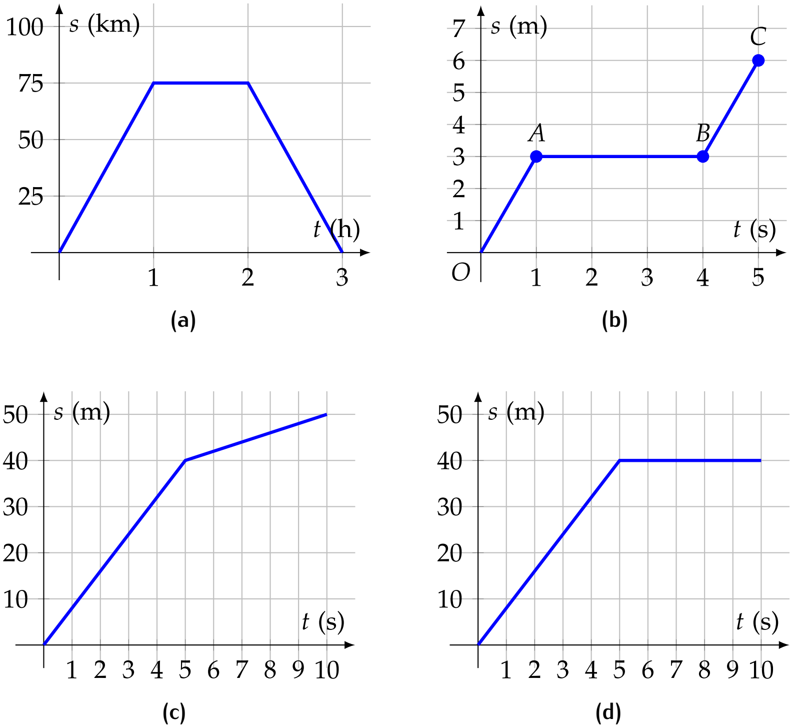


Figura 29: Diagrammi orari

g. Osserva il diagramma orario 29d e calcola la velocità media del corpo.

A	3 m/s	B	4 m/s	C	5 m/s	D	6 m/s

[2 risposte A, 2 B, 2 C e 1 D]

39 Un ciclista percorre 6 km in 9 minuti. Qual è la sua velocità media? [11,1 m/s]

40 Un treno percorre 80 km in 1 ora e 10 minuti. Qual è la sua velocità media in m/s e km/h? [19 m/s; 68,6 km/h]

41 Dario percorre il tragitto casa-ufficio di 1 km impiegando 8 minuti per i primi 600 metri e dopo una sosta di 4 minuti in un bar il restante tratto in 6 minuti. Qual è la velocità media di Dario sull'intero tragitto? [0,93 m/s]

42 In una piscina di 25 m Sara ha percorso la vasca nella fase di andata in 12 s e in fase di ritorno in 15 s. Calcola la velocità media di Sara sull'intero percorso. [1,85 m/s]

43 Se Matteo impiega 7 minuti per andare da casa sua alla fermata dell'autobus, camminando alla velocità media di 2,5 m/s, quale distanza percorre? [1050 m]

44 Quale distanza ha percorso un camion in 1 h e 34 min, se ha viaggiato alla velocità media di 75 km/h? [117,5 km]

45 Se un impiegato per recarsi al lavoro percorre in motorino 8 km alla velocità media di 36 km/h, quanto tempo impiega per raggiungere la sede di lavoro? [13 min 20 s]

46 Un aereo sta volando a una velocità media di 900 km/h. Quanto tempo impiega per percorrere 3000 km? [3 h 20 min]

47 Un'auto viaggia per un tempo t alla velocità di 40 km/h, percorrendo uno spazio s, e poi per lo stesso tragitto alla velocità di 80 km/h. Trova la velocità media. [53,3 km/h]

48 Un'auto ha percorso 300 km; sapendo che la velocità media è stata di 90 km/h, determina la durata del viaggio. [3 h 20 min]

49 Francesca percorre 6 km in 4 minuti e i successivi 10 km in 10 minuti. Qual è la sua velocità media? [68,6 km/h]

50 Un'automobile viaggia per 240 km alla velocità media di 60 km/h e per i successivi 240 km alla velocità media di 120 km/h. Calcola la velocità media durante l'intero percorso. [80 km/h]

51 Un'auto percorre una distanza di 50 km in 30 minuti a velocità costante. In seguito si ferma in una piazzola di sosta per 20 minuti, prima di ripartire e viaggiare a una velocità di 90 km/h per 2 ore. Calcola la velocità media dell'auto lungo ogni tragitto e lungo tutto il viaggio. [100 km/h, 0 km/h, 90 km/h; 81,2 km/h]

52 Il grafico 30a riporta l'andamento della velocità di un corpo in relazione al tempo: Descrivi il moto del corpo e calcola lo spazio percorso in totale dal corpo lungo i 10 s di tragitto. [30 m]

53 Osserva il diagramma 30b e stabilisci se le seguenti affermazioni sono vere o false.

a. Nell'intervallo di tempo compreso tra gli istanti $t = 0\,\text{s}$ e $t = 2\,\text{s}$ il moto è rettilineo uniforme. $\boxed{\text{V}}$ $\boxed{\text{F}}$

b. Nell'intervallo di tempo compreso tra gli istanti $t = 2\,\text{s}$ e $t = 4\,\text{s}$ la velocità del corpo è costante. $\boxed{\text{V}}$ $\boxed{\text{F}}$

c. Nell'intervallo di tempo compreso tra gli istanti $t = 4\,\text{s}$ e $t = 6\,\text{s}$ il corpo si muove alla velocità di 5 m/s. $\boxed{\text{V}}$ $\boxed{\text{F}}$

d. Nell'intervallo di tempo compreso tra gli istanti $t = 6\,\text{s}$ e $t = 8\,\text{s}$ l'accelerazione è costante. $\boxed{\text{V}}$ $\boxed{\text{F}}$

e. Nell'intervallo di tempo compreso tra gli istanti $t = 6\,\text{s}$ e $t = 10\,\text{s}$ il corpo si muove di moto vario. $\boxed{\text{V}}$ $\boxed{\text{F}}$

[3 affermazioni vere e 2 false]

54 Il grafico 30c riporta l'andamento della velocità di un corpo in relazione al tempo: Calcola lo spazio percorso in totale dal corpo lungo i 10 s di tragitto. [25 m]

55 Il grafico 30d rappresenta l'andamento della velocità di un punto materiale in funzione del tempo. Qual è lo spazio percorso nell'intervallo di tempo compreso tra gli istanti $t = 0\,\text{s}$ e $t = 5\,\text{s}$? Qual è la sua velocità media sull'intero percorso? A quale istante ha percorso esattamente 8 m? [12,5 m; 2,5 m/s; 4 s]

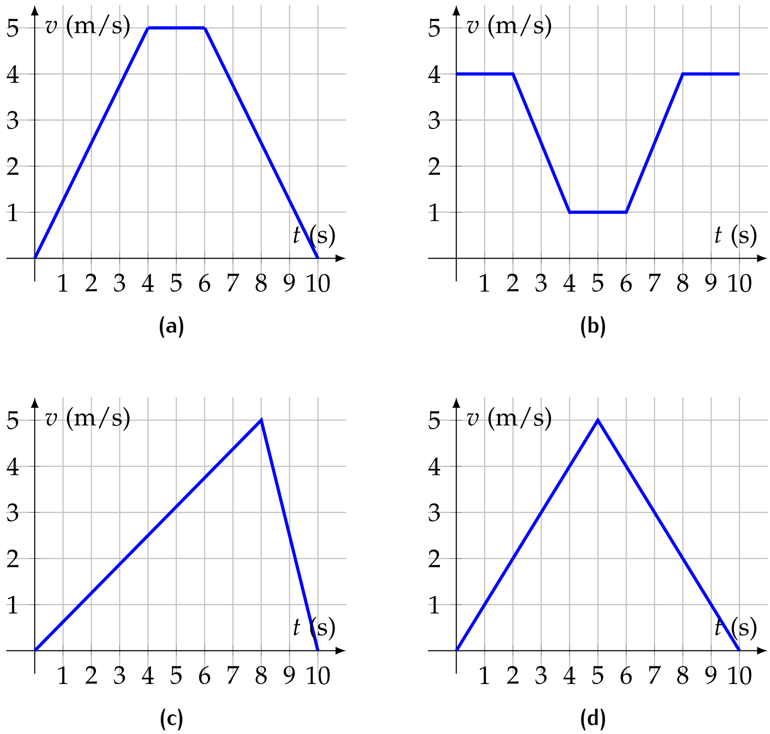


Figura 30: Diagrammi velocità-tempo

Moto rettilineo uniformemente accelerato

56 Indica la risposta corretta.

a. L'accelerazione è:

A il rapporto fra lo spazio percorso e il tempo impiegato

B il prodotto fra la variazione di velocità e lo spazio percorso

C il rapporto fra la variazione di velocità e l'intervallo di tempo

D il prodotto fra l'intervallo di tempo e la velocità

b. L'unità di misura dell'accelerazione nel Sistema Internazionale è:

A m/s^2 B m^2/s C m/s D m^2/s^2

c. Dalla relazione del moto rettilineo uniformemente accelerato $v = at$, si ricava che:

A raddoppiando il tempo, l'accelerazione dimezza

B la velocità è costante

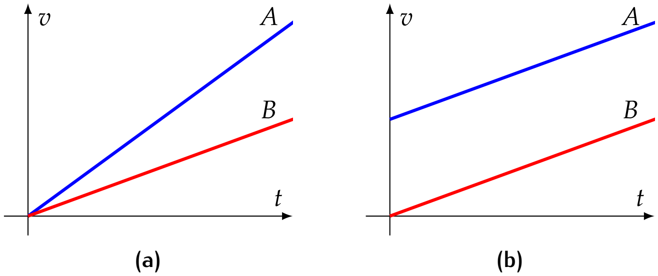


Figura 31: Diagrammi velocità-tempo

- [C] il prodotto fra l'accelerazione e il tempo è costante
- [D] raddoppiando il tempo, raddoppia anche la velocità

d. In relazione alla figura 31a, quale affermazione è corretta?

- [A] L'accelerazione di A è maggiore di quella di B
- [B] L'accelerazione di A è minore di quella di B
- [C] L'accelerazione di A è uguale a quella di B
- [D] Non si possono confrontare le accelerazioni di A e di B

e. In relazione alla figura 31b, quale affermazione è corretta?

- [A] L'accelerazione di A è maggiore di quella di B
- [B] L'accelerazione di A è minore di quella di B
- [C] L'accelerazione di A è uguale a quella di B
- [D] Non si possono confrontare le accelerazioni di A e di B

f. In relazione a un moto rettilineo uniformemente accelerato con $s_0 = 0$ e $v_0 = 0$, quale affermazione è *errata*?

- [A] L'accelerazione è costante
- [B] Il grafico velocità-tempo è rappresentato da un arco di parabola
- [C] Lo spazio è direttamente proporzionale al quadrato del tempo
- [D] La velocità aumenta costantemente al trascorrere del tempo

g. In un moto rettilineo uniformemente accelerato con $s_0 = 0$ e $v_0 = 0$:

- [A] l'accelerazione aumenta al trascorrere del tempo
- [B] raddoppiando il tempo quadruplica lo spazio

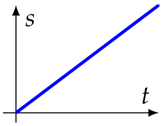
C tra la velocità e il tempo c'è una relazione di proporzionalità quadratica

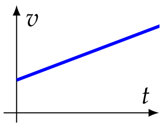
D il diagramma orario è una retta passante per l'origine

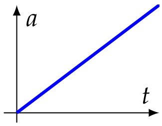
h. Se la legge oraria di un moto è $s = 9t^2$, dove s è espresso in metri e t in secondi, quanto vale la sua accelerazione?

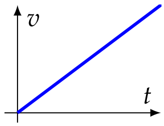
A $3\,\mathrm{m/s^2}$ B $4{,}5\,\mathrm{m/s^2}$ C $9\,\mathrm{m/s^2}$ D $18\,\mathrm{m/s^2}$

i. Quale dei seguenti grafici rappresenta la relazione $v = at$?

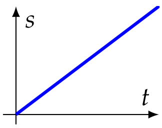
A 

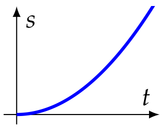
B 

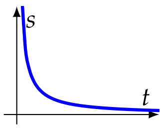
C 

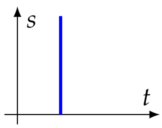
D 

j. Quale dei seguenti grafici può rappresentare la legge oraria di un moto rettilineo uniformemente accelerato?

A 

B 

C 

D 

[2 risposte A, 3 B, 2 C e 3 D]

57 Vero o falso?
In un moto rettilineo uniformemente accelerato con $s_0 = 0$ e $v_0 = 0$:

a. Dato che l'accelerazione è costante lo è anche la velocità. V F

b. Tempo e accelerazione sono direttamente proporzionali. V F

c. Raddoppiando il tempo raddoppia lo spazio percorso. V F

d. Velocità e tempo sono grandezze direttamente proporzionali. V F

e. Il grafico spazio-tempo è un arco di parabola. V F

f. Il grafico velocità-tempo è un arco di parabola. V F

g. Raddoppiando il tempo quadruplica la velocità. V F

h. Il rapporto fra spazio e quadrato del tempo è costante. V F

i. La pendenza della retta nel grafico velocità-tempo è l'accelerazione. V F

j. La velocità non cambia al trascorrere del tempo. V F

[4 affermazioni vere e 6 false]

58 Un'auto, che parte da ferma, raggiunge la velocità di $100\,\mathrm{km/h}$ in $9{,}2\,\mathrm{s}$. Qual è la sua accelerazione? [$3\,\mathrm{m/s^2}$]

59 Una moto, partendo da ferma, dopo 5,0 s ha una velocità di 81 km/h. Determina la sua accelerazione, ipotizzando che sia costante. [$4{,}5\,\mathrm{m/s^2}$]

60 Un motoscafo che sta viaggiando a 27 km/h triplica la sua velocità in 15 s. Qual è la sua accelerazione? [$1\,\mathrm{m/s^2}$]

61 Un ghepardo passa da fermo a 56 km/h in 7 secondi. Qual è la sua accelerazione? [$2{,}22\,\mathrm{m/s^2}$]

62 Un motociclista accelera da 50 km/h a 130 km/h in 5,5 s. Qual è la sua accelerazione? [$4\,\mathrm{m/s^2}$]

63 Un camion, che sta andando alla velocità di 90 km/h, si ferma in 12,5 s. Qual è la sua accelerazione? [$-2\,\mathrm{m/s^2}$]

64 Un'auto ha un'accelerazione di $4{,}4\,\mathrm{m/s^2}$. Determina quale velocità raggiunge in 3 s, se la velocità iniziale è di 60 km/h. [107,5 km/h]

65 Se un treno che sta andando a 110 km/h, frena, subendo una decelerazione di $3\,\mathrm{m/s^2}$, quale velocità raggiunge dopo 6 secondi? [45,2 km/h]

66 Se un'auto che sta andando a 140 km/h, frena, decelerando di $6\,\mathrm{m/s^2}$, quale velocità raggiunge dopo 5 secondi? [32 km/h]

67 Un pallone sta percorrendo una traiettoria rettilinea con un'accelerazione costante di $5\,\mathrm{m/s^2}$. Sapendo che è partito da fermo, stabilisci quale velocità in km/h raggiunge dopo 3 secondi? [45,2 km/h]

68 Dopo quanti secondi raggiunge la velocità di 28 km/h un ciclista che parte da fermo con un'accelerazione di $1{,}2\,\mathrm{m/s^2}$? [6,5 s]

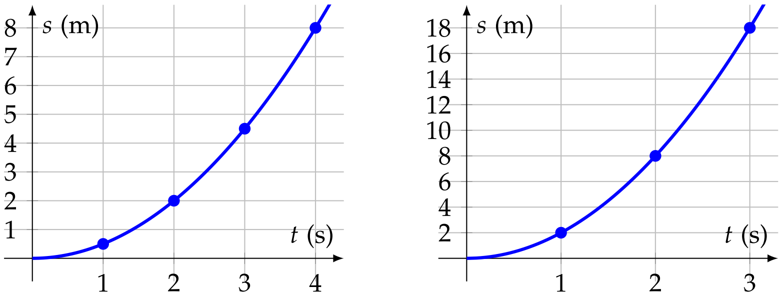
69 Un razzo ha un'accelerazione costante di $25\,\mathrm{m/s^2}$. Ipotizzando che si muova secondo una traiettoria rettilinea e che inizialmente fosse fermo, trova in quanto tempo raggiunge la velocità di fuga di 11 000 m/s. [440 s]

70 Due moto A e B partono contemporaneamente da ferme. In fase iniziale A ha un'accelerazione di $3\,\mathrm{m/s^2}$ e B di $2\,\mathrm{m/s^2}$. Che velocità ha A dopo 5 s? Dopo quanto tempo B raggiunge la stessa velocità? [15 m/s; 7,5 s]

71 Quanto tempo impiega a fermarsi un motorino che procede a 45 km/h, se rallenta con una decelerazione di $-2\,\mathrm{m/s^2}$? [6,25 s]

72 Un camion con velocità iniziale di 75, 6 km/h sta decelerando con $a = -1{,}4\,\mathrm{m/s^2}$? Quanto tempo impiega per fermarsi? [15 s]

73 Calcola il tempo necessario a un'auto da corsa per arrestarsi nel caso in cui, avendo una velocità di 270 km/h, i freni la facciano decelerare di $-20\,\mathrm{m/s^2}$? Quanto tempo impiega per fermarsi? [15 s]



(a) (b)

Figura 32: Diagrammi orari

74 Un motociclista parte da fermo e si muove di moto rettilineo uniformemente accelerato con accelerazione di 2,5 m/s^2. Quanto tempo occorre affinché il motociclista raggiunga la velocità di 15 m/s? [6 s]

75 Un'auto, che parte da ferma, si muove con traiettoria rettilinea e accelerazione costante di 2,5 m/s^2. Quale distanza percorre in 6 s? [45 m]

76 Il grafico 32a presenta un moto rettilineo uniformemente accelerato con $a = 1$ m/s^2. Quanto tempo impiega il corpo per percorrere 8 m? [4 s]

77 Osserva il diagramma 32b e stabilisci se le seguenti affermazioni sono vere o false.

a. È il grafico di un moto uniformemente accelerato. V F

b. L'accelerazione è 3 m/s^2. V F

c. A $t = 1$ s lo spazio s percorso è di 2 m. V F

d. A $t = 2$ s la velocità istantanea è nulla. V F

e. A $t = 3$ s la velocità media è di 6 m/s. V F

[3 affermazioni vere e 2 false]

78 Un bambino, inizialmente immobile, scende lungo uno scivolo con accelerazione costante di 3,5 m/s^2. Quanto spazio percorre in 4 s? [28 m]

79 Uno sciatore, inizialmente fermo, scende lungo una pista con accelerazione pari a 1,5 m/s^2. Che distanza percorre in 5 s? In quanto tempo percorre 36,75 m? [18,75 m; 7 s]

80 Sapendo che un corpo percorre un tratto rettilineo di 147 m in 14 s, determina la sua accelerazione nel caso in cui nell'istante iniziale sia fermo. [1,5 m/s^2]

81 Partendo da fermo, un corpo copre 5,760 km in 120 secondi. Trova la sua accelerazione. [0,80 m/s^2]

82 Un aereo in fase di decollo, partendo da fermo, percorre 128 m in 8 secondi. Qual è lo spazio percorso dall'aereo in 3 s? Qual è lo spazio percorso in 6 s? [18 m; 72 m]

83 Quando un semaforo diventa verde un'auto, partendo da ferma, accelera percorrendo 39,2 m in 5,6 s. Determina la distanza percorsa dal veicolo in 3 s. [11,25 m]

84 Un camion, dal momento in cui ha iniziato a frenare con decelerazione di $-4\,\mathrm{m/s^2}$, ha percorso 20,48 m prima di fermarsi. Determina il tempo che ha impiegato per arrestarsi completamente. [3,2 s]

85 Un'auto, inizialmente ferma, parte con un'accelerazione costante di $0{,}7\,\mathrm{m/s^2}$, mantenendo una traiettoria rettilinea. Quanto tempo impiega a percorrere 140 metri? [20 s]

86 Un'auto parte da ferma e percorre 500 m in 25 s accelerando costantemente. Calcola il valore dell'accelerazione e la velocità finale raggiunta. [$1{,}6\,\mathrm{m/s^2}$; $40\,\mathrm{m/s}$]

87 Un corpo parte da fermo con accelerazione di $4\,\mathrm{m/s^2}$. Quale sarà la sua velocità dopo 7 secondi? Quanto spazio ha percorso in questo intervallo di tempo? [28 m/s; 98 m]

88 Un corpo parte da fermo con accelerazione di $6\,\mathrm{m/s^2}$. Quanto tempo impiegherà per raggiungere la velocità di 108 km/h? Quanto spazio ha percorso in questo intervallo di tempo? [5 s; 75 m]

89 Un'auto passa da una velocità di 36 km/h a una velocità di 108 km/h in 25 secondi. Qual è l'accelerazione? Quanta strada ha percorso durante questo intervallo di tempo? [$0{,}8\,\mathrm{m/s^2}$; 500 m]

90 Un'auto sta viaggiando a 90 km/h; sapendo che ha frenato in 15 s, quanto vale l'accelerazione? Qual è lo spazio di frenata? [$-1{,}67\,\mathrm{m/s^2}$; 562,5 m]

91 Un'auto aumenta la sua velocità da 72 km/h a 108 km/h percorrendo un tratto di 500 m. Qual è la sua accelerazione? Quanto tempo ha impiegato per percorrere questo tratto? [$0{,}5\,\mathrm{m/s^2}$; 20 s]

92 Una moto aumenta la sua velocità da 36 km/h a 108 km/h con un'accelerazione di $1\,\mathrm{m/s^2}$. Quanto tempo ha impiegato? Quanto spazio ha percorso in questo intervallo di tempo? [20 s; 400 m]

93 Un'auto frena e si ferma in 10 s. Sapendo che in questo intervallo di tempo ha percorso 100 m, determina l'accelerazione e la velocità iniziale. [$-2\,\mathrm{m/s^2}$; 20 m/s]

94 Un'auto inizia a frenare quando la sua velocità è di 144 km/h. Sapendo che la sua accelerazione, in modulo, è $6\,\mathrm{m/s^2}$, qual è il tempo di frenata? Qual è lo spazio di frenata? [6,67 s; 133,3 m]

95 Un'auto viaggia alla velocità di 72 km/h quando il conducente si accorge della presenza di un ostacolo a 100 m e inizia a decelerare, dopo un tempo di reazione di 0,2 s. Supponendo che la decelerazione sia costante durante tutta la frenata e che il mezzo impieghi 10 s per fermarsi, l'auto investe l'ostacolo? [no]

96 Un'auto, durante una frenata uniforme, passa in 1 minuto dalla velocità di 40 km/h a quella di 28 km/h. Trova l'accelerazione e lo spazio percorso. [$-0{,}056\,\mathrm{m/s^2}$; 566,6 m]

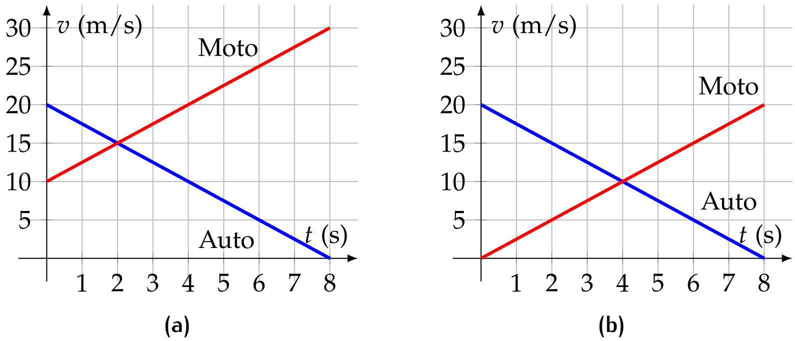


Figura 33: Diagrammi velocità-tempo di un'auto e una moto

97 Un'auto viaggia a 120 km/h. Visto un ostacolo, il conducente riesce a fermarsi in 110 m. Quale è l'accelerazione e quanto tempo impiega? [5,040 m/s^2; 6,6 s]

98 I grafici 33a e 33b rappresentano gli andamenti delle velocità di un'auto e di una moto. Sapendo che all'istante iniziale $t = 0$ s i due veicoli si trovano affiancati, determina nei due casi l'istante t in cui la moto sorpassa l'auto. [4 s; 8 s]

99 Fabio e Laura stanno parlando delle loro auto; Fabio dice che la sua auto, da ferma, impiega 6 s per raggiungere la velocità di 100 km/h, mentre Laura afferma che la sua auto, da ferma, raggiunge i 90 km/h in 75 m. Qual è l'auto con la maggiore accelerazione? [quella di Fabio]

100 Un'auto sta viaggiando a 126 km/h quando il conducente vede un ostacolo sulla strada (distante 130 m) e inizia a frenare. Tenendo conto del tempo di reazione, pari a 0,2 s, e del fatto che l'accelerazione è $-5\ \text{m/s}^2$, ce la fa a evitare l'ostacolo. [sì]

101 Un'auto che viaggia a una velocità v si ferma in uno spazio d. Se la velocità v triplica, quanto vale lo spazio di frenata? [$9d$]

102 Un'auto sta viaggiando a 90 km/h. Sapendo che dall'istante in cui il conducente inizia a frenare all'istante in cui si ferma sono trascorsi 5 secondi, determina lo spazio di frenata e l'accelerazione. [62,5 m; $-5\ \text{m/s}^2$]

103 Un'auto quadruplica la sua velocità con un'accelerazione di $2\ \text{m/s}^2$ in 130 m. Calcola la velocità finale. [84,8 km/h]

104 Un'auto si muove alla velocità costante di 90 km/h allorché improvvisamente si presenta a 40 m un ostacolo. Il guidatore, azionando i freni, riesce a ottenere istantaneamente un moto uniformemente accelerato con decelerazione uguale a $-10\ \text{m/s}^2$. L'auto investe l'ostacolo? [no]

105 Un autista sta procedendo con una velocità di 30 m/s quando si accorge che il semaforo diventa rosso. Riuscirà a frenare in tempo, sapendo che il semaforo dista 160 m e che l'auto è in grado di sviluppare un'accelerazione di modulo $2\ \text{m/s}^2$? [no]

Caduta libera dei gravi

106 Un sasso viene lasciato cadere da fermo da un'altezza di 2 m. Qual è la velocità di impatto con il suolo? Qual è il tempo di caduta? [6,3 m/s; 0,6 s]

107 Una pallina da tennis viene lasciata cadere dal punto più alto di una torre. Sapendo che il tempo che impiega a raggiungere il suolo è di 2,5 s, determina la velocità con cui giunge a terra e l'altezza della torre. [24,5 m/s; 30,6 m]

108 Un sasso viene lasciato cadere da un punto molto alto. Dimostra che lo spazio percorso durante ogni secondo successivo aumenta con lo stesso rapporto dei numeri dispari consecutivi (1, 3, 5, 7, eccetera).

109 Un sasso viene lanciato verso l'alto da 2 m dal suolo con una velocità di 25 m/s. Calcola la quota massima raggiunta. [31,9 m/s]

110 Un fisico lancia in aria una moneta che raggiunge la quota massima di 6 m. Qual è la velocità con cui ha lanciato la moneta? [10,8 m/s]

111 Quale altezza massima raggiunge un sasso lanciato verso l'alto con una velocità iniziale di 72 km/h? Quanto tempo impiega a raggiungere tale altezza? [20,4 m/s; 2,0 s]

112 Calcola il tempo impiegato da un vaso di fiori caduto da un balcone per percorrere 19,6 m? [2 s]

113 Dalla cima di un palazzo viene lasciato cadere un piccolo sasso che arriva al suolo dopo 2,0 s dal momento in cui viene rilasciato. Quanto è alto il palazzo? [19,6 m]

114 Una pallina viene lasciata cadere da un'altezza di 75 m. Qual è la velocità di impatto con il suolo? Qual è il tempo di caduta? [38,3 m/s; 3,9 s]

115 Un corpo viene lanciato verso l'alto con velocità iniziale di 20 m/s. Qual è la sua velocità dopo 2 secondi? Quale sarà l'altezza massima raggiunta? [0,4 m/s; 20,4 m]

116 Dalla cima di un palazzo alto 44,1 m, viene lasciato cadere un piccolo sasso che arriva al suolo dopo un tempo t dal momento in cui viene rilasciato. Quanto vale t? Se il tempo di arrivo fosse stato $2t$, l'altezza sarebbe stata doppia? [3,0 s; no]

117 Una palla viene lanciata da terra verso l'alto con velocità iniziale di 12 m/s. Quanto tempo impiega a raggiungere il punto più alto della traiettoria? Quanto vale la distanza da terra del punto più alto? [1,22 s; 7,35 m]

118 Una persona, seduta accanto a una finestra alta 2 m, vede passare una pallina diretta verso il basso. La persona misura il tempo, uguale a 0,3 s, che la pallina impiega ad attraversare la lunghezza della finestra. Da che altezza, rispetto alla cornice superiore della finestra, è stata lasciata cadere la pallina (con velocità iniziale nulla)? [1,38 m]

119 Indica la risposta corretta.

a. Se v è la velocità con cui un sasso, lasciato cadere da un'altezza h, raggiunge il suolo, quanto vale la velocità v se viene lasciato cadere da un'altezza $4h$?

A $2v$ B $4v$ C $8v$ D $16v$

b. Se h è l'altezza massima raggiunta da un sasso lanciato verso l'alto con velocità v, qual è l'altezza massima h' raggiunta dallo stesso sasso se viene lanciato con velocità $2v$?

A $4h$ B $8h$ C $2h$ D $\sqrt{2}\,h$

c. Una pallina viene lasciata cadere da un'altezza h e raggiunge il suolo con velocità v. Se vogliamo che la velocità finale sia $3v$, da quale altezza h' dobbiamo lasciarla cadere?

A $\sqrt{3}\,h$ B $9h$ C $3h$ D $27h$

d. L'accelerazione di gravità sulla Luna è circa $1/6$ del valore sulla Terra. Se h è l'altezza massima raggiunta da un sasso lanciato sulla Terra verticalmente verso l'alto con velocità v, quanto vale l'altezza massima raggiunta sulla Luna dal sasso lanciato con la stessa velocità iniziale?

A h B $\sqrt{6}\,h$ C $6h$ D $36h$

e. Se t è il tempo di caduta libera di un sasso sulla Luna dall'altezza h, da quale altezza bisogna lasciar cadere sulla Terra un sasso perché raggiunga il suolo nello stesso tempo?

A h B $\sqrt{6}\,h$ C $6h$ D $36h$

f. Se v è la velocità con cui un sasso giunge al suolo della Luna dopo essere lasciato cadere da un'altezza h, da quale altezza h' è necessario lasciar cadere sulla Terra un sasso perché raggiunga il suolo con la stessa velocità?

A h B $h/6$ C $h/\sqrt{6}$ D $h/36$

g. Un corpo, lasciato cadere sulla Luna da un'altezza h, impiega un tempo t per raggiungere il suolo; quanto tempo impiegherebbe sulla Terra, nelle stesse condizioni?

A t B $t/6$ C $t/36$ D $t/\sqrt{6}$

[2 risposte A, 2 B, 2 C e 1 D]

3 FORZE ED EQUILIBRIO

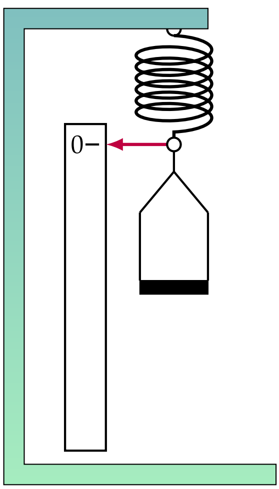
3.1 FORZE

Il concetto di forza è insito nello sforzo muscolare che si compie ogni volta che vogliamo spingere, tirare, impedire il moto, deformare un corpo.

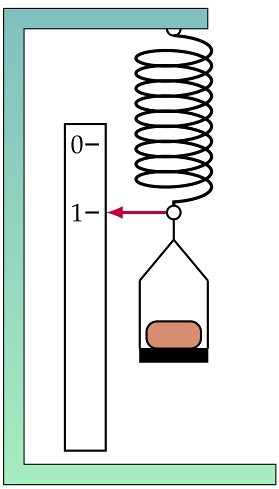
Per mantenere in equilibrio un corpo si può, se non è molto pesante, sorreggerlo con una mano, compiendo così uno sforzo muscolare. Se poniamo l'oggetto sopra un tavolo, lo sforzo è compiuto dal tavolo che per questo si deforma. Dall'entità di questa deformazione possiamo risalire all'intensità della forza.

Definizione 23. Una *forza* è una grandezza che si misura con un dinamometro.

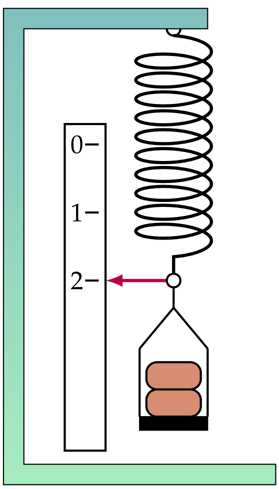
Il *dinamometro* è uno strumento che permette di misurare una forza mediante l'allungamento subito da una molla. All'estremità libera della molla (figura 34a), fissata verticalmente, appendiamo un portapesi, fornito di un indice che ci permette di individuare la posizione dell'estremità della molla su un regolo.



(a) Dinamometro con portapesi



(b) Dinamometro allungato da un peso campione



(c) Dinamometro allungato da due pesi campioni

Figura 34: Dinamometro

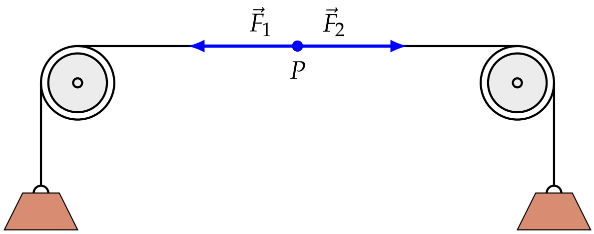


Figura 35: Il punto P è in equilibrio se $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ sono due forze opposte

Il dinamometro, per essere usato come dispositivo per misurare forze incognite, deve essere preventivamente tarato: bisogna cioè prima di tutto misurare gli allungamenti prodotti da forze note. Dotiamoci di una serie di pesi tutti uguali fra di loro (per esempio, dei cilindretti metallici fra loro identici), poniamo sul piano base del portapesi un peso campione e indichiamo con 1 la posizione raggiunta dall'indice sul regolo (figura 34b): ciò equivale ad assumere come unità di misura il peso campione. Dopo di che, poniamo sul piano del portapesi due pesi campione e segniamo 2 nella posizione raggiunta dall'indice sul regolo (figura 34c). Analogamente procederemo con tre pesi campione, e così via.

Completata la taratura, il dinamometro può essere usato per misurare forze incognite. Se, per esempio, esercitiamo una trazione (parallelamente all'asse della molla) e l'indice del dinamometro si porta sulla posizione 2 del regolo, la forza applicata ha intensità 2.

In pratica, i dinamometri usati in laboratorio sono spesso tarati assumendo come unità di misura il chilogrammo-peso ($\mathrm{kg_p}$), che è il peso di un corpo di massa 1 kg. Nel Sistema Internazionale, la forza si misura in newton (N). Vale la relazione $1\,\mathrm{kg_p} = 9{,}8\,\mathrm{N}$.

Forze come vettori

Possiamo spingere o tirare un corpo appoggiato su un tavolo con lo stesso sforzo muscolare, ma in direzioni diverse: anche gli effetti saranno diversi. Questa semplice osservazione ci fa intuire che le forze sono grandezze individuate da un valore numerico (l'*intensità* della forza), da una *direzione* e da un *verso*, oltre che da un *punto di applicazione*. Le forze sono grandezze *vettoriali*, identificate da *vettori applicati*. La conferma di questa previsione viene dall'esperienza: si verifica che le forze si sommano secondo le regole per i vettori viste nel capitolo 1.

Nella figura 35 il punto P viene sollecitato da due forze $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ di uguale modulo, ma versi opposti: la risultante delle due forze è nulla e il punto è in equilibrio.

La prova decisiva della natura vettoriale delle forze deriva dal modo in cui si sommano quando sono applicate in direzioni diverse: si trova sperimentalmente che si sommano secondo la *regola per parallelogramma*, che caratterizza la natura vettoriale di una grandezza.

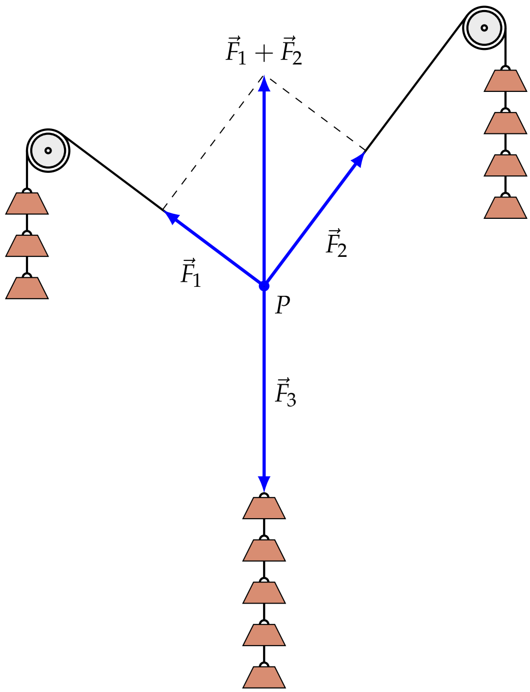


Figura 36: Il punto P, sotto l'azione delle tre forze $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ e $\vec{F}_3$, è in equilibrio

La figura 36 mostra, applicate al punto P, tre forze $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ e $\vec{F}_3$, realizzate rispettivamente per mezzo di due, tre e cinque pesi tutti uguali fra loro, fissati a tre fili che partono da P. Poiché P è in equilibrio, una delle tre forze è l'equilibrante delle altre due. Per esempio, possiamo considerare $\vec{F}_3$ come equilibrante di $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$. Se $\vec{F}_3$ è l'equilibrante di $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$, vuol dire che $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ hanno come risultante la forza opposta di $\vec{F}_3$. Se rappresentiamo le forze con dei vettori, dalla figura 36 si può verificare graficamente che la risultante di $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$, determinata con la regola del parallelogramma, è proprio opposta a $\vec{F}_3$. Ciò conferma che le forze si sommano come vettori.

Concludiamo pertanto che due forze applicate a uno stesso punto si sommano secondo la regola del parallelogramma. I risultati degli esperimenti considerati sono validi in generale. La figura 37 mostra come si costruisce graficamente il vettore che rappresenta la risultante $\vec{R}$ di due forze $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ applicate allo stesso punto P.

Forze fondamentali della natura

Nonostante la complessità dei fenomeni naturali, ci sono poche *forze fondamentali*, cioè non riconducibili ad altre forze:

- la forza di gravità, la cui sorgente è la massa;

- la forza elettromagnetica, la cui sorgente è la carica elettrica;
- la forza nucleare debole, la cui sorgente è ogni particella;
- la forza nucleare forte, la cui sorgente è ogni particella che costituisce il nucleo di un atomo.

Diciamo, per esempio, che due corpi qualsiasi si attraggono con una forza di gravità per il fatto che hanno una massa, mentre due particelle prive di carica elettrica non interagiscono elettricamente.

Discuteremo ora le prime proprietà delle forze fondamentali, mentre nel paragrafo successivo esamineremo alcune forze non fondamentali.

Forza di gravità

La forza che fa cadere un oggetto, chiamata anche *forza peso*, deriva dalla presenza della Terra che lo attrae. Questa forza non agisce solo sulla Terra, ma in tutto l'universo. Fu Isaac Newton che postulò per primo l'universalità della gravitazione, enunciando la *legge di gravitazione universale*: due corpi di massa m_1 e m_2, posti a una distanza r, si attraggono con una forza direttamente proporzionale al prodotto delle due masse e inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza. In formule:

$$F = G\,\frac{m_1 m_1}{r^2}$$

dove G, chiamata *costante di Cavendish*, vale:

$$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\,\frac{\mathrm{N} \cdot \mathrm{m}^2}{\mathrm{kg}^2}$$

Definizione 24. Il *peso* di un corpo è la forza con cui la Terra lo attrae a sé. Il peso P di un corpo è direttamente proporzionale alla sua massa m, secondo la relazione $P = mg$, dove g è una costante di proporzionalità, chiamata

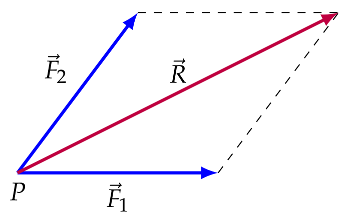


Figura 37: La forza $\vec{R}$ è la risultante delle forze $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$

accelerazione di gravità, che vale circa $9{,}8\,\mathrm{m/s^2}$.

I concetti di peso e massa non vanno confusi: la massa è una grandezza che, oltre ad avere natura scalare e non vettoriale, si misura in chilogrammi, mentre il peso, essendo una forza, si misura in newton (o in chilogrammi-peso).

Esercizio 33. Calcola il peso di un uomo di $75\,\mathrm{kg}$ nell'unità di misura del Sistema Internazionale.

Soluzione.

$$P = mg = 75 \cdot 9{,}8\,\mathrm{N} = 735\,\mathrm{N}$$ □

Forza elettrica

Fin dai tempi antichi era noto che un pezzo di ambra strofinato con un pezzo di lana acquista la proprietà di attirare piccole quantità di materia. Diciamo che con lo strofinio l'ambra si è *elettrizzata*.

Sperimentalmente si osserva che l'elettrizzazione origina una interazione molto più intensa di quella gravitazionale. Inoltre, mentre esiste un solo tipo di interazione gravitazionale che si manifesta nell'attrazione tra due corpi, esistono due tipi di interazioni elettriche: due corpi elettrizzati possono attrarsi o respingersi: le cariche positive respingono le cariche positive, quelle negative respingono le cariche negative, mentre cariche positive e negative si attraggono.

Forze nucleari

Ogni atomo è costituito da una parte centrale, detta *nucleo*, in cui è contenuta la quasi totalità della massa atomica. Il nucleo è costituito da *protoni*, dotati di carica positiva, e da *neutroni*, privi di carica (figura 38).

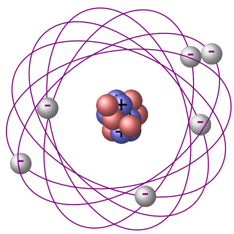


Figura 38: Le particelle all'interno del nucleo si attraggono con una forza detta *nucleare*

Le forze nucleari si possono dividere in due categorie: forza nucleare *forte* e forza nucleare *debole*.

FORZA NUCLEARE FORTE Poiché la forza di repulsione elettrica fra due protoni, carichi positivamente, è molto più grande della forza di gravità, nell'interno del nucleo deve esserci qualche altra forza particolarmente intensa che mantiene legate le particelle. In assenza di questa interazione i nuclei atomici tenderebbero a disgregarsi a causa della repulsione fra i protoni. Il raggio d'azione di questa forza è pari alla dimensione dei nuclei.

FORZA NUCLEARE DEBOLE Sebbene questa interazione sia universale come la gravità, perché agisce su ogni particella, essa è troppo debole per essere osservata in presenza delle più intense interazioni nucleari forti. Essa svolge una funzione essenziale nei processi *radioattivi*, ossia quei processi nucleari caratterizzati dall'emissione spontanea di alcune particelle da parte di nuclei particolarmente pesanti.

Alcune forze non fondamentali

Forza elastica

Se applichiamo una forza a un corpo, esso, in genere, si deforma. Quando si producono deformazioni nei corpi, essi reagiscono con una forza elastica che varia al variare della deformazione.

Nel caso di una molla d'acciaio, la forza di reazione elastica è uguale in intensità e di verso opposto alla forza che ha prodotto l'allungamento. Detto Δl l'allungamento della molla (pari alla differenza tra la lunghezza finale l della molla e la sua lunghezza a riposo l_0), si trova che, se Δl non è molto grande, la forza elastica è direttamente proporzionale all'allungamento e sempre diretta in verso contrario a questo. In formule:

$$F = -k\,\Delta l$$

dove k è una costante positiva di proporzionalità chiamata *costante elastica della molla*, che varia al variare della molla usata.

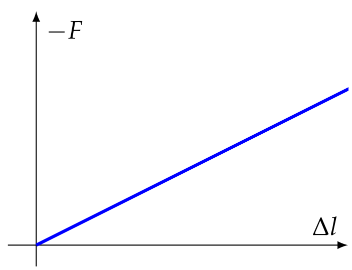


Figura 39: Rappresentazione grafica della forza elastica in funzione dall'allungamento

La precedente relazione, nota anche come *legge di Hooke*, è rappresentata nella figura 39.

Forze di attrito

Le forze di attrito determinano nei fenomeni meccanici una resistenza offerta al moto di un corpo rispetto a un altro. Pur rappresentando un ostacolo al moto, l'attrito è in molti casi indispensabile per produrre certi movimenti, come camminare, fermarsi su una strada piana, far partire un'auto, eccetera.

Ogni forza d'attrito fra due corpi rappresenta l'effetto risultante di un complesso fenomeno d'interazione fra gli elementi microscopici (molecole, atomi) che costituiscono gli strati superficiali di contatto fra i due corpi. Nonostante il concorso di singoli processi microscopici, le forze di attrito possono spesso essere espresse, con buona approssimazione, da relazioni matematiche molto semplici.

ATTRITO STATICO Supponiamo di voler mettere in moto un corpo appoggiato su un piano *orizzontale*. Finché la forza che applichiamo non supera un certo valore, il corpo non si sposta. La forza di attrito statico F_s è uguale all'intensità della forza applicata; il suo valore massimo è dato dalla formula

$$F_\mathrm{s} = \mu_\mathrm{s} P$$

dove P è il peso del corpo e μ_s (μ si legge *mi*) è una costante positiva adimensionale, detta *coefficiente di attrito statico*, che dipende dalla natura e dallo stato delle superfici.

ATTRITO DINAMICO Se due corpi a contatto sono in moto l'uno rispetto all'altro su un piano *orizzontale*, come per esempio quando un oggetto viene fatto strisciare sopra un piano d'appoggio, si verifica che la forza d'attrito dinamico F_d è direttamente proporzionale al peso del corpo appoggiato, cioè:

$$F_\mathrm{d} = \mu_\mathrm{d} P$$

dove P è il peso del corpo e μ_d è una costante positiva adimensionale, detta *coefficiente di attrito dinamico*, che dipende dalla natura e dallo stato delle superfici.

Esercizio 34. Una cassa di massa 15 kg è appoggiata su un piano orizzontale con $\mu_\mathrm{s} = 0{,}25$. Calcola la forza che bisogna superare per mettere in moto la cassa.

Soluzione.

$$F_\mathrm{s} = \mu_\mathrm{s} P = \mu_\mathrm{s} m g = 0{,}25 \cdot 15 \cdot 9{,}8\,\mathrm{N} = 36{,}75\,\mathrm{N} \qquad \square$$

Esercizio 35. Calcola la forza di attrito dinamico esercitata dal piano orizzontale sulla cassa dell'esercizio precedente ($\mu_d = 0{,}15$).

Soluzione.

$$F_d = \mu_d P = \mu_d mg = 0{,}15 \cdot 15 \cdot 9{,}8\,\text{N} = 22{,}05\,\text{N}$$ □

3.2 EQUILIBRIO DEI PUNTI MATERIALI

Un corpo è in *equilibrio* quando è in quiete e vi rimane nel tempo. Determinare le condizioni di equilibrio di un corpo è un problema importante: un ponte deve essere in equilibrio anche se è attraversato da migliaia di vetture, un grattacielo deve resistere alle scosse sismiche. La *statica* è la parte della fisica che studia le condizioni di equilibrio dei corpi.

Per semplificare lo studio dell'equilibrio dei corpi riprendiamo il concetto di *punto materiale*.

Definizione 25. Un *punto materiale* è un corpo in cui si trascurano le dimensioni.

La statica dei punti materiali si riduce alla sola condizione seguente.

Legge della statica del punto materiale. Un punto materiale è in equilibrio se la risultante di tutte le forze a esso applicate è nulla.

Consideriamo un corpo appoggiato su un piano orizzontale (figura 40a). Assumiamo che il corpo sia un punto materiale. Quali forze agiscono su di esso? Sul corpo agisce la forza peso $\vec{P}$; anche il piano su cui poggia il corpo esercita una forza, detta *forza vincolare* $\vec{F}_v$, uguale in modulo alla forza peso ma opposta in verso, che impedisce il movimento verso il basso del corpo.

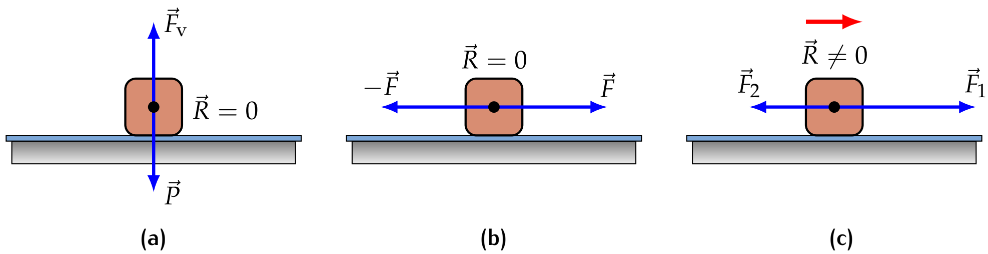


Figura 40: Equilibrio su un piano orizzontale

La figura 40b mostra un corpo su cui, oltre alla forza peso e alla forza vincolare, agiscono altre due forze, $\vec{F}$ e $-\vec{F}$: poiché la risultante delle forze è nulla, il corpo

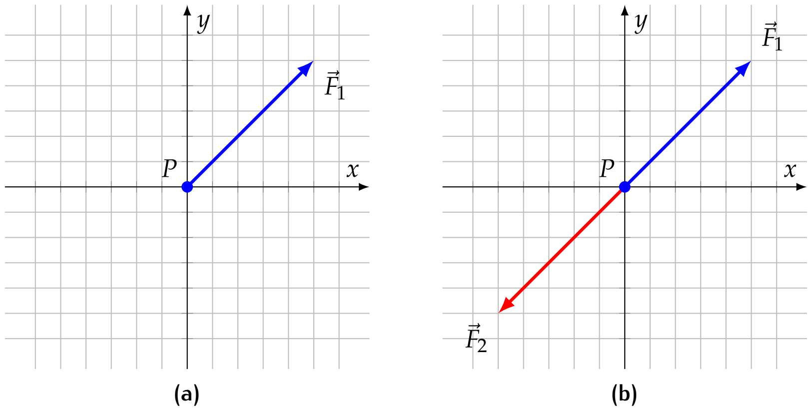


Figura 41: Il punto P è in equilibrio se la risultante delle forze $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ è nulla

è in equilibrio. Invece (caso 40c) se la risultante delle forze è diversa da zero, il corpo non è in equilibrio.

Esercizio 36. Su un punto materiale P agisce una $\vec{F}_1$, di modulo 5 N, diretta come mostrato nella figura 41a. Calcola la forza $\vec{F}_2$ che è necessario applicare perché il punto sia in equilibrio.

Soluzione. Poiché un punto materiale è in equilibrio se la risultante di tutte le forze a esso applicate è nulla, bisogna applicare a P una forza $\vec{F}_2$ opposta a $\vec{F}_1$ (figura 41b). □

Esercizio 37. Su un punto materiale agiscono le forze $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ e $\vec{F}_3$ (figura 42a), di modulo $F_1 = F_2 = 50\,\mathrm{N}$ e $F_3 = 50\sqrt{2}\,\mathrm{N}$. Il punto è in equilibrio?

Soluzione. Calcoliamo la somma delle forze $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$. Il modulo di tale somma, per il teorema di Pitagora è:

$$\sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{50^2 + 50^2}\,\mathrm{N} = \sqrt{2500 \cdot 2}\,\mathrm{N} = 50\sqrt{2}\,\mathrm{N}$$

Poiché i vettori $\vec{F}_1 + \vec{F}_2$ e $\vec{F}_3$ hanno verso opposto e uguale modulo, la risultante delle tre forze è nulla e il punto è in equilibrio. □

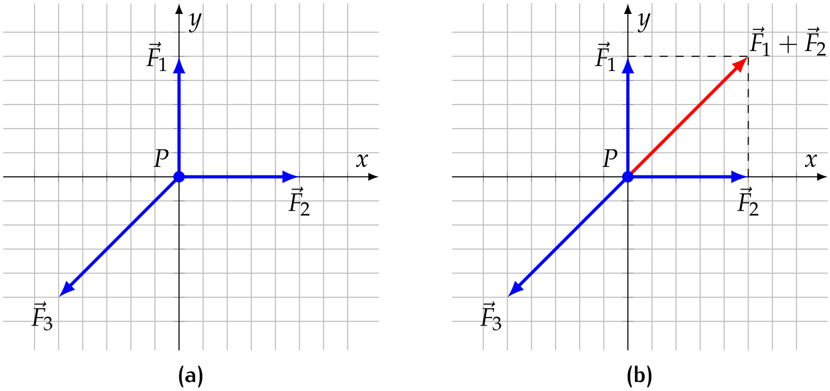


Figura 42: Il punto P è in equilibrio se la risultante delle forze $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ e $\vec{F}_3$ è nulla

Esercizio 38. La figura 43a mostra un blocco di 2 kg appeso all'estremità comune A di due corde fissate a un sostegno e formanti con l'orizzontale entrambe un angolo di 45°. Determina le tensioni delle due corde.

Soluzione. Il punto è in equilibrio sotto l'azione del peso del blocco e delle due tensioni rappresentate nella figura 43b. Poiché la risultante è nulla, la somma delle componenti delle tensioni secondo la verticale è uguale al peso $\vec{P}$ del blocco, mentre le componenti secondo l'orizzontale sono opposte. Dette $\vec{T}_1$ e $\vec{T}_2$ le due tensioni, si ha:

$$T_1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + T_2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = P \qquad T_1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = T_2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

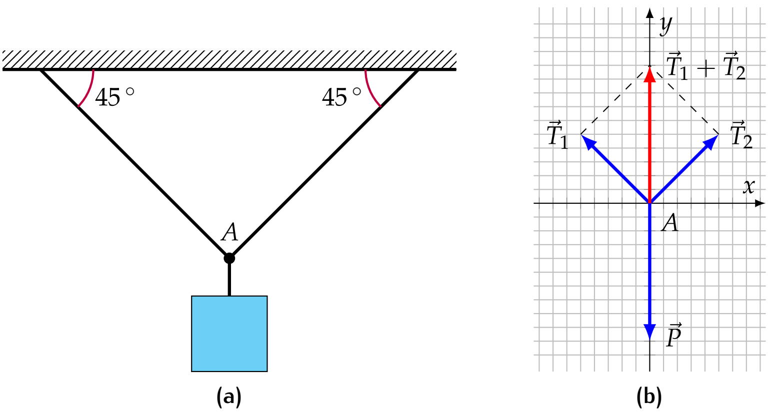


Figura 43: Sistema in equilibrio

Risolvendo ($1\,\mathrm{kg_p} = 9{,}8\,\mathrm{N}$), si ha

$$T_1 = T_2 = \frac{P}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}\,P = \frac{\sqrt{2}}{2}\,2\,\mathrm{kg_p} = \sqrt{2}\,\mathrm{kg_p} \approx 13{,}9\,\mathrm{N} \qquad \square$$

Equilibrio su un piano inclinato

Consideriamo un corpo appoggiato su un piano inclinato liscio di lunghezza l e altezza h (figura 44). Assumiamo che il corpo sia un punto materiale e che sia in equilibrio per effetto della forza elastica esercitata da un dinamometro.

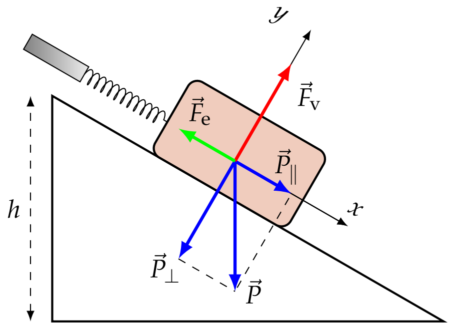


Figura 44: Equilibrio su un piano inclinato

Sul corpo agiscono la forza peso $\vec{P}$ (diretta verso il basso), la forza vincolare $\vec{F}_\mathrm{v}$ esercitata dal piano di appoggio (perpendicolare a tale piano poiché il vincolo è liscio) e la forza $\vec{F}_\mathrm{e}$ esercitata dal dinamometro.

Scegliamo un sistema di assi cartesiani in modo che l'asse x sia parallelo al piano e scomponiamo la forza peso nelle sue componenti cartesiane $\vec{P}_\parallel$ e $\vec{P}_\perp$, rispettivamente parallela e perpendicolare al piano. La $\vec{P}_\perp$ tende a comprimere il corpo sul piano inclinato, permettendogli di rimanervi appoggiato, mentre $\vec{P}_\parallel$ tende a far scendere il corpo lungo il piano.

Lungo l'asse y non c'è movimento: ciò significa che la somma delle forze applicate in questa direzione è uguale a zero; quindi la forza vincolare $\vec{F}_\mathrm{v}$ ha lo stesso modulo ma verso opposto di $\vec{P}_\perp$.

Anche lungo l'asse x non c'è movimento, quindi la $\vec{P}_\parallel$ è equilibrata dalla forza elastica $\vec{F}_\mathrm{e}$ esercitata dal dinamometro. Il modulo di $\vec{P}_\parallel$ (uguale al modulo della forza equilibrante $\vec{F}_\mathrm{e}$) si può calcolare se sono note l'altezza del piano, la sua lunghezza e il modulo della forza peso $\vec{P}$, secondo la relazione

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

3.3 EQUILIBRIO DEI CORPI RIGIDI

Vogliamo ora esaminare le condizioni di equilibrio di un corpo *esteso*, ossia non assimilabile a un punto materiale. Ci limiteremo al caso di un corpo *rigido*, cioè un corpo in cui sono trascurabili le deformazioni prodotte dalle forze applicate.

Baricentro

Finora abbiamo parlato di forze e di corpi su cui le forze agiscono. Esattamente, *dove* agisce una forza applicata a un corpo rigido? In quale punto?

Consideriamo, per esempio, una mela (figura 45): tra le forze esterne applicate c'è la forza peso. La forza peso che noi misuriamo è la risultante delle forze peso applicate sulle varie parti in cui si può pensare di scomporre il corpo. Il punto di applicazione di tali forze è detto *baricentro*.

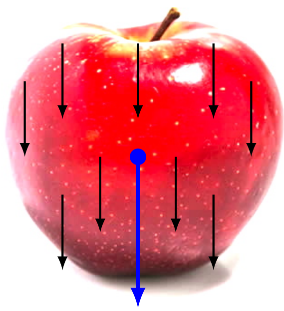
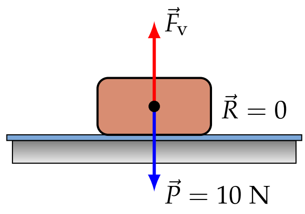


Figura 45: Il baricentro è il punto in cui si può pensare applicata la forza peso di un corpo

Definizione 26. Il *baricentro* è il punto in cui si può pensare applicata la forza peso di un corpo rigido.

In pratica è come se l'intero oggetto potesse essere considerato puntiforme con tutta la sua massa concentrata in tale punto. Se il corpo ha una simmetria, il centro di gravità coincide con il centro di simmetria. Il baricentro può anche non coincidere con un punto del corpo. Per esempio, il baricentro di un anello è esterno al corpo perché è situato nel centro, dove c'è il foro.

Esercizio 39. Un corpo appoggiato su un piano è soggetto a una forza peso di intensità $10\,\mathrm{N}$. Quanto vale la forza vincolare F_V?



Soluzione. La forza peso è diretta verso il basso e il suo punto di applicazione è il baricentro. La $\vec{F}_v$ è opposta a $\vec{F}$. □

Rotazioni

Un corpo rigido può *traslare* e *ruotare*: ognuna di queste due situazioni richiede una particolare condizione perché l'equilibrio sia assicurato. La prima di queste riguarda la traslazione e ci conduce alla seguente affermazione.

Prima legge della statica del corpo rigido. Se un corpo rigido è in equilibrio, allora la risultante delle forze a esso applicate è nulla.

Questa condizione *non* basta per assicurare anche l'equilibrio alla rotazione. Consideriamo, infatti, un libro (figura 46). Applichiamo agli estremi due forze di uguale modulo, agenti su rette parallele, ma di verso opposto. Due forze con queste caratteristiche costituiscono una *coppia* di forze. La risultante delle forze applicate al libro continua a essere nulla, ma il libro, pur non traslando, inizia a ruotare attorno a un asse passante per il suo centro.

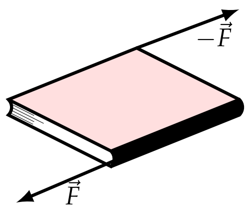


Figura 46: Un libro appoggiato su un tavolo ruota se è soggetto a una coppia di forze

Per studiare la rotazione dei corpi rigidi consideriamo un dispositivo molto semplice, costituito da un supporto al quale è fissata un'asta omogenea munita di fori equispaziati, cui si possono agganciare dei pesi campione. Il punto in cui è fissata l'asta si chiama *fulcro* e permette all'asta di ruotare attorno a esso. Il dispositivo si chiama *asta fulcrata al centro*. In assenza di carichi appesi l'asta è in equilibrio (figura 47).

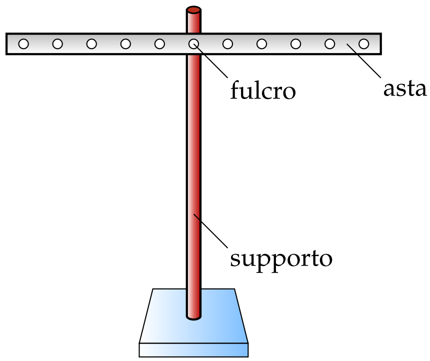


Figura 47: In assenza di carichi appesi, l'asta fulcrata al centro è in equilibrio

Se appendiamo un carico nel foro più esterno a destra del fulcro, provochiamo la *rotazione dell'asta* fino al raggiungimento di una nuova situazione di equilibrio, con l'asta in verticale (figura 48).

Se appendiamo due carichi, come mostrato nelle figure 49a e 49b, otteniamo sempre una rotazione con verso antiorario o orario, a seconda della posizione dei carichi sull'asta. Quindi per mettere in rotazione un corpo rigido non basta applicare una forza, ma dobbiamo considerare anche la distanza tra il punto di applicazione della forza e l'asse di rotazione del corpo, detta *braccio della forza.*

Per descrivere quanto abbiamo visto introduciamo una nuova grandezza fisica, il *momento della forza* che esprime l'effetto della forza sulla rotazione attorno all'asse.

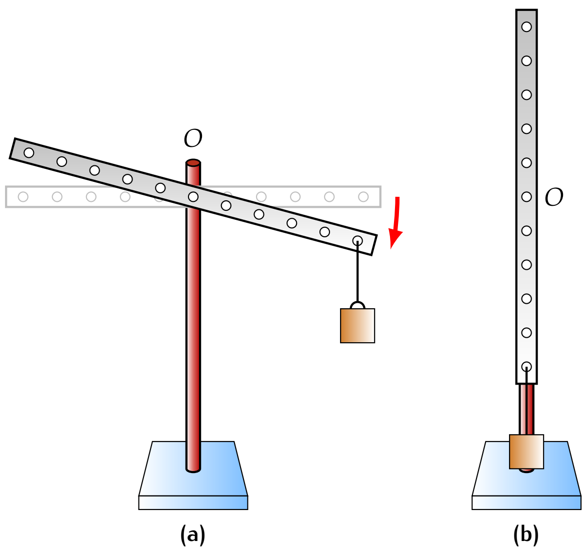


Figura 48: Un carico nel foro più esterno determina un nuovo equilibrio

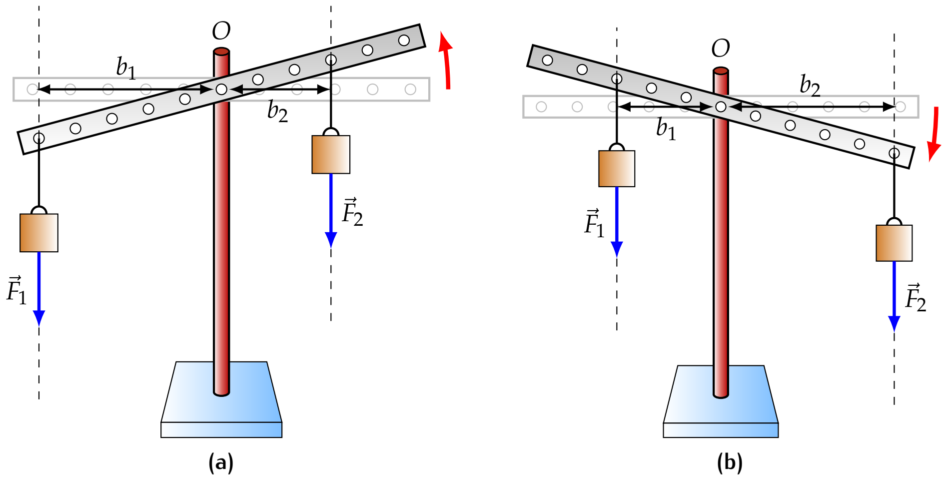


Figura 49: Carichi agganciati in posizioni diverse provocano rotazioni diverse

Definizione 27. Il *momento* M di una forza $\vec{F}$ rispetto a un punto O è il prodotto tra l'intensità F della forza e la distanza b tra O e la direzione della retta su cui giace $\vec{F}$. Tale distanza è detta *braccio*. In formule: $M = F \cdot b$.

Per convenzione il momento è *positivo* se la rotazione è *antioraria*, mentre è *negativo* se la rotazione è *oraria*. Nel Sistema Internazionale, il momento si misura in newton · metro. A parità di momento, la forza e il braccio sono grandezze inversamente proporzionali: all'aumentare dell'una diminuisce l'altra, ovvero tanto più piccolo è il braccio tanto più grande è l'intensità della forza da applicare, e viceversa.

NOTA BENE Il momento, che abbiamo introdotto come una grandezza scalare, è in realtà una grandezza *vettoriale*, opportunamente definita. Nel caso dell'asta fulcrata al centro, questo vettore ha direzione perpendicolare al piano in cui ruota l'asta, per cui basta considerarne il modulo (con segno positivo o negativo secondo che la rotazione sia antioraria oppure oraria). Per questo motivo trattiamo tale grandezza come scalare.

Il concetto di momento è fondamentale per studiare le condizioni di equilibrio dei corpi che ruotano.

Seconda legge della statica del corpo rigido. Se un corpo rigido è in equilibrio, allora la somma dei momenti di tutte le forze applicate è nulla.

Esercizio 40. Per chiudere una porta dobbiamo applicare un momento di $14\,\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}$. Se la maniglia si trova a $70\,\mathrm{cm}$ dai cardini, con quale forza dobbiamo spingere?

Soluzione.

$$M = F \cdot b \quad \Longrightarrow \quad F = \frac{M}{b} = \frac{14}{0{,}7}\,\mathrm{N} = 20\,\mathrm{N} \qquad \square$$

Esercizio 41. Per chiudere un portone dobbiamo applicare un momento di $28\,\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}$. Se la forza che applichiamo è di $32\,\mathrm{N}$, a quale distanza dai cardini si trova la maniglia?

Soluzione.

$$M = F \cdot b \quad \Longrightarrow \quad b = \frac{M}{F} = \frac{28}{32}\,\mathrm{m} = 0{,}875\,\mathrm{m} = 87{,}5\,\mathrm{cm} \qquad \square$$

Esercizio 42. In relazione alla figura 50, a quale distanza b_2 bisogna appendere un peso $P_1 = 1\,\mathrm{N}$ per ottenere l'equilibrio ($P_2 = 2\,\mathrm{N}$, $b_2 = 3\,\mathrm{cm}$)?

Soluzione. Ricordando la convenzione sul segno del momento di una forza si ha:

$$M_1 - M_2 = 0 \quad \Longrightarrow \quad P_1 \cdot b_1 - P_2 \cdot b_2 = 0 \quad \Longrightarrow \quad b_1 = \frac{P_2}{P_1}\,b_2 = \frac{2}{1}\cdot 3\,\mathrm{cm} = 6\,\mathrm{cm} \qquad \square$$

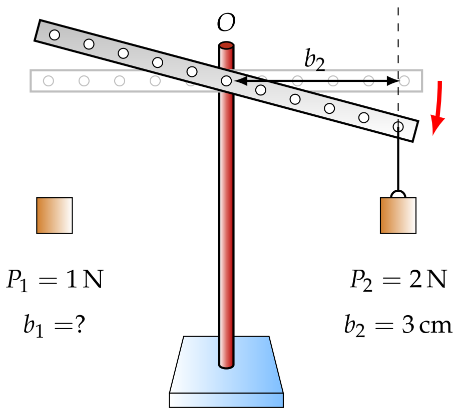


Figura 50: Quanto deve valere b_1 perché il sistema sia in equilibrio?

3.4 ESERCIZI

Chi non risolve esercizi non impara la fisica.

Forze

1 Vero o falso?

a. Il dinamometro serve a misurare le masse. V F

b. La massa e il peso di un libro sono delle grandezze scalari. V F

c. Il peso di un libro che ha massa di 1 kg vale circa 9,8 N. V F

d. La legge di Hooke è sempre valida, qualunque sia l'allungamento della molla. V F

e. Conoscendo il peso di un corpo si può calcolare la sua massa. V F

[2 affermazioni vere e 3 false]

2 Indica la risposta corretta.

a. Che cos'è la costante elastica di una molla?

A una variabile proporzionale all'allungamento della molla

B una costante che ci informa sulla cedevolezza o rigidità della molla

C una forza campione usata per valutare il comportamento delle molle

D una grandezza che dipende dalla forza applicata alla molla

b. L'unità di misura della forza nel Sistema Internazionale è

A il metro   B il newton   C il grammo   D la libbra

c. Qual è lo strumento impiegato per la misura della forza?

A il dinamometro   C la bilancia

B il metro   D il voltmetro

d. Qual è la differenza tra massa e peso?

A Non c'è nessuna differenza

B A differenza del peso, la massa è una grandezza vettoriale

C Il peso è una grandezza vettoriale proporzionale alla massa

- D La massa si misura in newton e il peso in chilogrammi

e. La forza vincolare è:

- A un impedimento totale al movimento di un corpo, per cui esso rimane fermo
- B una forza che ha sempre la direzione della forza peso
- C un impedimento parziale al movimento di un corpo
- D la forza che il vincolo esercita sul corpo

[1 risposta A, 2 B, 1 C e 1 D]

3 Indica la risposta corretta.

a. La forza di attrito statico:

- A è direttamente proporzionale alla velocità del corpo
- B coincide con il peso del corpo
- C se il corpo è su un piano orizzontale, è direttamente proporzionale al peso
- D è in grado di aumentare la velocità del corpo

b. Secondo la legge di Hooke:

- A la velocità di un corpo è direttamente proporzionale alla forza a esso applicata
- B l'allungamento di una molla è inversamente proporzionale all'accelerazione
- C l'allungamento di una molla è direttamente proporzionale alla forza applicata
- D un corpo è in equilibrio quando la risultante delle forze è nulla

c. Il coefficiente di attrito statico si misura in:

- A newton
- B chilogrammi
- C m/s^2
- D è adimensionale

d. Un corpo che pesa 980 N ha massa di:

- A 9,8 kg
- B 100 kg
- C 9604 kg
- D 9800 kg

e. La forza di attrito:

- A agisce per contatto
- B agisce a distanza
- C è di tipo elastico
- D è una grandezza scalare

[1 risposta A, 1 B, 2 C e 1 D]

4 Un corpo è soggetto a una forza $F_1 = 30\,\mathrm{N}$ che agisce verticalmente verso il basso. A seguito dell'applicazione di una seconda forza $\vec{F}_2$, che agisce nella stessa direzione e verso di $\vec{F}_1$, si misura una forza risultante $\vec{R}$ di modulo 50 N. Determina il modulo di $\vec{F}_2$. Se invece $\vec{F}_2$ agisse orizzontalmente, quanto dovrebbe valere il suo modulo per far rimanere invariato il modulo della risultante? [20 N; 40 N]

Forze di attrito

5 Uno sciatore di massa 75 kg è fermo sulla neve fresca. Determina la massima forza d'attrito statico ($\mu_s = 0{,}04$). [29,4 N]

6 Un'auto pesa 12 000 N. Determina la forza che è necessario superare per metterla in movimento, nel caso venga trainata con le ruote bloccate con l'asfalto asciutto ($\mu_s = 0{,}8$) e bagnato ($\mu_s = 0{,}5$). [9600 N; 6000 N]

7 Una cassa di legno di 2 kg è appoggiato su un banco ($\mu_s = 0{,}4$). Se la si spinge in orizzontale, quale forza bisogna superare perché la cassa cominci a muoversi? [7,84 N]

8 Un oggetto di legno di 0,4 kg è appoggiato su un piano d'acciaio ($\mu_s = 0{,}5$). Qual è la forza che è necessario superare per spostare l'oggetto? [1,96 N]

9 Calcola il coefficiente di attrito statico μ_s, sapendo che per spostare una cassa di legno che pesa 29,0 N sopra una superficie, anch'essa di legno, è necessaria un forza orizzontale di 7,25 N. [0,25]

10 Calcola la forza di attrito su un corpo di massa 4 kg che scivola su una superficie piana con coefficiente d'attrito dinamico $\mu_d = 0{,}3$. [11,8 N]

11 Un corpo di massa 2 kg si muove lungo una superficie piana con coefficiente d'attrito dinamico $\mu_d = 0{,}5$. Calcola la forza di attrito dinamico. [9,8 N]

12 Un corpo di massa 10 kg è in moto su un piano orizzontale che presenta un coefficiente di attrito dinamico $\mu_d = 0{,}5$. Calcola la forza di attrito dinamico. [49,0 N]

13 Un oggetto con massa di 2500 g è appoggiato su un pavimento orizzontale. Il coefficiente d'attrito statico è $\mu_s = 0{,}8$ e il coefficiente d'attrito dinamico è $\mu_d = 0{,}4$. Determinare la forza di attrito che agisce sulla scatola se le viene applicata una forza orizzontale esterna d'intensità: *a*) 15 N; *b*) 40 N. [15 N; 9,8 N]

Forza di gravità

14 Una bilancia ha fornito il seguente valore per la massa di un uomo di media statura: 750 hg (ettogrammi). Calcola il suo peso nell'unità di misura del Sistema Internazionale. [735 N]

15 Un neonato, posto su una bilancia molto sensibile, risulta essere passato da 3,650 kg a 3,810 kg dopo un'abbondante poppata. Calcola il peso di latte preso dal neonato. [1,57 N]

16 Trova la massa di un corpo, sapendo che il suo peso è di 490,5 N. [50,1 kg]

17 Un sasso di massa 1 kg è equidistante dalla Terra e dalla Luna e si trova sulla loro congiungente. Quanto vale il modulo della forza di attrazione gravitazionale di cui risente il sasso e in che verso è diretta? (La massa della Terra è di $5{,}9 \cdot 10^{24}$ kg; la massa della Luna è di $7{,}3 \cdot 10^{22}$ kg; la distanza d tra la Terra e la Luna è 384 000 km; essendo d molto elevata possiamo trascurare i raggi dei pianeti.) [0,01 N]

Forza elastica

18 Una molla sotto l'azione di una forza di 9 N subisce l'allungamento di 30 cm. Qual è il valore della costante elastica della molla? Qual è l'intensità della forza capace di allungare la molla di 40 cm? [30 N/m; 12 N]

19 Una molla ha una costante elastica di 120 N/m e una lunghezza a riposo di 45 cm. Dopo che le si applica una forza, la sua lunghezza totale diventa di 60 cm. Calcola l'intensità della forza applicata. [18 N]

20 Una molla ha una costante elastica di 25 N/m. La sua lunghezza a riposo è di 45 cm. Se la lunghezza finale della molla è di 22,5 cm, qual è la forza che la sollecita? [5,63 N]

21 Una molla ha una lunghezza a riposo di 20 cm. Dopo che le si applica una forza di 2,5 N, la sua lunghezza totale diventa di 22 cm. Calcola la costante elastica della molla, esprimendola nell'unità di misura del Sistema Internazionale. [125 N/m]

22 Una molla ha una lunghezza a riposo di 24 cm. Dopo che le si applica una forza verticale di 12 N, la sua lunghezza totale diventa di 27 cm. Calcola la costante elastica della molla, esprimendola nell'unità di misura del Sistema Internazionale. [400 N/m]

23 Una molla ha una costante elastica di 120 N/m. Se le viene applicata una forza di 30 N, qual è l'allungamento subito dalla molla? [25 cm]

24 Una molla ha una costante elastica di 50 N/m. La sua lunghezza a riposo è di 15 cm. Se viene allungata con una forza di 1,75 N, qual è la sua lunghezza finale? [18,5 cm]

25 Una molla ha una costante elastica di 60 N/m. Se le viene applicata una forza di 3 N, la sua lunghezza finale è di 42 cm? Calcola la sua lunghezza a riposo. [37 cm]

26 Calcola di quanto si allunga una molla di costante elastica $k = 147$ N/m posta in verticale, se si appende una massa $m = 3$ kg. [20 cm]

Equilibrio dei punti materiali

27 Indica la risposta corretta.

a. Se la risultante di un sistema di forze applicate a un punto materiale è nulla:

- A vuol dire che tutte le forze applicate sono nulle
- B il punto materiale si mette in moto
- C il punto materiale è in equilibrio

D il punto materiale frena fino a fermarsi

b. Un portamatite è appoggiato su una scrivania. Il portamatite è fermo perché:

A su di esso non agiscono forze

B la risultante della forza peso e della forza vincolare è nulla

C la forza peso e la forza vincolare hanno lo stesso verso

D nessuna delle precedenti

c. La forza necessaria a equilibrare un corpo appoggiato su un piano inclinato di altezza h e lunghezza l è:

A direttamente proporzionale ad h e a l

B inversamente proporzionale ad h e a l

C direttamente proporzionale ad h e inversamente proporzionale a l

D inversamente proporzionale ad h e direttamente proporzionale a l

d. La forza F_e necessaria a equilibrare un corpo di massa m appoggiato su un piano inclinato di altezza h e lunghezza l è:

A $F_e = mg \cdot \frac{h}{l}$ B $mg = F_e \cdot \frac{h}{l}$ C $F_e = mg$ D $F_e = mg \cdot \frac{l}{h}$

e. La risultante di due forze di modulo 10 N e 8 N che agiscono su un punto materiale ha intensità 2 N. Possiamo affermare che:

A l'angolo tra le due forze è 60 °.

B le due forze sono tra loro perpendicolari.

C l'angolo tra le due forze è 45 °.

D le due forze hanno la stessa direzione e verso opposto.

[1 risposta A, 1 B, 2 C e 1 D]

28 Una sfera del peso di 100 N è in equilibrio su un piano inclinato lungo 5 m e alto 3 m. Calcola la forza equilibrante. [60 N]

29 Un carrello del peso di 1200 N è tenuto in equilibrio lungo una discesa di 6 m la cui sommità è sollevata di 2 m rispetto al punto finale. Calcola la forza equilibrante. [400 N]

30 Un masso si trova in equilibrio lungo un pendio assimilabile a un piano inclinato di lunghezza 48 m, la cui sommità rispetto al fondo si trova a 8 m d'altezza. Se la forza equilibrante che agisce sul masso è 64 N, qual è il suo peso? [384 N]

31 Una sfera si trova su un piano inclinato lungo 20 cm e alto 12 cm. Sapendo che $P_{\parallel} = 1{,}50$ N, determina P. [2,50 N]

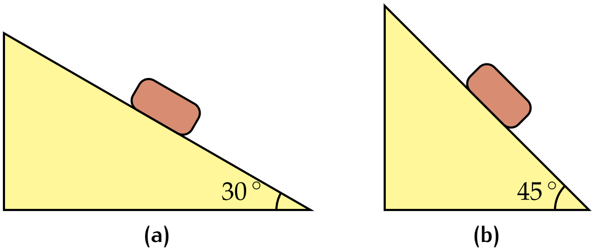


Figura 51: Equilibrio su un piano inclinato

32 Una palla è tenuta in equilibrio su un piano inclinato lungo 60 cm e alto 15 cm da una forza di 0,625 N. Determina il suo peso. [2,5 N]

33 In un piano inclinato alto 40 cm una biglia di 0,20 N di peso si mantiene in equilibrio grazie a una forza di 0,05 N. Determina la lunghezza del piano. [1,6 m]

34 In un laboratorio di fisica, nella fase iniziale di un esperimento, un ragazzo esercita una forza di 0,12 N per trattenere una sferetta di 32 g posizionata all'inizio di una guidovia inclinata e di altezza 15 cm. Determina la lunghezza della guidovia. [39,2 cm]

35 Un corpo di massa 10 kg è appoggiato su un piano inclinato di 30 ° come nella figura 51a. Calcola il modulo della componente parallela al piano della forza peso. [49 N]

36 Un corpo di massa 80 g è appoggiato su un piano inclinato come nella figura 51b. Calcola il modulo della componente parallela al piano della forza peso. [0,55 N]

37 Un corpo è in equilibrio su un piano inclinato. Aumentando progressivamente l'inclinazione del piano, il corpo inizia a scivolare giù nell'istante in cui l'altezza del piano è uguale alla metà della base. Determina il valore del coefficiente di attrito statico. [0,5]

38 Un ciclista che ha peso (compresa la bici) di 720 N, agendo sui pedali esercita una forza equilibrante di 90 N riuscendo a mantenersi in equilibrio lungo una salita di 200 m per aspettare dei compagni in ritardo. Determina il dislivello tra il punto iniziale e finale della salita. [25 m]

39 Su un punto materiale agiscono tre forze $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ e $\vec{F}_3$ (figura 52a), di modulo rispettivamente $F_1 = F_2 = 5\,\text{N}$ e $F_3 = 5\sqrt{2}\,\text{N}$. Il punto è in equilibrio?

Soluzione. Calcoliamo la somma delle forze $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$. Il modulo di tale somma, per il teorema di Pitagora è:

$$\sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{50^2 + 50^2}\,\text{N} = \sqrt{2500 \cdot 2}\,\text{N} = 50\sqrt{2}\,\text{N}$$

La risultante $\vec{R}$ delle forze $\vec{F}_1 + \vec{F}_2$ e $\vec{F}_3$ è diretta lungo l'asse x (figura 52b) e ha modulo $2 \cdot 50\sqrt{2}\,\text{N} = 100\sqrt{2}\,\text{N}$. Perciò il punto non è in equilibrio. □

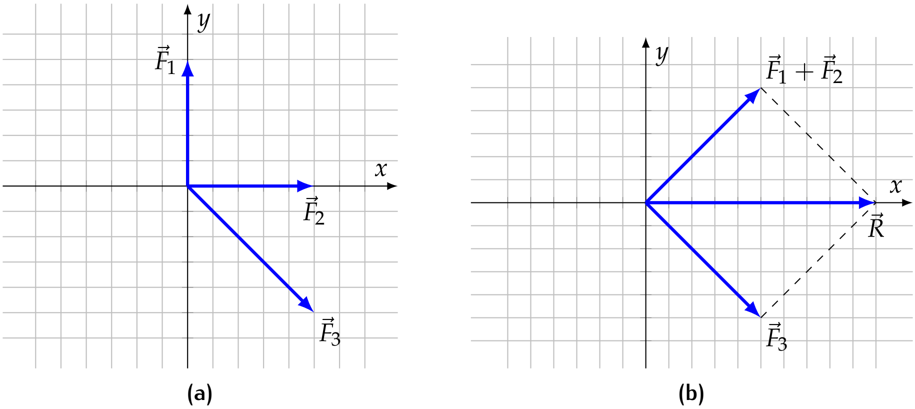


Figura 52: Equilibrio di un punto materiale

Equilibrio dei corpi rigidi

40 Indica la risposta corretta.

a. Qual è la definizione corretta del momento di una forza?

- A È il rapporto tra la forza e il braccio
- B È il prodotto tra la forza e il braccio
- C È la somma tra la forza e il braccio
- D È la distanza tra il centro di rotazione e la retta d'azione della forza

b. Per raddoppiare il momento di una forza rispetto a un punto si può:

- A raddoppiare sia il braccio che la forza
- B dimezzare sia il braccio che la forza
- C raddoppiare o il braccio o la forza
- D dimezzare la forza e raddoppiare il braccio

c. Quale effetto produce una coppia di forze applicate a un corpo rigido libero di muoversi?

- A Nessuno, perché le forze hanno modulo uguale ma verso opposto
- B Una traslazione nella direzione individuata dalle forze
- C L'equilibrio, perché la somma delle forze è nulla
- D Una rotazione in senso orario o antiorario

d. Quali sono le condizioni di equilibrio di un corpo rigido?

- A La forza risultante e il momento risultante devono essere uguali a zero
- B La forza risultante e il momento risultante devono essere paralleli
- C La forza risultante deve essere uguale a zero
- D Il momento risultante deve essere uguale a zero

e. Il baricentro di un corpo:

- A coincide sempre con un punto del corpo
- B è circa a metà del corpo
- C è il centro del sistema di forze peso applicate
- D serve per riconoscere la direzione della forza peso

[1 risposta A, 1 B, 2 C e 1 D]

41 Calcola il momento di una forza di 23 N applicata in un punto di un'asta fulcrata al centro, sapendo che la retta d'azione di tale forza dista 70 cm del fulcro dell'asta. [16,1 N · m]

42 Il momento di una forza applicata in un punto di un'asta fulcrata al centro distante b dal fulcro vale 20 N · m. Se la forza applicata è di 60 N, quanto vale il braccio b? [33,3 cm]

43 Il momento di una forza applicata in un punto di un'asta fulcrata al centro distante 120 cm dal fulcro vale 32 N · m. Trova il valore della forza applicata. [26,7 N]

44 Un automobilista applica al volante due forze di verso opposto, di intensità 30 N, che agiscono lungo rette d'azione parallele distanti tra loro 20 cm. Calcola il momento della coppia. [6 N · m]

4 PRINCIPI DELLA DINAMICA

Lo studio del moto fatto nel capitolo 2 era finalizzato alla sua descrizione. Vogliamo ora capire quali sono le *cause* del moto: studieremo cioè la *dinamica*.

Un tempo si riteneva che il moto fosse l'effetto di una forza e che un corpo si arrestasse se la forza veniva meno. Nel XVIII secolo Isaac Newton, sulla base del lavoro di Galileo Galilei, capì che le forze sono la causa non del moto, ma della sua *variazione*. Egli formulò i tre principi fondamentali della dinamica:

- il principio d'inerzia (o primo principio della dinamica);
- la legge di Newton (o secondo principio della dinamica);
- il principio di azione e reazione (o terzo principio della dinamica).

4.1 PRINCIPIO D'INERZIA

Un corpo in quiete non cambia "da solo" il suo stato: una pallina appoggiata sul piano resta ferma finché non le si imprime una spinta.

Il caso del moto rettilineo uniforme è meno intuitivo: un'automobilina giocattolo si muove su un piano finché la spingiamo, ma se interrompiamo la spinta l'automobilina si ferma. Che cosa fa fermare l'automobilina? È la forza di attrito dinamico, che agisce in senso contrario al moto e lo ostacola fino a fermare il corpo. Se non ci fosse attrito, un corpo in movimento continuerebbe a muoversi senza mai rallentare. L'esperienza mostra che una superficie particolarmente liscia, come un pavimento appena incerato o una pista di pattinaggio su ghiaccio, frena il moto della nostra automobilina molto meno di una superficie ruvida.

Tutto ciò si riassume nel *principio d'inerzia*, scoperto da Galileo Galilei ed enunciato da Newton.

> **Principio d'inerzia.** Un corpo non soggetto a forze mantiene il proprio stato di quiete o di moto rettilineo uniforme.

Sistemi di riferimento inerziali e non inerziali

I principio d'inerzia non vale in tutti i sistemi di riferimento: definiamo *sistemi di riferimento inerziali* quelli in cui vale.

Consideriamo due sistemi di riferimento: il primo solidale con la Terra e il secondo solidale con un'auto in moto rettilineo uniforme. Sul cruscotto dell'auto è appoggiato un cellulare. Come descrivono il moto del cellulare i due osservatori? Il cellulare è fermo per chi è in auto e in movimento per chi è a terra. Per entrambi gli osservatori vale il principio d'inerzia: il cellulare rimane nello stato di quiete (per l'osservatore in auto) e di moto rettilineo uniforme (per l'osservatore a terra). Entrambi i sistemi sono inerziali.

Se però l'auto frena, il cellulare si sposta in avanti, perché, mentre l'auto rallenta, conserva lo stato di moto uniforme che aveva: con la frenata, il cellulare ha una velocità maggiore di quella dell'auto. Chi è a terra vede il cellulare continuare il suo moto. La forza che sembra agire a chi è in auto non è reale, ma *apparente*, dovuta al fatto che l'auto non è più un sistema di riferimento inerziale.

Un sistema è inerziale quando è in moto rettilineo uniforme rispetto alla Terra. Un'auto o un treno in moto rettilineo uniforme sono sistemi inerziali. Invece una giostra è un esempio di sistema non inerziale: un oggetto posto su di essa si sposta verso l'esterno senza che ci sia una forza reale a provocarne il moto.

4.2 LEGGE DI NEWTON

Quando un giocatore di baseball colpisce la palla ne modifica la velocità, generalmente in modulo e direzione. Indipendentemente dal fatto che un corpo sia in moto o in quiete, se a esso viene applicata una forza, questa produce una *variazione di velocità*, ovvero un'*accelerazione*.

Legge di Newton. Una forza $\vec{F}$ applicata a un corpo produce un'accelerazione $\vec{a}$ il cui modulo è direttamente proporzionale all'intensità della forza e inversamente proporzionale alla massa m del corpo.

In formule:

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

Sappiamo già che nel Sistema Internazionale la forza si misura in newton. Ora possiamo aggiungere che 1 N è la forza in grado di accelerare di $1\,\mathrm{m/s^2}$ una massa di 1 kg.

Esercizio 43. Un corpo di massa 2 kg è soggetto a una forza di 6 N. Trova l'accelerazione del corpo.

Soluzione. Per la legge di Newton il corpo ha un'accelerazione avente la direzione e il verso della forza applicata, e modulo:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{6}{2}\,\mathrm{m/s^2} = 3\,\mathrm{m/s^2} \qquad \square$$

Esercizio 44. Un carrello di massa 1 kg è tirato da due forze perpendicolari di intensità 3 N e 4 N (figura 53). Trova l'accelerazione del carrello.

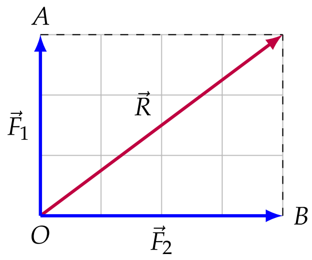


Figura 53: Costruzione grafica delle forze agenti sul carrello

Soluzione. La figura 53 mostra la risultante $\vec{R}$ delle forze $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ ottenuta con la regola del parallelogramma. Per la legge di Newton il carrello ha un'accelerazione avente la direzione e il verso di $\vec{R}$, e modulo $a = R/m$, dove m è la massa del carrello. Per il teorema di Pitagora si ha che $R = 5\,\mathrm{N}$. Perciò:

$$a = \frac{R}{m} = \frac{5}{1}\,\mathrm{m/s^2} = 5\,\mathrm{m/s^2} \qquad \square$$

Moto di un corpo su un piano inclinato

Se indichiamo con $\vec{P}$ il peso del corpo e con $\vec{F}_\mathrm{v}$ la forza vincolare del piano inclinato di altezza h e lunghezza l, per la legge di Newton, nell'ipotesi di attrito trascurabile:

$$\vec{P} + \vec{F}_\mathrm{v} = m\vec{a}$$

in cui m e $\vec{a}$ sono la massa e l'accelerazione del corpo e $P = mg$.

Uguagliando le componenti di entrambi i membri dell'equazione precedente secondo un asse parallelo al piano d'appoggio e orientato positivamente verso il basso (figura 54), abbiamo:

$$P_\parallel = ma \quad \Longrightarrow \quad mg \cdot \frac{h}{l} = ma \quad \Longrightarrow \quad a = g \cdot \frac{h}{l}$$

Quindi un corpo scivola lungo un piano inclinato con moto uniformemente accelerato, la cui accelerazione è uguale a quella di gravità moltiplicata per il rapporto h/l tra l'altezza e la lunghezza del piano inclinato. Essendo $h < l$, segue che $a < g$, cioè l'accelerazione lungo il piano inclinato è minore di quella in caduta libera: un corpo scivola lungo un piano inclinato *più lentamente* rispetto alla caduta libera.

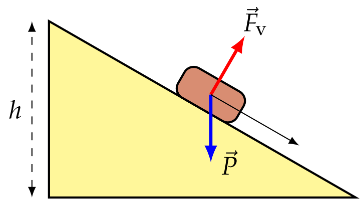


Figura 54: Moto di un corpo su un piano inclinato

Esercizio 45. Determina il tempo che impiega un corpo che scivola su un piano inclinato di altezza h lunghezza l per giungere alla base del piano stesso. Calcola inoltre la velocità finale.

Soluzione. Le leggi del moto sono quelle del moto uniformemente accelerato:

$$v = at \qquad s = \frac{1}{2}at^2 \tag{15}$$

Dalla seconda delle precedenti, posto $s = l$, lo spazio percorso dal corpo per giungere alla base del piano, risolvendo rispetto a t si ha:

$$t = \sqrt{\frac{2l}{a}}$$

Tenendo conto dell'espressione di a, si ha il tempo richiesto:

$$t = \sqrt{\frac{2l \cdot l}{gh}} = l\sqrt{\frac{2}{gh}}$$

Sostituendo il tempo trovato nel secondo membro della prima delle equazioni (15) si ha la velocità richiesta:

$$v = g\sqrt{\frac{2}{gh}} \quad \Longrightarrow \quad v = \sqrt{2gh}$$

Quindi la velocità che acquista un corpo cadendo da un'altezza h è sempre la stessa, sia in caduta libera — confronta con la (10) a pagina 50 — che su un piano inclinato. □

4.3 PRINCIPIO DI AZIONE E REAZIONE

Consideriamo una racchetta da tennis che colpisce una pallina: la pallina si schiaccia nel momento in cui viene colpita dalla racchetta, per tornare di nuovo sferica appena cessa il contatto che ha provocato la deformazione. Nello stesso tempo e allo stesso modo si deformano le corde della racchetta.

Quello appena visto è un esempio di *interazione* tra corpi: se la pallina esercita una forza (detta *azione*) sulla racchetta, la racchetta esercita sulla pallina una forza (detta *reazione*) che ha la stessa intensità e la stessa retta di azione, ma verso opposto.

Principio di azione e reazione. Se un corpo A esercita una forza $\vec{F}_{A\to B}$ su un altro corpo B, allora B esercita su A una forza $\vec{F}_{B\to A}$ che ha la stessa intensità e la stessa retta di azione di $\vec{F}_{A\to B}$, ma verso opposto.

In formule:

$$\vec{F}_{B\to A} = -\vec{F}_{A\to B}$$

Esercizio 46. Un uomo di 80 kg è seduto su una sedia. Determina la reazione della sedia sull'uomo.

Soluzione. La forza esercitata dall'uomo sulla sedia è il peso dell'uomo, diretto verso il basso e di modulo:

$$P = mg = 80 \cdot 9{,}8\,\mathrm{N} = 784\,\mathrm{N}$$

Per il terzo principio della dinamica, la reazione esercitata dalla sedia sull'uomo è rivolta verso l'alto e ha lo stesso modulo. □

4.4 ESERCIZI

Chi non risolve esercizi non impara la fisica.

1 Indica la risposta corretta.

a. Di che cosa si occupa la dinamica?

- A Della relazione fra il moto e le sue cause
- B Del moto, indipendentemente dalle cause
- C Delle cause della deformazione dei corpi
- D Dell'origine delle forze agenti sui corpi

b. Dal principio d'inerzia si può dedurre che, in assenza di forze:

$\boxed{\text{A}}$ non ci può essere moto

$\boxed{\text{B}}$ non ci può essere velocità

$\boxed{\text{C}}$ un corpo se sta accelerando continua ad accelerare

$\boxed{\text{D}}$ un corpo fermo rimane fermo

c. L'esperienza ci insegna che un bicicletta, poco dopo che si smette di pedalare, si ferma e non persevera nel suo moto rettilineo uniforme. È una violazione del principio d'inerzia?

$\boxed{\text{A}}$ Sì, ma ogni principio ammette delle eccezioni

$\boxed{\text{B}}$ No, perché il primo principio riguarda solo i mezzi a motore

$\boxed{\text{C}}$ No, perché il primo principio afferma che la causa della velocità è la forza

$\boxed{\text{D}}$ No, perché la bicicletta è soggetta alle forze d'attrito

d. In quale dei seguenti sistemi di riferimento il principio d'inerzia è valido?

$\boxed{\text{A}}$ Una giostra in moto circolare uniforme rispetto alla Terra

$\boxed{\text{B}}$ Un autobus in moto rettilineo uniforme rispetto alla Terra

$\boxed{\text{C}}$ Un motorino che sta decelerando in prossimità di un semaforo

$\boxed{\text{D}}$ Un aereo che sta accelerando lungo una pista rettilinea per decollare

e. Quale delle seguenti affermazioni *non* è corretta per la legge di Newton?

$\boxed{\text{A}}$ Il rapporto tra forza e accelerazione è costante

$\boxed{\text{B}}$ Il grafico della relazione forza-accelerazione è una retta

$\boxed{\text{C}}$ La massa è data dal rapporto tra accelerazione e forza

$\boxed{\text{D}}$ L'accelerazione ha la stessa direzione e lo stesso verso della forza agente

f. Se la forza agente su un corpo è costante, allora:

$\boxed{\text{A}}$ la massa e l'accelerazione sono inversamente proporzionali

$\boxed{\text{B}}$ la massa e l'accelerazione sono direttamente proporzionali

$\boxed{\text{C}}$ la massa e l'accelerazione sono legate da una proporzionalità quadratica

$\boxed{\text{D}}$ la massa e l'accelerazione possono variare indipendentemente l'una dall'altra

g. Il principio di azione e reazione è valido:

$\boxed{\text{A}}$ solo per le forze di contatto

B sia per le forze di contatto che per quelle a distanza

C solo per le forze a distanza

D né per le forze di contatto né per quelle a distanza

[2 risposte *A*, 2 *B*, 1 *C* e 2 *D*]

2 Vero o falso?

a. Il principio d'inerzia afferma che in assenza di forze tutti i corpi si fermano. V F

b. Un'auto che accelera a un semaforo è un esempio di sistema di riferimento inerziale. V F

c. La massa è il rapporto tra la forza applicata e l'accelerazione. V F

d. L'accelerazione è direttamente proporzionale alla forza che ne è la causa. V F

e. Per il terzo principio della dinamica il pavimento su cui sei in piedi esercita su di te una forza. V F

[3 affermazioni vere e 2 false]

Legge di Newton

3 Un'auto avente la massa di 1600 kg, con una forza frenante costante di 6250 N viene fermata in un tratto di 80 m. Calcola la velocità dell'auto nell'istante in cui ha avuto inizio la frenata e il tempo richiesto per fermarsi. [90 km/h; 6,4 s]

4 Un'auto che ha una massa di 1200 kg resta in panne. Con quale forza occorre spingerla per imprimerle un'accelerazione di 0,3 m/s^2? [360 N]

5 Una forza agisce su un carrello di massa 35 kg. Se l'accelerazione acquisita dal carrello è 0,2 m/s^2, quale è la forza che agisce su di esso? [7 N]

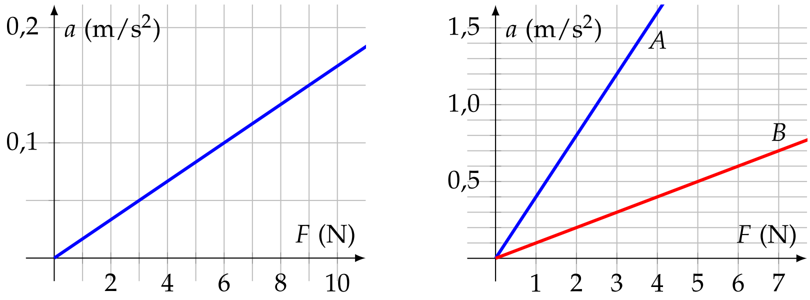
6 Un trattore, applicando una forza costante, tira un masso di 750 kg. Determina la forza, se l'accelerazione del masso è 0,4 m/s^2. [300 N]

7 Due uomini stanno spingendo un'auto di 1100 kg. Se l'accelerazione è 0,1 m/s^2, qual è la forza applicata? [110 N]

8 Per fermare un carrello che sta percorrendo una discesa, interviene un uomo che ottiene che in 4 secondi la velocità passi da 2,8 m/s a 0 m/s. Se la massa del carrello è di 50 kg, qual è stata la forza complessivamente applicata dall'uomo? [35 N]

9 Spingendo un carrello vuoto al supermarket con una forza di 9 N, si ottiene una sua accelerazione di 0,6 m/s^2. Dopo gli acquisti occorre una forza di 36 N per ottenere la stessa accelerazione. Determina la massa del carrello e la massa dei soli acquisti. [15 kg; 45 kg]

10 Luca spinge un mobile antico colmo di oggetti con una forza di 60 N, imprimendogli un'accelerazione di 0,2 m/s^2. Dopo alcuni metri, stanco per lo sforzo, toglie tutti



(a) (b)

Figura 55: Diagrammi forza-accelerazione

gli oggetti e spinge il mobile vuoto. Questa volta basta una forza di 44 N per ottenere un'accelerazione di 0,8 m/s^2. Determina la massa del mobile e quella degli oggetti contenuti. [55 kg; 245 kg]

11 Calcola l'accelerazione che viene impressa a un'auto di massa 950 kg da un motore che esercita su di essa una forza di 2945 N. [3,1 m/s^2]

12 Determina l'accelerazione impressa a una palla con massa di 250 g dalla forza di 3,6 N. [14,4 m/s^2]

13 Una massa di 12,5 kg è soggetta all'azione di due forze $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ perpendicolari tra loro. Sapendo che $F_1 = 3$ N e $F_2 = 4$ N, trova l'accelerazione cui è soggetta la massa. [0,4 m/s^2]

14 Calcola la massa del corpo di cui nella figura 55a è stato riprodotto il grafico forza-accelerazione. [60 kg]

15 Determina le masse dei corpi A e B dei quali nella figura 55b è stato riprodotto il grafico forza-accelerazione. [2,5 kg; 10 kg]

16 Su un corpo di massa variabile agisce una forza costante di 5 N. Traccia il grafico massa-accelerazione e trova quanto vale la massa se l'accelerazione è 0,25 m/s^2. [20 kg]

17 Su un corpo m_1 di massa 3 kg è applicata la forza di 12 N, mentre un secondo corpo m_2 si muove di moto rettilineo uniformemente accelerato con $a = 3$ m/s^2. Se i corpi partono da fermi, quale dei due avrà percorso più strada dopo 10 s? [m_1]

18 Un corpo di massa 3 kg si muove di moto rettilineo uniformemente accelerato con $a = 9$ m/s^2. Sapendo che la forza di attrito dell'aria è di 10 N, determina il modulo della forza che mantiene in moto il corpo. [37 N]

19 Un macchinario è in grado di sviluppare una forza di 300 N. Riuscirà a spostare uno scatolone di 200 kg, sapendo che il coefficiente di attrito statico vale $\mu_s = 0,15$? [sì]

20 Una moto di massa 300 kg sta accelerando con $a = 6\,\mathrm{m/s^2}$, ma in seguito a un colpo di vento l'attrito dell'aria aumenta di 50 N. Quanto vale ora l'accelerazione della moto? [$5{,}83\,\mathrm{m/s^2}$]

21 Calcola la forza che deve applicare un ciclista che parte da fermo alla bici per farle raggiungere una velocità di 10 m/s in 30 s, sapendo che la massa della bici è 15 kg e quella del ciclista 70 kg. [28,3 N]

22 Paolo lancia verso l'alto una palla di massa 400 g, con una velocità iniziale di 40 m/s. Quanto tempo ci mette la palla a fermarsi, sapendo che l'attrito dell'aria, costante, vale 3 N? [2,3 s]

23 Un corpo scivola lungo un piano inclinato alto 5 m e lungo 10 m. Trascurando gli attriti, quanto tempo impiega il corpo ad arrivare alla base del piano? [2,0 s]

24 Un corpo scivola lungo un piano inclinato alto 1 m e lungo 2 m. Trascurando gli attriti, qual è la velocità finale del corpo? [4,4 m/s]

25 Una scatola di massa 0,5 kg si trova in cima a un piano inclinato di 45° rispetto all'orizzontale, alto 6 m. Trascurando gli attriti, quanto tempo impiega la scatola ad arrivare alla base del piano? [1,56 s]

Principio di azione e reazione

26 Due corpi entrano in contatto. Il corpo A ha massa di 5 kg e subisce un'accelerazione di $1{,}5\,\mathrm{m/s^2}$. Calcola la massa del corpo B sapendo che l'accelerazione prodotta è $1{,}2\,\mathrm{m/s^2}$.

Soluzione. Per il principio di azione e reazione abbiamo che, in modulo:

$$F_{B\to A} = F_{A\to B}$$

Per la legge di Newton:

$$F_{B\to A} = m_A a_A \qquad F_{A\to B} = m_B a_B$$

Perciò:

$$m_A a_A = m_B a_B \qquad \Longrightarrow \qquad m_B = \frac{m_A a_A}{a_B} = \frac{5\cdot 1{,}5}{1{,}2}\,\mathrm{kg} = 6{,}25\,\mathrm{kg}$$ □

27 Due asteroidi con massa rispettivamente di $1{,}95\cdot 10^{9}$ kg e $1{,}20\cdot 10^{9}$ kg viaggiano sulla stessa traiettoria rettilinea uno contro l'altro in rotta di collisione. Sapendo che il primo accelera verso il secondo, a causa della reciproca forza di attrazione, con un'accelerazione di $3{,}2\cdot 10^{-9}\,\mathrm{m/s^2}$, trova l'accelerazione del secondo verso il primo. [$5{,}2\cdot 10^{-9}\,\mathrm{m/s^2}$]

5 EQUILIBRIO NEI FLUIDI

A differenza dei solidi, i *fluidi* sono corpi che non hanno una forma propria, ma tendono ad assumere la forma del recipiente che li contiene. I fluidi si dividono in *liquidi* (come l'acqua) e *gas* (come l'aria): i liquidi sono fluidi che non si possono comprimere (hanno cioè volume costante), mentre i gas si possono comprimere facilmente in un volume più piccolo di quello iniziale.

5.1 PRESSIONE

Una stessa forza applicata a superfici diverse produce effetti diversi. Per esempio, un chiodo penetra nel legno per la sua forma a punta e un tacco a spillo, a differenza di una scarpa bassa, fa sprofondare se si cammina sulla sabbia. Introduciamo una nuova grandezza scalare, la *pressione*.

Definizione 28. Data una forza che agisce perpendicolarmente a una superficie, la *pressione* è il rapporto tra l'intensità della forza e la superficie.

In formule, se F è l'intensità della forza, S è la superficie e p è la pressione:

$$p = \frac{F}{S}$$

A parità di forza applicata, la pressione e la forza sono grandezze *inversamente proporzionali*. Nel Sistema Internazionale, la pressione si misura in pascal (Pa): 1 Pa è la pressione esercitata da una forza di 1 N su una superficie di 1 m^2.

Esercizio 47. Calcola la pressione che una cassa con base quadrata di lato 50 cm e di massa 15 kg esercita sul pavimento su cui è appoggiata.

Soluzione. Per determinare la pressione bisogna conoscere il valore della forza premente, ovvero della forza peso:

$$F = mg = (15 \cdot 9{,}8)\,\mathrm{N} = 147\,\mathrm{N}$$

La pressione sarà quindi data da:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{147}{(0{,}5)^2}\,\mathrm{Pa} = 588\,\mathrm{Pa}$$

□

Esercizio 48. Per affettare il pane usiamo la lama di un coltello, lunga 12,0 cm e larga 0,05 mm, che esercita una forza di intensità $F = 60\,\text{N}$. Quanto vale la pressione esercitata dalla lama?

Soluzione. Calcoliamo la superficie S della parte affilata della lama:

$$S = (12{,}0\,\text{cm}) \cdot (0{,}05\,\text{mm}) = (12 \cdot 10^{-2}\,\text{m}) \cdot (0{,}05 \cdot 10^{-3}\,\text{m}) = 6{,}0 \cdot 10^{-6}\,\text{m}^2$$

Calcoliamo la pressione secondo la definizione:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{60}{6{,}0 \cdot 10^{-6}}\,\text{Pa} = 10^7\,\text{Pa}$$

È una pressione notevole: la pressione esercitata da un elefante sul terreno, per esempio, è circa cento volte più piccola. Ciò spiega come mai un coltello affilato permette di tagliare i cibi con uno sforzo limitato: la forza esercitata sul coltello si "concentra" sulla piccola superficie della parte affilata della lama e produce una pressione elevata. □

5.2 PRINCIPIO DI PASCAL

La pressione non si esercita solo sulle superfici solide, ma anche nei fluidi (liquidi e gas). Se riempiamo d'acqua un palloncino bucherellato, vedremo che l'acqua zampillerà dai fori con getti di lunghezza pressappoco uguale (figura 56).

Questo fenomeno si spiega ammettendo che la pressione dell'acqua si distribuisce allo stesso modo in tutte le direzioni. Ciò si riassume nel *principio di Pascal*, dal nome dello scienziato francese che lo formulò nel XVII secolo.

Principio di Pascal. La pressione esercitata in un punto di un fluido si trasmette in tutte le direzioni con la stessa intensità.

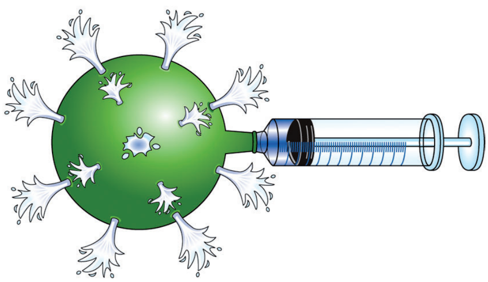


Figura 56: Principio di Pascal

Per il Principio di Pascal, la pressione esercitata sulla parete esterna di una bottiglia di plastica si trasmette all'interno e fa uscire l'acqua in essa contenuta (figura 57).

Figura 57: Un'altra applicazione del principio di Pascal

Sul principio di Pascal si basa un dispositivo, detto *sollevatore idraulico*, che si comporta da "trasformatore di forza". Il sollevatore idraulico è costituito da due cilindri muniti di stantuffo (che può salire e scendere) comunicanti fra loro, come quelli mostrati nella figura 58. Le sezioni dei due cilindri sono diverse tra loro. Se applichiamo una forza F_1 sullo stantuffo di sezione S_1 la pressione risulta:

$$p_1 = \frac{F_1}{S_1}$$

Per il principio di Pascal, la pressione si trasmette dal basso verso l'alto sullo stantuffo di destra di sezione S_2. Detta perciò F_2 la forza trasmessa, si ha:

$$p_2 = p_1 \quad \Longrightarrow \quad \frac{F_2}{S_2} = \frac{F_1}{S_1} \quad \Longrightarrow \quad F_2 = \frac{S_2}{S_1} \cdot F_1$$

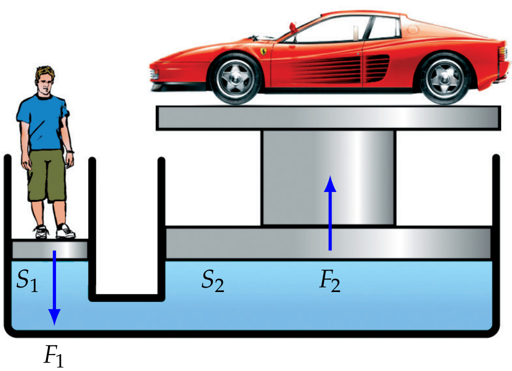


Figura 58: Sollevatore idraulico

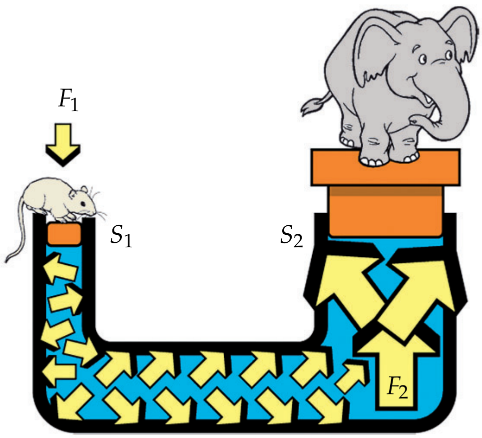


Figura 59: In un sollevatore idraulico, la forza trasmessa è tanto maggiore quanto maggiore è il rapporto tra le sezioni dei cilindri

La forza F_2 trasmessa è uguale perciò alla F_1 applicata, moltiplicata per il rapporto S_2/S_1 delle sezioni dei due cilindri. La forza trasmessa è quindi tanto maggiore, a parità di forza F_1 applicata, quanto maggiore è il rapporto tra le sezioni dei cilindri (figura 59).

Esercizio 49. Un sollevatore idraulico ha sezioni $S_1 = 3{,}5\,\text{dm}^2$ e $S_2 = 5\,\text{m}^2$. Quale forza occorre esercitare su S_1 per sollevare un'auto di massa pari a $1200\,\text{kg}$ posta su S_2?

Soluzione. Trasformando la superficie S_1 in m^2 si ha:

$$F_1 = \frac{S_1}{S_2} \cdot F_2 = \frac{S_1}{S_2} \cdot mg = \frac{3{,}5 \cdot 10^{-2}}{5} \cdot 1200 \cdot 9{,}8\,\text{N} = 82{,}3\,\text{N}$$

Questa forza è molto più piccola di quella dovuta al peso dell'auto e può essere prodotta, per esempio, appoggiando sulla superficie dello stantuffo una massa di soli $8{,}4\,\text{kg}$. □

5.3 LEGGE DI STEVIN

Immaginiamo un sub in immersione: via via che scende sente la maschera che preme sul viso e avverte dolore al timpano. Sono effetti della *pressione idrostatica* dovuta al peso della colonna d'acqua che lo sovrasta. Il fisico olandese Simon Stevin studiò la relazione tra profondità e pressione *nei liquidi*, formulando nel XVI secolo la legge che porta il suo nome.

Legge di Stevin. La pressione p alla profondità h dovuta al peso del liquido sovrastante di densità d è data da:

$$p = dgh$$

La legge di Stevin *vale solo per i liquidi* e non per i gas: poiché un gas si può comprimere, la sua densità in generale non rimane costante.

Esercizio 50. Calcola la pressione idrostatica che agisce su un sub che nuota alla profondità di 15 m sotto il livello del mare.

Soluzione. Per la legge di Stevin, la pressione idrostatica è data da ($d_{\text{acqua di mare}} = 1025\,\text{kg/m}^3$):

$$p = dgh = (1025 \cdot 9{,}8 \cdot 15)\,\text{N} = 1{,}5 \cdot 10^5\,\text{Pa}$$

Il valore ottenuto è circa otto volte maggiore della pressione esercitata sul suolo dal peso di un uomo. I sottomarini sono costruiti con spesse corazze proprio per resistere a pressioni così elevate. □

Esercizio 51. Una macchina idraulica deve sollevare l'acqua contenuta in un tubo fino a un serbatoio posto su un grattacielo alto 130 m. Quale pressione è necessaria per fare questa operazione?

Soluzione. Per sollevare un liquido a un'altezza h bisogna applicare una pressione p almeno uguale a quella idrostatica prodotta dalla colonna di liquido alta h, ossia:

$$p = dgh = (1000 \cdot 9{,}8 \cdot 130)\,\text{Pa} = 1\,275\,400\,\text{Pa}$$

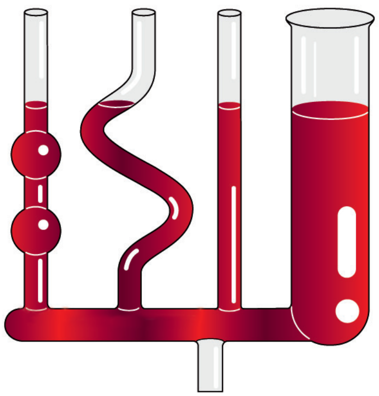
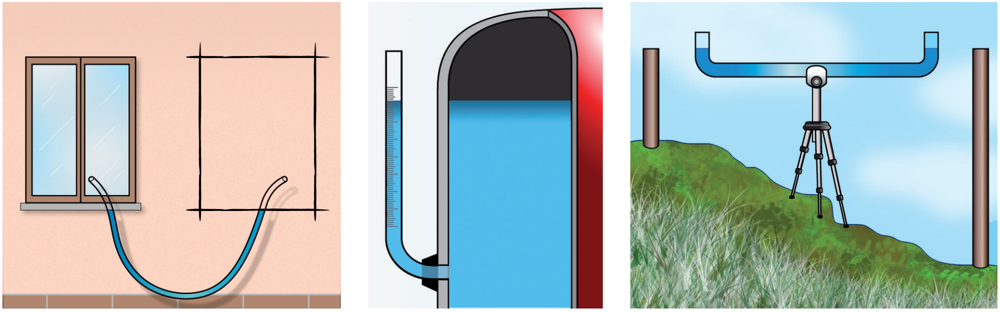


Figura 60: Vasi comunicanti



(a) Livella ad acqua usata dai muratori: il liquido alle due estremità del tubo raggiunge la stessa altezza.

(b) Il livello del liquido nel tubo graduato è uguale al livello nella cisterna.

(c) Allineando due punti distanti con i livelli raggiunti dall'acqua, ci si assicura che le loro altezze siano uguali.

Figura 61: Applicazioni del principio dei vasi comunicanti

È una pressione elevata. Ecco perché, nei palazzi con molti piani, spesso negli appartamenti più in alto l'acqua esce dai rubinetti con "poca pressione". □

Conseguenza della legge di Stevin è il *principio dei vasi comunicanti*.

Principio dei vasi comunicanti. In un sistema di *vasi comunicanti*, ovvero di recipienti uniti da un tubo, il liquido contenuto raggiunge la stessa quota indipendentemente dalla forma dei recipienti.

La pressione alla base di ciascun recipiente è, per la legge di Stevin, uguale per tutti i recipienti, poiché il liquido e l'altezza sono gli stessi (figura 60).

La figura 61 mostra alcune applicazioni del principio dei vasi comunicanti.

5.4 PRINCIPIO DI ARCHIMEDE

Perché alcuni corpi immersi in un liquido galleggiano e altri invece affondano? Perché una nave galleggia nonostante sia fatta di ferro? Come vola una mongolfiera? Il *principio di Archimede* permette di rispondere a queste domande.

Principio di Archimede. Un corpo immerso in un fluido (liquido o gas) riceve una spinta (una forza) verticale, detta *spinta di Archimede*, diretta dal basso verso l'alto, uguale al peso del fluido che esso sposta.

Il principio prende il nome da Archimede di Siracusa, matematico e fisico vissuto nel III secolo a. C, che secondo la leggenda lo scoprì mentre faceva il bagno in

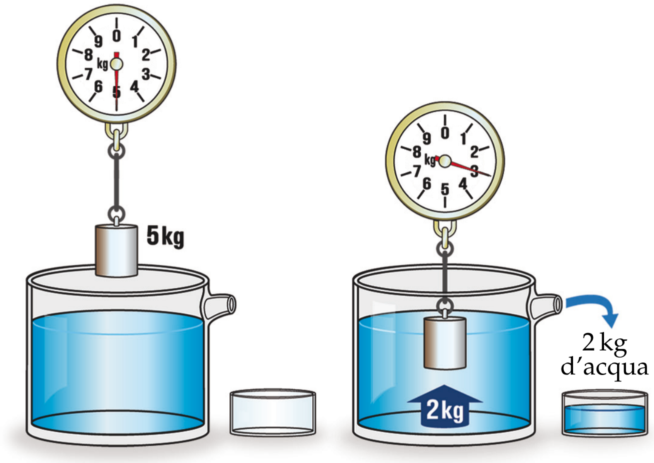


Figura 62: Principio di Archimede

una tinozza. Fu tanta la gioia di Archimede per la scoperta che, nudo com'era, si precipitò per le strade di Siracusa gridando: «*èureka*» («ho trovato»).

La figura 62 illustra il principio di Archimede. Se consideriamo un corpo sospeso a una bilancia e leggiamo il valore del suo peso indicato dallo strumento, misureremo un determinato valore ($5\,\text{kg}_\text{p}$, in questo caso). Se immergiamo il corpo all'interno di un cilindro pieno d'acqua, la bilancia mostrerà un valore inferiore a quello precedentemente indicato ($3\,\text{kg}_\text{p}$). Questa differenza di misura è uguale al peso dell'acqua traboccata dal cilindro ($2\,\text{kg}_\text{p}$) ed è dovuta alla spinta esercitata dall'acqua sul corpo sospeso, pari al peso del fluido spostato.

Un corpo immerso in un fluido non è soggetto solo alla spinta di Archimede (diretta verso l'alto), ma anche alla forza peso (diretta verso il basso). Ci sono tre casi possibili:

- se il peso del corpo è maggiore della spinta di Archimede, il corpo scende verso il basso (ciò succede, per esempio, quando immergiamo un sasso nell'acqua);
- se il peso del corpo è minore della spinta di Archimede, il corpo risale verso l'alto (è la tipica situazione che si verifica quando immergiamo in acqua un pallone);
- se il peso del corpo è uguale alla spinta di Archimede, il corpo è in equilibrio.

Poiché il peso P del corpo è dato dalla formula

$$P = m_\text{corpo}\, g = d_\text{corpo}\, V_\text{corpo}\, g$$

mentre l'intensità della spinta di Archimede F_A è data dalla formula:

$$F_\text{A} = m_\text{fluido spostato}\, g = d_\text{fluido}\, V_\text{corpo}\, g$$

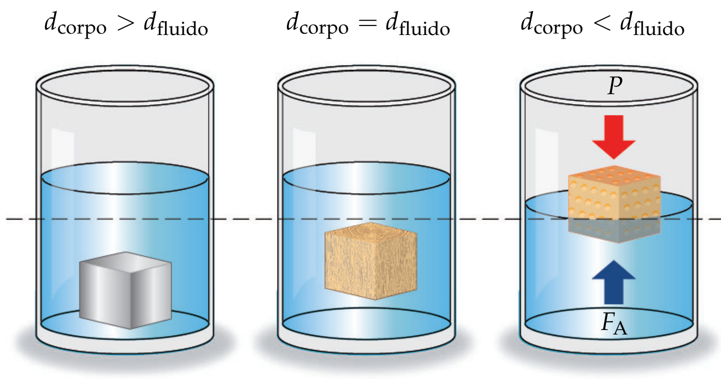


Figura 63: Principio di Archimede

i tre casi si verificano, rispettivamente, quando:

- $P > F_A \implies d_{corpo} > d_{fluido}$
- $P < F_A \implies d_{corpo} < d_{fluido}$
- $P = F_A \implies d_{corpo} = d_{fluido}$

ovvero quando la densità del corpo è rispettivamente maggiore, minore o uguale a quella del fluido (figura 63). In conclusione:

- se la densità del corpo è maggiore della densità del fluido in cui è immerso, il corpo scende verso il basso;
- se la densità del corpo è minore della densità del fluido in cui è immerso, il corpo sale verso l'alto;
- se la densità del corpo è uguale alla densità del fluido in cui è immerso, il corpo è in equilibrio.

Esercizio 52. Calcola il valore della spinta di Archimede che agisce su un blocco di ferro posto in acqua, sapendo che il suo volume è $2\,\mathrm{m}^3$.

Soluzione.

$$F_A = d_{acqua}\, V_{corpo}\, g = (1000 \cdot 2 \cdot 9{,}8)\,\mathrm{N} = 19\,600\,\mathrm{N} \qquad \square$$

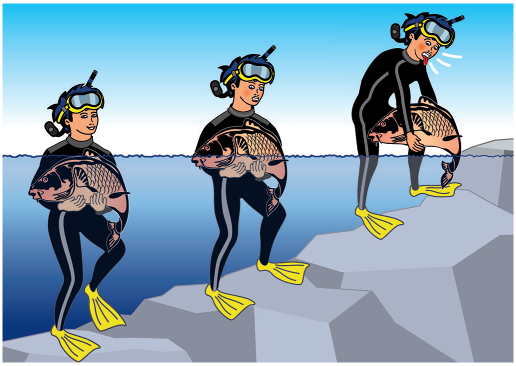


Figura 64: Un corpo immerso nell'acqua "pesa di meno" che fuori dall'acqua

Esercizio 53. Una scatola ha massa 75 kg e volume $0{,}05\,\mathrm{m}^3$. Che valore segna una bilancia che misura il peso della scatola immersa nell'acqua?

Soluzione. Il peso della scatola (fuori dall'acqua) è:

$$P = mg = (75 \cdot 9{,}8)\,\mathrm{N} = 735\,\mathrm{N}$$

Una volta immersa nell'acqua, la spinta di Archimede sulla scatola è:

$$F_\mathrm{A} = d_\mathrm{acqua}\, V_\mathrm{corpo}\, g = (1000 \cdot 0{,}05 \cdot 9{,}8)\,\mathrm{N} = 490\,\mathrm{N} \qquad \square$$

Quindi, il valore netto segnato dalla bilancia che misura il peso della scatola immersa nell'acqua è:

$$P - F_\mathrm{A} = (735 - 490)\,\mathrm{N} = 245\,\mathrm{N}$$

Un corpo immerso nell'acqua "pesa di meno" che fuori dall'acqua: al peso del corpo si sottrae la spinta di Archimede (figura 64).

Esercizio 54. Un corpo di massa 4 kg e di volume pari a 5 litri viene completamente immerso attraverso una corda in una vasca piena d'olio ($d_\mathrm{olio} = 765\,\mathrm{kg/m^3}$). Calcola la tensione che deve avere la corda per mantenere il corpo in equilibrio all'interno del liquido.

Soluzione. Calcoliamo la spinta di Archimede ($1\,\mathrm{l} = 0{,}001\,\mathrm{m}^3$):

$$F_\mathrm{A} = d_\mathrm{olio}\, V_\mathrm{corpo}\, g = (765 \cdot 0{,}005 \cdot 9{,}8)\,\mathrm{N} = 37{,}5\,\mathrm{N}$$

La tensione T della fune è uguale e contraria alla forza "netta" che agisce sul corpo, che è la differenza fra la forza peso che il corpo subirebbe fuori dal liquido e la spinta di Archimede. Si ha quindi che:

$$T = P - F_\mathrm{A} = mg - F_\mathrm{A} = (4 \cdot 9{,}8 - 37{,}5)\,\mathrm{N} = 1{,}7\,\mathrm{N} \qquad \square$$

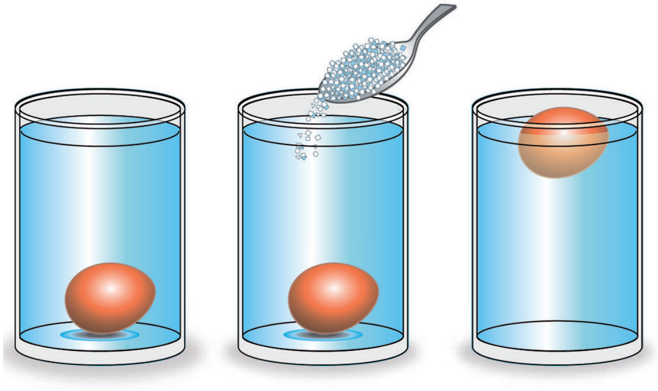


Figura 65: Il principio di Archimede spiegato con le uova

Il principio di Archimede spiegato con le uova

Un uovo ha un volume di circa 50 ml, che è anche il volume di liquido spostato se viene immerso in acqua. Se questi 50 ml d'acqua pesano meno dell'uovo, come normalmente succede, la spinta verso l'alto è insufficiente e l'uovo affonda (figura 65). Se però aggiungiamo all'acqua del sale, esso sciogliendosi farà aumentare la densità dell'acqua: a un certo punto i 50 ml d'acqua spostata eguaglieranno e supereranno il peso dell'uovo, che comincerà a galleggiare.

Perché una nave galleggia nonostante sia fatta di ferro?

Per stabilire se un corpo galleggia nell'acqua basta conoscere la sua densità: se è maggiore di quella dell'acqua, affonderà. Le navi sono costruite in modo da "spostare" un volume d'acqua superiore al loro peso. In pratica, nonostante il ferro

(a) Galleggiamento delle navi

(b) Volo delle mongolfiere

Figura 66: Applicazioni del principio di Archimede sia circa otto volte più denso dell'acqua, si fa in modo che il volume dello scafo sia sufficiente a garantire la necessaria spinta di galleggiamento a pieno carico (figura 66a). Ciò avviene perché gran parte dell'interno della nave (stiva, cabine, sala macchine) contiene aria, e ciò riduce drasticamente la densità complessiva della struttura, al punto da renderla meno densa dell'acqua.

Come vola una mongolfiera?

La spinta di Archimede agisce anche su un corpo immerso in un gas. Poiché generalmente i corpi hanno una densità molto maggiore di quella dell'aria, la spinta di Archimede è di solito trascurabile. La spinta di Archimede, però, è responsabile del volo delle mongolfiere (figura 66b) e dei "palloncini volanti", che sono pieni rispettivamente d'aria calda e di elio, che hanno una densità minore di quella all'aria.

5.5 PRESSIONE ATMOSFERICA

La *pressione atmosferica* è determinata dal peso della colonna d'aria che grava sulle nostre teste. Questa colonna d'aria si estende per un'altezza di un centinaio di chilometri. È come se noi vivessimo sul fondo di un trasparente "oceano d'aria". Come un pesce è sottoposto alla pressione dell'acqua che ha sopra di sé, anche noi subiamo la pressione dell'aria che ci sovrasta.

Misura della pressione atmosferica

Misurare la pressione atmosferica sembra un'impresa impossibile: si tratta di misurare qualcosa di invisibile. Nel XVII secolo, però, il fisico italiano Evangelista Torricelli ideò un esperimento che permette di misurare la pressione atmosferica in modo indiretto.

Torricelli si servì di un tubo di vetro lungo circa un metro, chiuso a una estremità e pieno di mercurio. Torricelli tappò l'altra estremità con un dito e immerse il tubo capovolto in un recipiente, contenente anch'esso mercurio (figura 67). Dopo aver tolto il dito dall'imboccatura, il fisico notò che il mercurio contenuto nel tubo scendeva rapidamente, fino a fermarsi all'altezza di 76 cm. Come mai il tubo non si svuotava del tutto?

Torricelli pensò che fosse la pressione esercitata dall'aria sul mercurio del recipiente a impedire al mercurio contenuto nel tubo di scendere completamente. Poiché la pressione prodotta dal mercurio nel tubo e la pressione atmosferica erano in equilibrio, Torricelli dedusse che la pressione atmosferica avesse un valore pari alla pressione esercitata da una colonna di mercurio alta 76 cm. Torricelli ave-

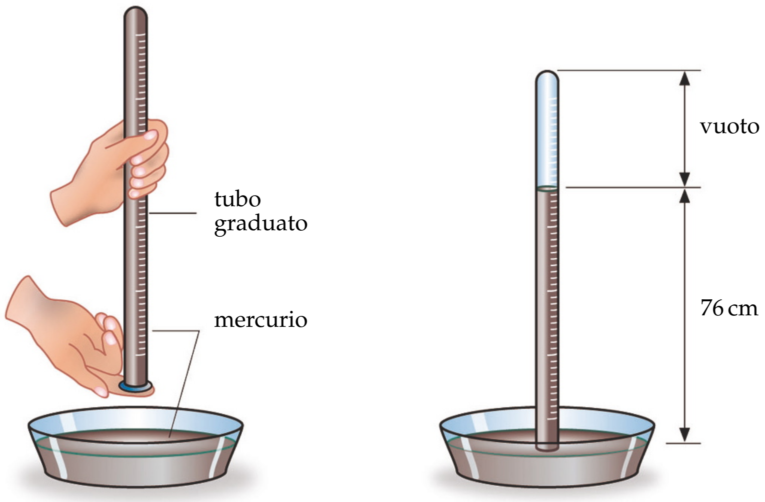


Figura 67: Esperimento di Torricelli

va inventato il primo strumento per misurare la pressione dell'aria, il *barometro a mercurio*.

La pressione atmosferica (a livello del mare) si calcola con la legge di Stevin, conoscendo la densità del mercurio $d_{\text{mercurio}} = 13\,600\ \text{kg/m}^3$:

$$p_{\text{atmosferica}} = d_{\text{mercurio}}\, g h \approx (13\,600 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}76)\ \text{Pa} \approx 101\,300\ \text{Pa}$$

Per misurare la pressione atmosferica si usano anche altre unità di misura non appartenenti al Sistema Internazionale, come per esempio:

- l'*atmosfera* (atm), definita come la pressione esercitata da una colonna d'aria alta quanto l'atmosfera terrestre al livello del mare;
- il *millimetro di mercurio* (mmHg o torr, da Torricelli), definito come la pressione che esercita una colonna di mercurio alta un millimetro;
- il *bar*, che è un multiplo del pascal e vale 10^5 Pa.

Si ha che:

$$1\ \text{atm} = 760\ \text{mmHg} = 101\,300\ \text{Pa} = 1{,}013\ \text{bar}$$

Esercizio 55. A quante atmosfere equivalgono 5065 Pa?

Soluzione.

$$5065\ \text{Pa} = \frac{5065}{101\,300}\ \text{atm} = 0{,}05\ \text{atm}$$

□

Perché non ci rendiamo conto della pressione atmosferica?

Generalmente noi non ci rendiamo conto della pressione atmosferica innanzitutto poiché, per il principio di Pascal, essa si esercita con la stessa intensità su tutte le superfici (siamo soggetti alla pressione atmosferica non solo sulla nostra testa, ma anche sulle tempie, sotto il collo e su ogni parte del nostro corpo, per cui le varie spinte che riceviamo si equilibrano vicendevolmente) e inoltre perché essa è bilanciata dalla pressione dei fluidi presenti all'interno del nostro corpo, che è uguale a quella atmosferica.

In certi casi, però, avvertiamo la pressione atmosferica: il timpano, una membrana sottile dell'orecchio, è sensibile alle veloci variazioni di pressione, come quando si viaggia in aereo. Quando l'aereo sale, la pressione esterna diminuisce: la pressione interna all'orecchio, che è ancora uguale a quella che c'era a terra, è perciò maggiore di quella esterna e si sentono le orecchie tapparsi (per risolvere il problema basta deglutire o sbadigliare). L'opposto accade quando l'aereo scende: la pressione esterna aumenta, l'aria spinge sul lato esterno del timpano e tende a farlo "rientrare" (soluzione: con la bocca chiusa, basta tapparsi il naso e soffiare).

La pressione atmosferica diminuisce con l'aumentare della quota

Via via che si sale di quota, la colonna d'aria che grava diviene meno alta e, di conseguenza, la pressione diminuisce. La figura 68 mostra come la pressione atmosferica diminuisce all'aumentare della quota. La diminuzione della pressione con la quota determina degli effetti interessanti. Alla quota di 5600 metri l'ossigeno

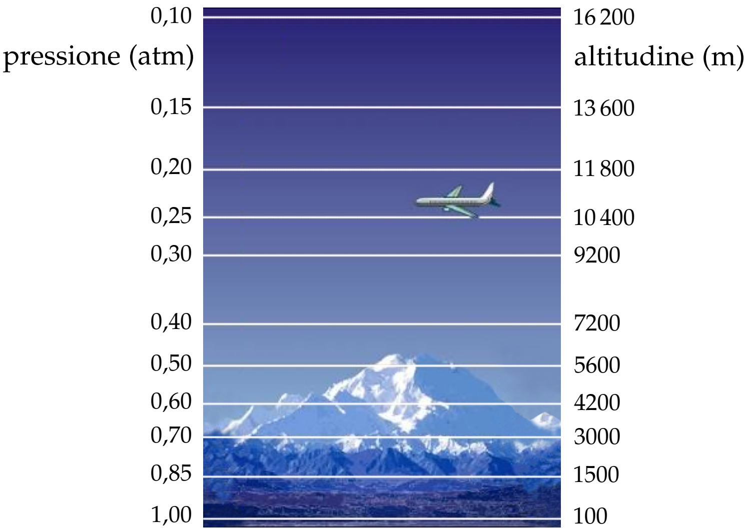


Figura 68: Pressione atmosferica

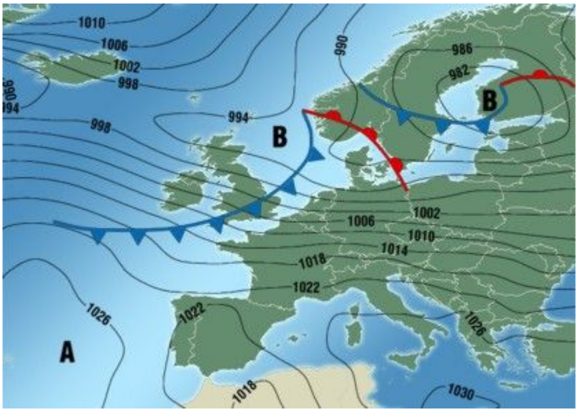


Figura 69: Isobare

(come la pressione) è ridotto della metà rispetto al livello del mare, e ciò rende difficoltosa la respirazione. Anche gli aerei risentono della diminuzione di pressione; per volare ad altitudini superiori a 3000 metri sono necessari per i piloti e i passeggeri dispositivi speciali (come cabine pressurizzate e inalatori d'ossigeno).

Pressione atmosferica e previsioni del tempo

Le variazioni della pressione atmosferica sono alla base dei fenomeni meteorologici, per cui per formulare le previsioni del tempo è importante rappresentare questa grandezza nelle diverse zone della superficie terrestre. Le misure fatte simultaneamente si riportano su una carta geografica, su cui si tracciano le *isobare*, linee che congiungono tutti i punti in cui c'è la stessa pressione atmosferica. Dalla forma delle isobare si individuano le zone di alta e bassa pressione (figura 69). In una zona ad alta pressione (detta anche *anticiclone*) la pressione aumenta dalla periferia verso il centro, dove si trova il massimo, mentre in una zona di bassa pressione avviene il contrario.

(a) Barometro **(b)** Manometro **(c)** Sfigmomanometro

Figura 70: Strumenti per misurare la pressione

Strumenti per misurare la pressione

Gli strumenti per misurare la pressione hanno caratteristiche e nomi diversi a seconda del tipo di fluido da misurare. Per misurare la pressione atmosferica si usa il *barometro* (figura 70a). Il *manometro* misura la pressione del gas racchiuso in un recipiente; con il manometro, per esempio, si misura la pressione delle gomme dell'auto (figura 70b). Lo *sfigmomanometro*, invece, misura la pressione arteriosa degli esseri viventi (figura 70c).

5.6 ESERCIZI

Chi non risolve esercizi non impara la fisica.

Pressione

1 Indica la risposta corretta.

a. Quale delle seguenti formule esprime la pressione esercitata da una scatola cubica di lato l, appoggiata su un piano orizzontale?

A $p = \frac{m}{l^2}$ B $p = \frac{l^2}{m}$ C $p = \frac{l^2}{m^2}$ D $p = \frac{mg}{l^2}$

b. Perché si usano le racchette da neve per camminare sulla neve fresca?

A Per aumentare la superficie di appoggio.

B Per diminuire il proprio peso

C Per diminuire la superficie di appoggio.

D Per aumentare il proprio peso.

c. Se il peso di un corpo è di 200 N e la superficie di appoggio di 0,01 m^2 la pressione da esso esercitata è:

A $2 \cdot 10^1$ Pa B $2 \cdot 10^2$ Pa C $2 \cdot 10^3$ Pa D $2 \cdot 10^4$ Pa

d. Su una superficie di 20 cm^2 è esercitata una pressione di 40 Pa. Possiamo affermare che la forza esercitata è:

A 8 N B 0,8 N C 0,08 N D 0,008 N

e. Una forza di $200\,\text{N}$ esercita una pressione di $4 \cdot 10^2\,\text{Pa}$. Possiamo affermare che la superficie interessata è:

A $0{,}25\,\text{m}^2$ B $0{,}5\,\text{m}^2$ C $2\,\text{m}^2$ D $8 \cdot 10^4\,\text{m}^2$

f. La pressione si può misurare in:

A $\text{N} \cdot \text{m}^2$ B N/m^2 C m^2/N D kg/m^2

g. Qual è la pressione che un cubo ($d_{\text{marmo}} = 2500\,\text{kg}/\text{m}^3$) di lato $3\,\text{m}$ esercita sul terreno?

A $73{,}5\,\text{Pa}$ B $735\,\text{Pa}$ C $7350\,\text{Pa}$ D $73\,500\,\text{Pa}$

[1 risposta A, 2 B, 1 C e 3 D]

2 Una forza di $100\,\text{N}$ agisce su una superficie di $50\,\text{cm}^2$. Calcola la pressione esercitata dalla forza esprimendola in unità del Sistema Internazionale. [$20\,000\,\text{Pa}$]

3 Uno scatolone di massa $5\,\text{kg}$ ha dimensioni alla base $l_1 = 80\,\text{cm}$ e $l_2 = 50\,\text{cm}$. Calcola la pressione esercitata dallo scatolone sul piano d'appoggio. [$122{,}5\,\text{Pa}$]

4 La pressione esercitata su una superficie vale $40\,000\,\text{Pa}$. Sapendo che la forza esercitata su di essa è $120\,\text{N}$, calcola il valore della superficie. [$30\,\text{cm}^2$]

5 Calcola l'intensità di una forza che esercita una pressione di $500\,000\,\text{Pa}$ su una superficie di $20\,\text{cm}^2$. [$1000\,\text{N}$]

6 Un libro ha dimensioni $l_1 = 24\,\text{cm}$, $l_2 = 17\,\text{cm}$ e $h = 1\,\text{cm}$, e ha una massa di $200\,\text{g}$. Calcola la pressione esercitata appoggiando il libro su un tavolo, sulle tre diverse facce. [$48{,}0\,\text{Pa}$; $816{,}7\,\text{Pa}$; $1152{,}9\,\text{Pa}$]

Principio di Pascal

7 Indica la risposta corretta.

a. Quando esercitiamo una pressione su un liquido, essa si trasmette:

A solo sulle superfici laterali del recipiente

B solo sul fondo del recipiente

C solo se il liquido è molto denso

D su qualunque superficie che si trova a contatto con il liquido

b. Secondo il principio di Pascal:

A $p = dgh$

B la pressione in un fluido si trasmette in tutte le direzioni con pari intensità

C $p = dgV$

D è impossibile esercitare pressione su sostanze fluide

c. Un sollevatore idraulico ha le due sezioni $S_1 = 100\,\text{cm}^2$ e $S_2 = 10\,000\,\text{cm}^2$. Quale forza occorre esercitare su S_1 per sollevare una moto di 200 kg posta su S_2?

A 19,6 N   B 400 N   C 900 N   D 1960 N

d. Il principio di Pascal:

A vale per i liquidi, ma non per i gas

B vale per i gas, ma non per i liquidi

C vale sia per i liquidi che per i gas

D non vale né per i liquidi né per i gas

e. Per il principio di Pascal, la pressione in un fluido:

A è proporzionale alla densità del fluido

B si trasmette invariata in tutte le direzioni

C varia da punto a punto del fluido

D è massima ai bordi del recipiente che contiene il fluido

[1 risposte A, 2 B, 1 C e 1 D]

8 Un sollevatore idraulico ha le due sezioni $S_1 = 0{,}1\,\text{m}^2$ e $S_2 = 7\,\text{m}^2$. Quale forza occorre esercitare su S_1 per sollevare un'auto di 1200 kg posta su S_2? Quale forza bisognerebbe esercitare invece se le due superfici avessero la stessa area? [168 N; 11 760 N]

9 Con l'aiuto di un sollevatore idraulico, si può sollevare una massa di 200 kg applicando una forza di 100 N. Calcola il rapporto tra le superfici del dispositivo. [19,6]

10 Un sollevatore idraulico ha sezioni $S_1 = 50\,\text{cm}^2$ e $S_2 = 80\,\text{cm}^2$. Calcola la pressione e la forza trasmessa su S_2 esercitando su S_1 una pressione di 5000 Pa. [5000 Pa; 40 N]

Legge di Stevin

11 Indica la risposta corretta.

a. L'affermazione «La pressione idrostatica diminuisce con la profondità» è:

A falsa, perché la pressione aumenta con la profondità

B falsa, per un motivo diverso dal precedente

C vera, come conseguenza del principio di Pascal

D vera, per un motivo diverso dal precedente

b. La pressione esercitata da un liquido sul fondo del recipiente che lo contiene dipende dall'altezza del liquido e dalla sua densità. Tale affermazione è:

A vera, in quanto conseguenza del principio di Pascal

B vera, in quanto conseguenza della legge di Stevin

C falsa, in quanto la pressione del liquido dipende solo dalla sua altezza

D falsa, in quanto dipende solo dalla forma del recipiente

c. Due recipienti aventi forma diversa, ma area di base uguale, contengono entrambi acqua fino alla stessa altezza; quale delle seguenti affermazioni è corretta?

A la pressione sul fondo dei recipienti è diversa

B la pressione sul fondo dei recipienti è uguale, per il principio di Pascal

C la pressione sul fondo dei recipienti è uguale, per la legge di Stevin

D tutte le affermazioni precedenti sono errate

d. Per la legge di Stevin:

A $P = m_{\text{corpo}}\, g$ B $d = m/V$ C $p = F/S$ D $p = dgh$

e. La legge di Stevin:

A vale per i liquidi, ma non per i gas

B vale per i gas, ma non per i liquidi

C vale sia per i liquidi che per i gas

D non vale né per i liquidi né per i gas

[2 risposte A, 1 B, 1 C e 1 D]

12 Calcola la pressione idrostatica che agisce su un sub che nuota a una profondità di 50 m, sapendo che la densità dell'acqua del mare è 1025 kg/m^3. [502 250 Pa]

13 Un corpo avente la superficie $S = 1\,\text{m}^2$ è immerso a una profondità di 100 m sotto il livello del mare. Calcola la forza agente sul corpo ($d_{\text{acqua di mare}} = 1025\,\text{kg/m}^3$). [$10^6$ N]

14 Quanto deve essere alto un tubo riempito di mercurio ($d_{\text{mercurio}} = 13\,590\ kg/\text{m}^3$) per esercitare una pressione di $2 \cdot 10^5$ Pa sulla sua base? [1,5 m]

15 Quale pressione deve esercitare una macchina idraulica per portare l'acqua fino al decimo piano di un palazzo ($h = 30$ m)? [294 000 Pa]

16 Lo sportello di un sommergibile che si trova a 400 m di profondità nell'oceano subisce una forza di $2{,}026 \cdot 10^6$ N. Calcola la superficie dello sportello. [0,504 m^2]

Principio di Archimede

17 Indica la risposta corretta.

a. Due barattoli identici, uno vuoto e l'altro pieno di caffè, sono chiusi e posti nello stesso liquido. Che cosa possiamo affermare sulle spinte che i due barattoli ricevono?

- A Sono uguali perché i barattoli occupano lo stesso volume.
- B La spinta sul barattolo pieno è maggiore perché è più pesante.
- C La spinta sul barattolo vuoto è maggiore.
- D Non si può rispondere perché non si conosce la densità del liquido.

b. Un sasso viene buttato nell'acqua di uno stagno. Mentre affonda, la spinta di Archimede:

- A aumenta, perché la profondità aumenta
- B diminuisce, perché incontra meno resistenza
- C rimane la stessa, perché l'acqua che il sasso sposta non cambia
- D rimane la stessa, per un motivo diverso dal precedente

c. Perché le navi moderne pur essendo di metallo galleggiano?

- A Perché la densità media di una nave è minore di quella dell'acqua di mare.
- B Perché le navi sono molto pesanti.
- C Perché le navi all'interno non contengono aria.
- D Perché le navi hanno un volume grande.

d. L'affermazione «Ogni corpo immerso nell'acqua riceve una spinta verso il basso» è:

- A falsa, perché la spinta non c'è
- B falsa, perché la spinta è verso l'alto
- C vera, come conseguenza del principio di Archimede
- D vera, come conseguenza del principio di Stevin

e. L'affermazione «Un tappo di sughero galleggia sull'acqua perché il sughero ha densità minore di quella dell'acqua» è:

- A falsa, perché il sughero ha densità maggiore di quella dell'acqua
- B falsa, perché il sughero non può galleggiare
- C vera, perché la densità del sughero è minore di quella dell'acqua
- D vera, ma per un motivo diverso.

f. In base al principio di Archimede:

- [A] $p = dgh$
- [B] $P = m_{\text{corpo}}\, g$
- [C] $p_{\text{atmosferica}} = 1\,\text{atm}$
- [D] $F_{\text{A}} = d_{\text{fluido}}\, V_{\text{corpo}}\, g$

g. Un corpo immerso in acqua salata ($d_{\text{acqua salata}} > d_{\text{acqua dolce}}$):

- [A] affonda se la sua densità è inferiore a quella della soluzione
- [B] galleggia meglio di uno identico immerso in acqua dolce
- [C] non può galleggiare, perché la soluzione è troppo densa
- [D] galleggia solo se ha delle cavità piene d'aria che ne diminuiscano la densità

[2 risposte A, 2 B, 2 C e 1 D]

18 Un corpo che occupa un volume di $4\,\text{dm}^3$ è immerso in acqua. Calcola la spinta di Archimede sul corpo. [39,2 N]

19 Un corpo ha massa 54 kg e volume $200\,\text{cm}^3$. Se viene immerso in acqua galleggia o affonda? [affonda]

20 Un oggetto di massa 260 g occupa un volume $0{,}25\,\text{dm}^3$. In quali dei liquidi elencati nella tabella 9 potrebbe essere immerso senza affondare? [glicerina, mercurio]

21 Un cilindro di rame di densità $8900\,\text{kg/m}^3$ e massa $m = 5\,\text{kg}$ è immerso completamente in acqua, sospeso a un filo. Quale tensione esercita il filo in tale posizione? [43,5 N]

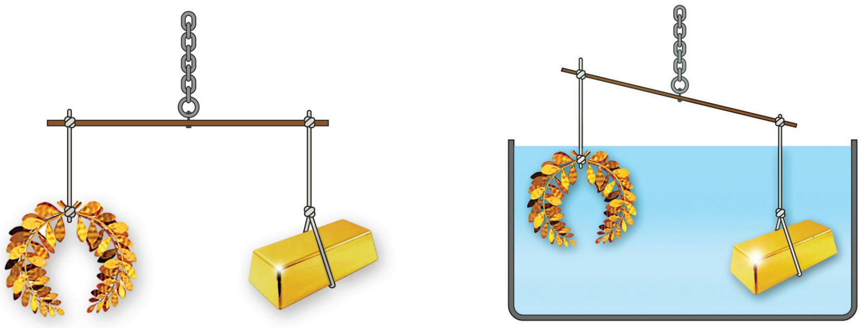
22 Un pallone aerostatico di volume $10\,\text{m}^3$ è pieno d'elio ($d_{\text{elio}} = 0{,}178 \cdot 10^{-3}\,\text{g/cm}^3$). Qual è la forza con cui l'aria ($d_{\text{aria}} = 1{,}292 \cdot 10^{-3}\,\text{g/cm}^3$) lo spinge in alto? [126,62 N]

23 Gerone, tiranno di Siracusa, aveva commissionato a un orafo una corona d'oro. La corona consegnata dall'orefice pesava esattamente come la quantità d'oro che Gerone gli aveva fornito per realizzarla. Dubitando però dell'onestà dell'orafo, Gerone chiese ad Archimede di scoprire se la corona fosse veramente d'oro massiccio o se invece l'orefice avesse sostituito una parte dell'oro con dell'altro materiale.

Soluzione. Il compito cui si trovò di fronte Archimede non era facile: l'oggetto era di forma tale per cui era impossibile misurarne il volume in modo diretto. Archimede, dopo aver

Tabella 9: Densità di alcuni liquidi

Sostanza	**Densità** (kg/m^3)	**Sostanza**	**Densità** (kg/m^3)
acqua	1000	glicerina	1261
acqua di mare	1025	mercurio	13 600
alcol etilico	806	olio d'oliva	920
benzina	680	olio di paraffina	800



(a) La bilancia è in equilibrio: la corona e il lingotto hanno lo stesso peso

(b) La bilancia non è in equilibrio: la corona e il lingotto hanno diverso volume

Figura 71: Principio di Archimede

riflettuto a lungo sul da farsi, fece collocare sui due bracci di una bilancia la corona e un lingotto d'oro e verificò che avessero lo stesso peso: la bilancia era in perfetto equilibrio (figura 71a). Poi immerse i due corpi in acqua e osservò che la bilancia non era più in equilibrio (figura 71b): la corona, fatta in parte da metalli poco pregiati di densità minore dell'oro, aveva un volume maggiore del lingotto e riceveva quindi una spinta maggiore rispetto al lingotto. Archimede svelò quindi la frode (e l'orafo fece probabilmente una brutta fine). □

24 Un materassino gonfiabile per il mare può essere approssimato con un parallelepipedo di dimensioni 2,0 m, 80 cm e 15 cm. Il materassino può sorreggere tre ragazzi di massa complessiva 200 kg? (Trascura la massa del materassino.) [sì]

25 Una boa di massa 4,0 kg e volume 15 dm^3 è legata all'estremo di una fune; l'altro estremo è stato fissato a uno scoglio sul fondo del mare. La corda non è abbastanza lunga, quindi la boa è completamente immersa. Quanto vale l'intensità della forza che la corda esercita sulla boa? [111,5 N]

26 Il nostro corpo è composto in gran parte di acqua. Non stupisce, quindi, che la densità media del nostro corpo sia molto simile a quella dell'acqua, e cioè pari a circa 1000 $\mathrm{kg/m}^3$. La densità media di un corpo umano è circa 990 $\mathrm{kg/m}^3$. Però dopo un'inspirazione può scendere a 950 $\mathrm{kg/m}^3$, mentre dopo un'espirazione sale fino a circa 1030 $\mathrm{kg/m}^3$. Sulla base di questi dati, pensi che sia difficile mantenersi a galla, per esempio "facendo il morto"?

27 Ogni pesce ha un organo, la *vescica natatoria*, simile a un "sacchetto" elastico, in cui può immettere o togliere gas, regolando così la spinta di Archimede su se stesso. Un pesce di 1,96 kg nuota in mare ($d = 1025\ \mathrm{kg/m}^3$). La densità media del pesce, con la vescica natatoria sgonfia, vale 1060 $\mathrm{kg/m}^3$. La spinta di Archimede sul pesce vale 20,0 N. Qual è il volume della vescica natatoria del pesce a quella profondità? $\left[0{,}142\ \mathrm{dm}^3\right]$

Pressione atmosferica

28 Indica la risposta corretta.

a. Una pressione di 4 atm corrisponde a:

A 4 Pa B 190 mmHg C 4,052 torr D 4,052 bar

b. La pressione atmosferica si esercita su tutto il nostro corpo. Come mai non ce ne accorgiamo?

A Perché il nostro corpo è dotato di ossa rigide.

B Perché i liquidi e i gas all'interno del nostro corpo sono alla stessa pressione.

C Perché il nostro corpo è abbastanza esteso.

D Perché siamo sempre con i piedi per terra.

c. Su un tavolo ci sono un libro e una moneta. La pressione che si esercita sui due oggetti, per effetto dell'atmosfera, è:

A identica

B maggiore sul libro perché ha una superficie maggiore

C maggiore sulla moneta perché la superficie è minore

D non valutabile, perché non sono note le aree dei due oggetti

d. Perché Torricelli usò il mercurio per misurare la pressione atmosferica?

A Perché ne aveva a disposizione una grande quantità.

B Perché con altri liquidi la prova non avrebbe avuto successo.

C Perché con liquidi meno densi avrebbe dovuto usare tubi molto più lunghi.

D Perché è il liquido con la minore densità.

e. Quale delle seguenti affermazioni è corretta?

A L'atmosfera è uno strato d'aria che circonda la Terra.

B L'atmosfera non esercita alcun tipo di pressione.

C L'atmosfera si estende per alcune centinaia di metri intorno alla Terra.

D Dell'esistenza della pressione atmosferica non esistono prove sperimentali.

f. Quale dei seguenti esperimenti dimostra l'esistenza della pressione atmosferica?

A L'esperimento di Torricelli.

B L'esperimento dei vasi comunicanti.

C L'esperimento di Archimede.

D Nessuno dei precedenti.

g. A 10 metri di profondità in mare la pressione è circa:

A la metà della pressione atmosferica

B il doppio della pressione atmosferica

C il triplo della pressione atmosferica

D è ancora prossima a quella della pressione atmosferica

[3 risposte A, 2 B, 1 C e 1 D]

29 Calcola la forza esercitata dalla pressione atmosferica sulla faccia superiore di un tavolo avente la superficie di $1\,\text{m}^2$. $[10{,}33 \cdot 10^3 kg_\text{p}]$

30 Si vuol eseguire l'esperimento di Torricelli usando dell'acqua al posto del mercurio. Quanto è alta la colonna d'acqua nel tubo, all'equilibrio? [10,34 m]

31 Scalando una montagna la pressione atmosferica diminuisce. Quanto misura l'altezza della colonna di mercurio dell'esperimento di Torricelli a una quota sul livello del mare tale per cui $p_\text{atmosferica} = 0{,}5\,\text{atm}$? [380 mmHg]

32 Descrivi l'andamento della pressione che agisce su un corpo immerso nel mare in funzione della profondità.

Soluzione. A livello del mare la pressione è quella atmosferica: $p_\text{atmosferica} = 1\,\text{atm}$. La pressione p che agisce sul corpo a 10 metri di profondità è la somma tra la pressione idrostatica, che si calcola con la legge di Stevin ($d = 1025\,\text{kg/m}^3$) e la pressione atmosferica:

$$p = dgh + p_\text{atmosferica} = (1025 \cdot 9{,}8 \cdot 10 + 101\,300)\,\text{Pa} = (100\,450 + 101\,300)\,\text{Pa} \approx 2\,\text{atm}$$

A 20 metri di profondità la pressione p è:

$$p = dgh + p_\text{atmosferica} = (1025 \cdot 9{,}8 \cdot 20 + 101\,300)\,\text{Pa} = (200\,900 + 101\,300)\,\text{Pa} \approx 3\,\text{atm}$$

La pressione aumenta all'incirca di un'atmosfera ogni 10 metri di profondità: se a livello del mare la pressione vale 1 atmosfera, a 10 metri di profondità vale 2 atmosfere, a 20 metri 3 atmosfere, a 100 metri 11 atmosfere, e così via. È per questo motivo che per scendere a elevate profondità marine occorrono sottomarini speciali, resistenti alla pressione. □

6 TEMPERATURA E CALORE

6.1 TEMPERATURA

Anche se le percezioni di caldo e di freddo sono innate negli esseri viventi, esse sono soggettive e talvolta erronee: se mettiamo una mano in acqua calda e una in acqua fredda e poi entrambe in acqua tiepida, la mano che è stata immersa in acqua calda sentirà freddo, mentre l'altra sentirà caldo. Bisogna quindi, innanzitutto, valutare quantitativamente queste sensazioni, associando allo stato di un corpo una grandezza chiamata *temperatura*, definita operativamente con la descrizione di uno strumento atto a misurarla, detto *termometro*.

Definizione 29. La *temperatura* di un corpo è quella proprietà del corpo che si misura con un termometro.

Il termometro a liquido (figura 72) è costituito da un bulbo di vetro contenente un liquido; si può usare il mercurio, perché esso rimane liquido alle più basse e alle più alte temperature dell'inverno e dell'estate. Il bulbo è collegato a un tubicino che viene chiuso all'altro estremo, dopo aver estratto l'aria.

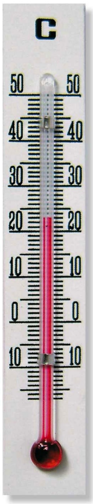


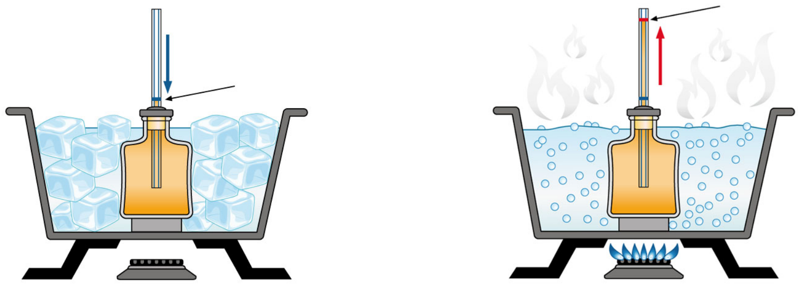
Figura 72

Il volume del liquido, e quindi anche la lunghezza della colonna liquida nel tubicino, varia al variare della temperatura a cui si trova lo strumento. In prima approssimazione, è direttamente proporzionale alla temperatura. Per esprimere in forma quantitativa questa relazione bisogna tarare il dispositivo in modo da costruire una scala della temperatura, affinché a ogni altezza della colonnina di liquido sia associato il valore numerico della temperatura corrispondente.

Ciò si ottiene stabilendo due temperature fisse di riferimento, i cui valori restino rigorosamente costanti. Come si osserva sperimentalmente, i cambiamenti di stato di una sostanza (ovvero i passaggi tra stato solido, liquido, e aeriforme) avvengono a temperature che dipendono dalla sostanza considerata, valori che rimangono costanti per tutto il tempo in cui avviene il cambiamento di stato.

Per consuetudine, le temperature di riferimento assunte sono quelle del ghiaccio fondente e dell'acqua bollente, entrambe valutate alla pressione di 1 atm.

Nella *scala Celsius*, detta anche *scala centigrada*, si assegna il valore 0 alla temperatura del ghiaccio fondente e 100 alla temperatura dell'acqua bollente, e si indicano



(a) Si assegna il valore 0 °C alla temperatura del ghiaccio fondente.

(b) Si assegna il valore 100 °C alla temperatura dell'acqua bollente.

Figura 73: Taratura di un termometro

rispettivamente con 0 °C e 100 °C. La taratura avviene come segue: immerso il dispositivo in un miscuglio di ghiaccio e acqua (figura 73a), contrassegniamo il livello dove si arresta il liquido dopo che si è raggiunta la condizione di equilibrio termico. Poniamo successivamente il dispositivo nell'acqua bollente (figura 73b) e segniamo il punto dove si arresta il liquido dopo l'innalzamento. Per completare la taratura del termometro si divide l'intervallo tra i livelli corrispondenti alle temperature di 0 °C e 100 °C in cento parti uguali. A ogni intervallo tra due successive divisioni si fa corrispondere la variazione di temperatura di 1 °C. La taratura della scala può essere continuata al di sotto di 0 °C e al di sopra di 100 °C.

Scala Kelvin

I termometri in commercio usano la scala Celsius, ma nel Sistema Internazionale si usa una scala diversa, detta *scala Kelvin*, la cui unità di misura è il kelvin (K). Un kelvin vale quanto un grado celsius: $1\,°\mathrm{C} = 1\,\mathrm{K}$. La temperatura di 0 K, detta anche *zero assoluto*, vale −273,15 °C. Nella scala Kelvin non ci sono valori negativi di temperatura. Per trasformare i gradi celsius in gradi kelvin si usa la formula:

$$T_{\mathrm{K}} = T_{°\mathrm{C}} + 273{,}15$$

Esercizio 56. Un corpo è alla temperatura di 293,15 K. Esprimi la sua temperatura in gradi celsius.

Soluzione.

$$T_{°\mathrm{C}} = T_{\mathrm{K}} - 273{,}15 \qquad \Longrightarrow \qquad T_{°\mathrm{C}} = 293{,}15 - 273{,}15 = 20\,°\mathrm{C} \qquad \square$$

Tabella 10: Coefficienti di dilatazione lineare di alcuni solidi

Sostanza	λ (°C^{-1})	**Sostanza**	λ (°C^{-1})
argento	$19 \cdot 10^{-6}$	oro	$14 \cdot 10^{-6}$
alluminio	$24 \cdot 10^{-6}$	platino	$9 \cdot 10^{-6}$
bronzo	$18 \cdot 10^{-6}$	rame	$17 \cdot 10^{-6}$
ferro	$12 \cdot 10^{-6}$	zinco	$31 \cdot 10^{-6}$

6.2 DILATAZIONE TERMICA

Quando aumenta la temperatura, generalmente i corpi si dilatano. Questo fenomeno, detto *dilatazione termica* si può interpretare intuitivamente riferendosi alla struttura atomica della materia. Considerando, per esempio, un solido, ogni aumento di temperatura accentua l'ampiezza delle oscillazioni degli atomi intorno ai punti di equilibrio. Di conseguenza, aumenta la distanza media fra gli atomi e quindi aumentano anche le dimensioni del corpo considerato.

Dilatazione nei solidi

Dilatazione lineare

Se, in particolare, ci riferiamo a una sbarretta metallica in cui una delle dimensioni, per esempio la lunghezza, è preponderante rispetto alle altre due, l'allungamento provocato dall'aumento di temperatura si dice *dilatazione lineare*.

Legge della dilatazione lineare dei solidi. La variazione Δl di lunghezza di un solido è direttamente proporzionale alla lunghezza iniziale l_0 e alla variazione ΔT di temperatura:

$$\Delta l = l_0 \, \lambda \, \Delta T \tag{16}$$

dove la costante di proporzionalità λ (leggi: *lambda*) è il *coefficiente di dilatazione lineare* del solido considerato.

La tabella 10 riporta i valori dei coefficienti di dilatazione lineare di alcuni solidi.

Esercizio 57. Calcola di quanto si allunga una sbarra di ferro inizialmente lunga 1 m se la temperatura aumenta di 100 °C.

Soluzione. Per la (16) e tenendo conto del valore del coefficiente di dilatazione lineare del ferro riportato nella tabella 10:

$$\Delta l = 1 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \, \text{m} = 1{,}2 \, \text{mm}$$

Tabella 11: Coefficienti di dilatazione di alcuni liquidi

Sostanza	α (°C^{-1})	**Sostanza**	α (°C^{-1})
alcol etilico	$11 \cdot 10^{-4}$	mercurio	$2 \cdot 10^{-4}$
glicerina	$5 \cdot 10^{-4}$	petrolio	$9 \cdot 10^{-4}$

Anche se il valore è piuttosto piccolo, le dilatazioni lineari dei solidi possono assumere valori non trascurabili sia quando la temperatura subisce grandi sbalzi che per corpi di notevole lunghezza. Nella costruzione delle rotaie e dei ponti in ferro bisogna tener conto della dilatazione termica. □

Dilatazione volumica

Per quanto riguarda la dilatazione del volume subita dal solido si trova un'espressione analoga a quella lineare.

Legge della dilatazione volumica dei solidi. La variazione ΔV di volume di un solido è direttamente proporzionale al volume iniziale V_0 e alla variazione ΔT di temperatura:

$$\Delta V = V_0 \, k \, \Delta T$$

dove la costante di proporzionalità $k = 3\lambda$ è il *coefficiente di dilatazione volumica* del solido considerato.

Dilatazione nei liquidi

Anche i liquidi si dilatano con l'aumentare della temperatura.

Legge della dilatazione volumica nei liquidi. La variazione ΔV di volume di un liquido è direttamente proporzionale al volume iniziale V_0 e alla variazione ΔT di temperatura:

$$\Delta V = V_0 \, \alpha \, \Delta T$$

dove la costante di proporzionalità α (leggi: *alfa*) è il *coefficiente di dilatazione volumica* del liquido considerato.

La tabella 11 riporta i valori di α per alcuni liquidi: si osserva che essi sono maggiori di quelli dei solidi per un fattore 10 circa. L'acqua ha un comportamento anomalo: essa infatti all'aumentare della temperatura da 0 °C a 4 °C *diminuisce* di volume, mentre al di sopra di 4 °C si dilata come gli altri liquidi (figura 74).

Quindi la sua densità, essendo il rapporto tra massa e volume, *aumenta* da 0 °C a 4 °C raggiungendo il suo valore massimo di 1 g/cm^3 alla temperatura di 4 °C.

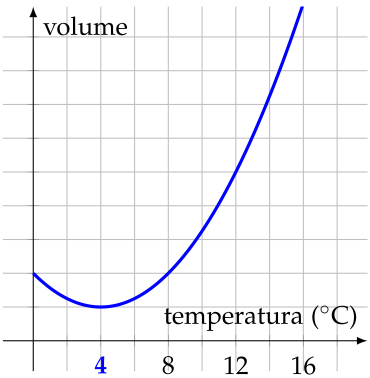


Figura 74: Comportamento anomalo dell'acqua

Lo strano comportamento dell'acqua, pur caratterizzato da una deviazione piuttosto piccola, ha importanti conseguenze in natura. Si deve infatti a questa anomalia se nella stagione invernale in certe regioni particolarmente fredde l'acqua del mare, dei laghi e dei fiumi gela solo in superficie, permettendo così la vita sul fondo. Capiamo il perché seguendo il grafico 74 all'indietro, da destra a sinistra. Il processo si può così riassumere: via via che l'acqua si raffredda, la sua densità aumenta; di conseguenza, per il principio di Archimede, essa scende verso il fondo. Nel frattempo, l'acqua degli strati più profondi, essendo meno densa, sale verso l'alto. In questo modo la temperatura dell'acqua diminuisce e il processo continua fino a quando tutta l'acqua raggiunge la temperatura di 4 °C. Se la temperatura esterna si abbassa ancora, la densità dello strato superficiale ora *diminuisce*: per il principio di Archimede, lo strato superficiale meno denso non può scendere e rimane in superficie, dove continua a raffreddarsi, fino a diventare ghiaccio. Questo strato di ghiaccio protegge la vita della fauna e della flora acquatica sottostante.

6.3 CALORE

Ponendo a contatto due corpi, di temperatura rispettivamente T_1 e T_2, in generale si nota che dopo un certo tempo essi assumono la stessa temperatura di equilibrio intermedia tra T_1 e T_2. Si ha dunque una diminuzione della temperatura del corpo più caldo e un aumento di quella del corpo più freddo. Diciamo che fra i due oggetti è stata scambiata una quantità di *calore*: il corpo più caldo ha ceduto una certa quantità di calore che è stata assorbita da quello più freddo.

Introduciamo un dispositivo, detto *calorimetro*, con cui è possibile misurare il calore scambiato fra i corpi.

Osserviamo innanzitutto che, se un corpo caldo è posto a contatto con ghiaccio a 0 °C, la sua temperatura diminuisce e il ghiaccio inizia a sciogliersi senza che la sua temperatura vari. Siamo in presenza di un cambiamento di stato, la *fusione*, in cui il corpo che fonde assorbe calore da un altro corpo più caldo (che si raffredda), senza per questo variare la sua temperatura.

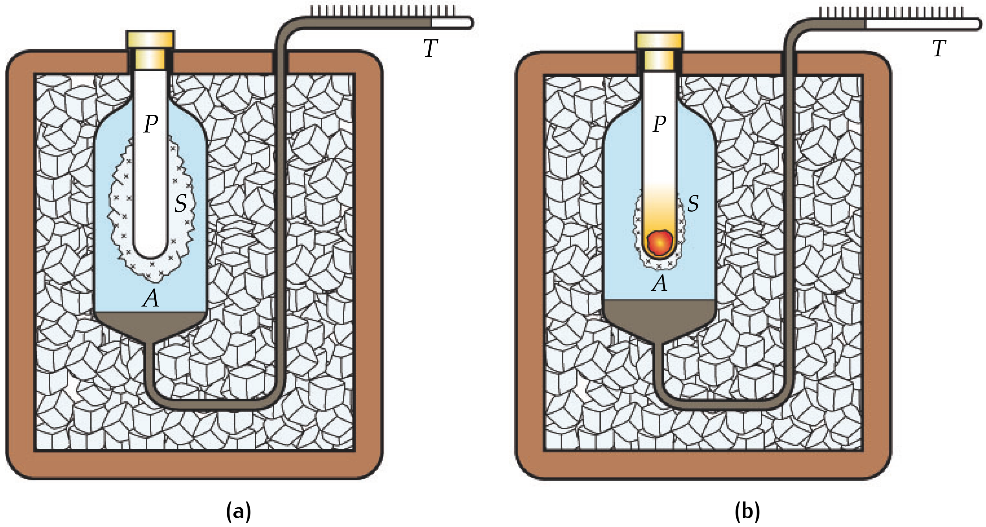


Figura 75: Calorimetro a ghiaccio

Il *calorimetro a ghiaccio* sfrutta il fenomeno della fusione per misurare il calore. Questo dispositivo è formato da un'ampolla A di vetro (figura 75a) in cui è saldata una provetta P. L'ampolla, contenente acqua, è collegata a un tubicino T pieno di mercurio. Facendo evaporare un po' di etere nella provetta P, intorno a essa si forma uno strato S di ghiaccio, a causa del raffreddamento dovuto all'evaporazione. Il calorimetro è così pronto e viene immerso in un recipiente ben isolato contenente ghiaccio fondente, in modo che tutto il dispositivo si porta a $0\,°\mathrm{C}$.

Se immergiamo allora nella provetta P un corpo caldo (figura 75b), una parte del ghiaccio S fonde a causa del calore cedutogli dal corpo. Nella fusione del ghiaccio si ha una *diminuzione* di volume del sistema ghiaccio-acqua contenuto nell'ampolla A e di conseguenza il mercurio nel tubicino T indietreggia verso sinistra.

Sul tubicino sono segnate alcune tacche ugualmente distanziate. Il numero di tacche di cui arretra il mercurio è con buona approssimazione proporzionale alla massa di ghiaccio fusa, che è proporzionale alla quantità di calore cedutagli dal corpo immerso nella provetta.

Definizione 30. Il *calore* scambiato fra due corpi è una grandezza che si misura con un calorimetro.

Definita operativamente per mezzo del calorimetro a ghiaccio la quantità di calore, ci chiediamo da quali elementi essa dipenda. Gli esperimenti condotti evidenziano che, se non siamo in presenza di un cambiamento di stato, vale la seguente legge.

Legge della calorimetria. Se Q è la quantità di calore scambiata da un corpo di massa m quando la sua temperatura varia di ΔT, si ha che

$$Q = mc\Delta T$$

dove c è una costante di proporzionalità, detta *calore specifico*, che dipende dal corpo considerato.

Il calore è *una forma di energia*. Nel Sistema Internazionale il calore si misura in joule (J): $1\,\mathrm{J} = 1\,\mathrm{kg} \cdot 1\,\mathrm{m}^2/1\,\mathrm{s}^2$. Talvolta, specialmente in campo alimentare, per misurare il valore energetico dei cibi, si usano anche la *caloria* (cal), definita come la quantità di calore che si deve fornire alla massa di 1 g d'acqua per aumentare la sua temperatura di un grado, e la *grande caloria* (Cal o kcal), uguale a 1000 cal. Si ha che 1 cal = 4,186 J, 1 kcal = 4186 J.

La tabella 12 riporta i calori specifici di alcune sostanze.

Esercizio 58. Quanto calore occorre fornire a un blocco di ferro per portarlo da 20 °C a 100 °C?

Soluzione. Per la legge della calorimetria (6.3) e tenendo conto del valore riportato nella tabella 12 si ha che:

$$Q = mc\Delta T = 2 \cdot 450 \cdot (100 - 20)\,\mathrm{J} = 72\,000\,\mathrm{J} = 17{,}2\,\mathrm{kcal} \qquad \square$$

Temperatura di equilibrio

Ora che conosciamo la legge della calorimetria, possiamo calcolare la temperatura di equilibrio che si ottiene miscelando due liquidi con masse, temperature e calori specifici diversi. Supponiamo che non ci sia scambio di energia con l'esterno: quando i due liquidi raggiungono l'equilibrio termico, il calore ceduto Q_{ceduto} da

Tabella 12: Calori specifici

Sostanza	Calore specifico		Sostanza	Calore specifico	
	[J/(kg K)]	[cal/(g °C)]		[J/(kg K)]	[cal/(g °C)]
acqua	4186	1,000	ferro	450	0,108
ghiaccio	2050	0,490	mercurio	138	0,033
alcol etilico	2430	0,581	oro	128	0,031
alluminio	897	0,214	piombo	130	0,031
aria	1012	0,242	rame	385	0,092
argento	233	0,056	stagno	288	0,054

uno è opposto al calore assorbito $Q_{\text{assorbito}}$ dall'altro. La somma delle quantità di calore scambiate è allora nulla e si può scrivere l'equazione dell'equilibrio termico:

$$Q_{\text{ceduto}} + Q_{\text{assorbito}} = 0$$

Supponiamo che $T_1 > T_2$ e usiamo la legge della calorimetria (6.3):

$$Q_{\text{ceduto}} = m_1 c_1 \Delta T = m_1 c_1 (T_{\text{e}} - T_1) \qquad Q_{\text{assorbito}} = m_2 c_2 \Delta T = m_2 c_2 (T_{\text{e}} - T_2)$$

Uguagliamo le relazioni:

$$m_1 c_1 (T_{\text{e}} - T_1) + m_2 c_2 (T_{\text{e}} - T_2) = 0$$

da cui si ottiene la relazione, valida in generale:

$$T_{\text{e}} = \frac{m_1 c_1 T_1 + m_2 c_2 T_2}{m_1 c_1 + m_2 c_2}$$

Esercizio 59. Un corpo di alluminio di massa 2 kg è alla temperatura di 500 °C ed è immerso in un recipiente contenente 6 kg d'acqua alla temperatura di 80 °C. Determina la temperatura di equilibrio.

Soluzione. Per la formula dell'equilibrio termico:

$$T_{\text{e}} = \frac{m_1 c_1 T_1 + m_2 c_2 T_2}{m_1 c_1 + m_2 c_2} = \frac{2 \cdot 0{,}214 \cdot 500 + 6 \cdot 1{,}000 \cdot 80}{2 \cdot 0{,}214 + 6 \cdot 1{,}000}\,^{\circ}\mathrm{C} = 108\,^{\circ}\mathrm{C} \qquad \square$$

Propagazione del calore

Quando forniamo calore a un corpo, la sua temperatura aumenta oppure, se siamo in prossimità di un cambiamento di stato, la temperatura non aumenta ma il calore determina il cambiamento di stato della sostanza in esame. Ma come si può fornire calore a un corpo? Il calore si propaga in tre modi diversi.

CONDUZIONE Lo scambio di calore nei solidi avviene per contatto diretto fra la sorgente di calore ed il corpo da riscaldare, senza trasferimento di materia. Il calore si propaga rapidamente se il materiale ha una elevata conducibilità termica (nei metalli, per esempio), lentamente se il materiale ha una bassa conducibilità termica (per esempio negli isolanti).

CONVEZIONE Nei fluidi la propagazione del calore avviene mediante il trasporto delle molecole riscaldate dal basso verso l'alto e di quelle fredde dall'alto verso il basso, mescolando così il fluido che si riscalda. Questo movimento circolare delle particelle è detto *moto convettivo*.

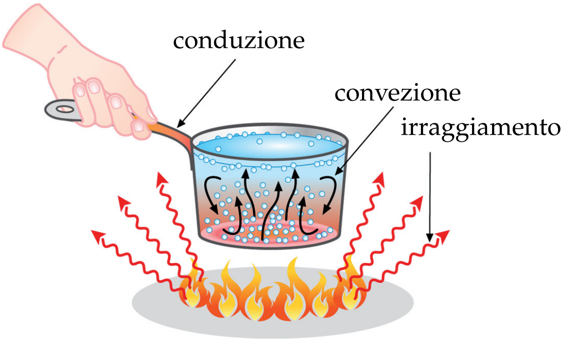


Figura 76: Propagazione del calore

IRRAGGIAMENTO Il riscaldamento avviene, anche in assenza di materia, grazie alla propagazione della radiazione elettromagnetica che, colpendo un oggetto, si trasforma in energia termica. Il nostro pianeta, per esempio, è riscaldato dal Sole esattamente con questo sistema.

Le figure 76 e 77 mostrano alcuni esempi di propagazione del calore.

6.4 ESERCIZI

Chi non risolve esercizi non impara la fisica.

Misura della temperatura

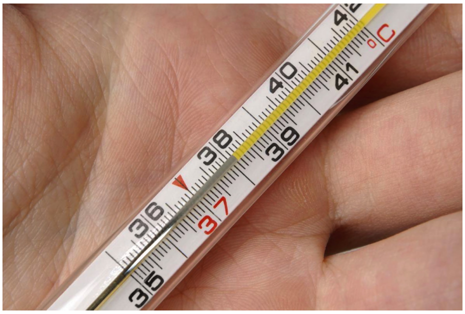
1 Un corpo si trova a una temperatura di 37 °C. Esprimi la temperatura in gradi kelvin. [310,15 K]

2 A quanti gradi celsius corrispondono 283 K? [9,85 °C]

3 Indica la risposta corretta.

a. Un termometro è un dispositivo:

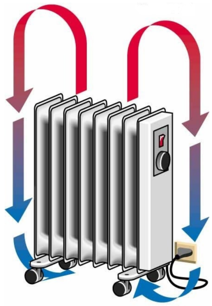
- A che può misurare solo le temperature comprese tra 0 °C e 100 °C
- B che non deve essere tarato
- C che può funzionare solo con il mercurio
- D che misura la temperatura



(a) La propagazione del calore per conduzione dal nostro corpo al termometro permette allo strumento di indicare la nostra temperatura corporea.

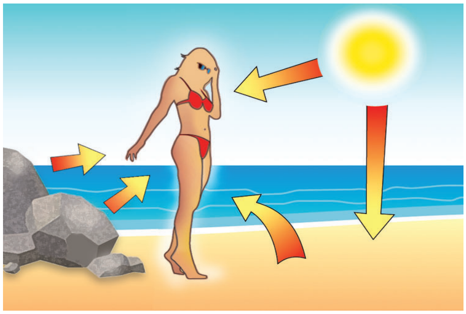
(b) Il mestolo d'acciaio (buon conduttore) lasciato nell'acqua bollente scotta; il cucchiaio di legno (cattivo conduttore) si scalda solo moderatamente.

(c) Moti convettivi in un pentola d'acqua: l'acqua vicina al fornello si riscalda e sale verso l'alto, spingendo in basso quella fredda.



(d) Moti convettivi in una stanza: l'aria sopra il calorifero si riscalda e sale verso l'alto, spingendo in basso quella fredda.

(e) Se avviciniamo una mano a una lampadina, ci rendiamo conto che da essa si propaga calore per irraggiamento.



(f) I raggi solari riscaldano l'aria e il suolo: noi riceviamo calore direttamente dai raggi solari, ma anche dall'aria e dal suolo riscaldati dal Sole.

Figura 77: Propagazione del calore

b. Una temperatura di 30 °C equivale a circa:

[A] 243 K [B] −243 K [C] 303 K [D] −303 K

c. Se un termometro segna una temperatura di 400 K, possiamo affermare che la temperatura espressa in gradi celsius è circa:

[A] 400 °C [B] 673 °C [C] 127 °C [D] −127 °C

d. La temperatura di 0 K corrisponde a:

[A] 0 °C [B] 273,15 °C [C] −273,15 °C [D] 100 °C

e. A quanto corrispondono 320,15 K in gradi centigradi?

[A] 47 °C [B] 74 °C [C] 320 °C [D] 593 °C

f. Se $T_1 = 273\,°\mathrm{C}$ e $T_2 = 273\,\mathrm{K}$, quale tra le seguenti affermazioni è vera?

[A] T_1 è minore di T_2 [C] T_1 è uguale a T_2

[B] T_1 è maggiore di T_2 [D] non si può fare il confronto

g. A quale temperatura fonde il ghiaccio?

[A] 0 K [B] 0 °C [C] 100 K [D] 273,15 °C

[1 risposta A, 2 B, 3 C e 1 D]

4 Vero o falso?

a. La temperatura è una grandezza fisica che si misura con un termometro. [V] [F]

b. Il termometro a mercurio usa la proprietà del mercurio di aumentare il proprio volume se riscaldato. [V] [F]

c. Due corpi a temperature diverse posti a contatto reciproco sono in equilibrio termico. [V] [F]

d. Un termometro è sempre costituito da un bulbo contenente acqua e da un sottilissimo tubicino. [V] [F]

e. La scala comunemente utilizzata per la misura della temperatura è la scala Celsius. [V] [F]

f. In generale, per misurare la temperatura di un corpo basta disporre il termometro nelle sue immediate vicinanze. [V] [F]

g. La scala Celsius è una scala centigrada. [V] [F]

h. Il grado Celsius è l'unità di misura prevista dal Sistema Internazionale. [V] [F]

i. La misura di temperatura fatta con un termometro a mercurio è una misura indiretta. V F

j. Lo zero assoluto corrisponde a una temperatura di $-273{,}15\,°\mathrm{C}$. V F

[5 affermazioni vere e 5 false]

Dilatazione termica

5 Calcola il coefficiente di dilatazione lineare dell'alluminio, sapendo che una sbarra di alluminio lunga 20 m, riscaldata da 20 °C a 520 °C, si allunga di 24 cm. $\left[0{,}24 \cdot 10^{-4}\,°\mathrm{C}^{-1}\right]$

6 Una sbarra di alluminio è lunga 1,3 m. Calcola la variazione di lunghezza della sbarra sapendo che è sottoposta a una variazione di temperatura $\Delta T = 18\,\mathrm{K}$.

7 Una sbarra di ferro, lunga l_0 alla temperatura di 0 °C, viene posta in un ambiente alla temperatura T. Sapendo che la lunghezza della sbarra diventa $1{,}0005\,l_0$, calcola la temperatura dell'ambiente. [41,7 °C]

8 La lunghezza delle rotaie della linea ferroviaria Cesena-Ancona è circa $l_0 = 155\,\mathrm{km}$. Sapendo che per l'acciaio è $\lambda = 1{,}05 \cdot 10^{-5}\,°\mathrm{C}^{-1}$ e supponendo che le rotaie siano saldate con continuità, calcola di quanto varierebbe la lunghezza complessiva se la massima variazione stagionale di temperatura è di 40 °C. [65,1 m]

9 Una sostanza allo stato liquido occupa a 0 °C un volume pari a $30\,\mathrm{cm}^3$. Sapendo che alla temperatura di 50 °C il suo volume aumenta di $0{,}27\,\mathrm{cm}^3$, determina in base al coefficiente di dilatazione cubica la natura della sostanza. [mercurio]

10 Quanto era lunga, inizialmente, una sbarra di ferro se in seguito a una variazione di temperatura di 100 K si riscontra un aumento di lunghezza pari a 6 mm? [5 m]

11 Una sbarra di rame lunga 40 cm si trova inizialmente alla temperatura di 0 °C. Quanto vale la temperatura finale se, in seguito a un riscaldamento, subisce una variazione di lunghezza pari a 2 mm? [294 °C]

12 Una sbarra di zinco di lunghezza $l_0 = 2\,\mathrm{m}$, si trova inizialmente a una temperatura di 100 °C. Calcola la variazione di lunghezza della sbarra se la temperatura finale è 300 °C. [12 mm]

13 Una sbarra d'argento lunga 1 m viene riscaldata e aumenta la sua temperatura di 100 °C. Se la lunghezza finale è 1,0019 m, quanto vale il coefficiente di dilatazione lineare dell'argento? $\left[19 \cdot 10^{-6}\,°\mathrm{C}^{-1}\right]$

14 Un cubo di bronzo di lato 2 m, inizialmente alla temperatura di 100 °C, viene raffreddato fino a fargli raggiungere un volume di $7{,}9\,\mathrm{m}^3$. Qual è la temperatura finale del cubo? [−131,5 °C]

15 Trova il coefficiente di dilatazione volumica di un cubo di metallo di lato 3 m sapendo che, in seguito a una variazione di temperatura di 300 °C, aumenta il suo volume fino a $27{,}2\,\mathrm{m}^3$. $\left[2{,}5 \cdot 10^{-5}\,°\mathrm{C}^{-1}\right]$

16 A seguito di riscaldamento un cubo d'argento di lato 1 cm aumenta il volume di 10^{-2} cm^3. Di quanto è aumentata la temperatura? [175,5 °C]

17 Indica la risposta corretta.

a. Le dilatazioni lineari dei solidi sono:

- A invisibili, perché il fenomeno coinvolge il livello atomico
- B visibili con estrema facilità a occhio nudo
- C visibili in certe condizioni
- D inesistenti, perché i solidi non si dilatano

b. Se *raffreddiamo* una sbarra di ferro, possiamo affermare che essa:

- A subisce un allungamento proporzionale alla propria massa
- B subisce un allungamento proporzionale all'aumento di temperatura
- C subisce un accorciamento
- D non modifica nessun suo parametro fisico

c. Se *riscaldiamo* una sbarra di ferro, possiamo affermare che essa:

- A subisce un allungamento proporzionale alla propria massa
- B subisce un allungamento proporzionale all'aumento di temperatura
- C subisce un accorciamento
- D non modifica nessun suo parametro fisico

d. Se la temperatura di un corpo diminuisce:

- A di solito il volume aumenta
- B di solito il volume diminuisce
- C il suo volume non cambia
- D non si può rispondere

e. I liquidi, generalmente:

- A si dilatano più dei solidi
- B si dilatano come i solidi
- C si dilatano meno dei solidi
- D non si dilatano.

f. L'affermazione «L'acqua raggiunge la densità massima a 4 °C» è:

- A falsa, perché l'acqua non raggiunge mai la temperatura di 4 °C
- B falsa, perché il volume dell'acqua non cambia con la temperatura
- C falsa, perché la densità è minima a quella temperatura
- D vera

g. L'affermazione: «In un lago l'acqua in superficie è gelata»:

- A è sicuramente falsa, l'acqua dei laghi non può gelare
- B è sicuramente vera e tutta l'acqua sotto lo strato di ghiaccio è a 4 °C
- C può essere vera, e sotto il ghiaccio c'è acqua a temperatura superiore a 4 °C
- D può essere vera, e negli strati più profondi c'è acqua a 4 °C

[1 risposta A, 2 B, 2 C e 2 D]

Calore

18 A quanti joule corrispondono 200 kcal? [837 200 J]

19 Quanto calore bisogna fornire a una pentola con 3 litri di acqua a 20 °C per portarla a ebollizione? [1004,6 kJ]

20 Quanto calore occorre fornire a un cubo di rame di 2 kg, inizialmente alla temperatura di 10 °C, per portarlo a una temperatura di 50 °C? [30,8 kJ]

21 Qual è la variazione di temperatura di una massa di 2 kg di ferro rovente che cede all'ambiente un calore pari a 40 kJ? [44,4 °C]

22 Determina il calore specifico di un corpo di massa 2 kg sapendo che, fornendogli un'energia pari a 30 kJ, aumenta la sua temperatura di 64 °C. [234 J/(kg K)]

23 Dato un oggetto di massa 1 kg e calore specifico pari a 288 J/(kg K), di quanto aumenta la sua temperatura se si fornisce un'energia di 40 kJ? [138,8 K]

24 Dati due cubetti, il primo di 100 g d'oro a 20 °C e il secondo di 200 g d'argento a 100 °C, calcola la temperatura di equilibrio che si raggiunge mettendo a contatto i cubetti. [82,8 °C]

25 Un oggetto di stagno di massa 500 g alla temperatura di 200 °C viene immerso in una bacinella contenente 3 litri di acqua alla temperatura di 20 °C. Determina la temperatura di equilibrio del sistema. [22,0 °C]

26 Un soggetto in stato febbrile beve 0,2 l d'acqua alla temperatura di 10 °C. Sapendo che per raggiungere uno stato di equilibrio termico con il corpo umano l'acqua assorbe una quantità di calore pari a 5,7 kcal, calcola la temperatura dello stato febbrile. [38,5 °C]

27 Un corpo di massa $m = 1$ kg dopo aver assorbito una quantità di calore pari a 30 cal varia la sua temperatura di 10 °C. Calcola il calore specifico del corpo. [$3 \cdot 10^{-3}$ cal/(g °C)]

28 Per far funzionare correttamente un motore è necessario raffreddarlo con acqua. Sapendo che ogni ora vengono immessi, alla temperatura di 10 °C, 2000 l d'acqua, che poi escono alla temperatura di 30 °C, calcola la quantità di calore che viene sottratta al motore per ogni ora di funzionamento. [$4 \cdot 10^4$ kcal]

29 In un recipiente termicamente isolato vengono mescolati 0,2 l d'acqua alla temperatura di 70 °C con 100 g d'acqua alla temperatura di 40 °C. Determina la temperatura finale di equilibrio, supponendo che la quantità di calore ceduta dall'acqua più calda sia interamente assorbita dall'acqua più fredda. [60 °C]

30 L'energia fisiologica minima necessaria per mantenere le sole funzioni vitali di un organismo vivente (metabolismo basale in condizioni di riposo) oscilla intorno alle 1680 kcal nelle 24 ore. Calcolare quanto zucchero dovrebbe ingerire un uomo per sopperire al metabolismo basale, sapendo che l'energia sviluppata nella combustione completa di 1 kg di zucchero (potere calorico) sia pari a 3900 kcal/kg. [430 g]

31 La Corrente del Golfo trasporta, in media, 10^8 m^3 di acqua al secondo verso le coste europee. Nell'ipotesi che nella stagione invernale la temperatura dell'acqua della corrente sia 10 °C più elevata di quella delle acque circostanti, calcola la quantità di calore che viene trasportata ogni secondo verso l'Europa. [10^{12} kcal]

32 Indica la risposta corretta.

a. Se poniamo a contatto due corpi possiamo dire che:

- A c'è passaggio di calore dal corpo più caldo a quello più freddo
- B c'è passaggio di temperatura dall'uno all'altro
- C la temperatura finale dei due corpi non varia
- D se i corpi erano a temperature diverse, allora non c'è alcuno scambio di calore

b. Quale delle seguenti unità di misura si può usare per misurare il calore?

A il °C   B il kelvin   C il N/°C   D il joule

c. Il calore specifico di una sostanza:

- A è una quantità uguale per tutti i corpi
- B misura la quantità di calore che un corpo può assorbire
- C è misurato in cal/°C
- D è il calore che alza di un grado la temperatura di un grammo di quella sostanza

d. Se riscaldiamo l'acqua contenuta in una pentola, possiamo affermare che la pentola si riscalda prima dell'acqua perché:

- A la pentola è fatta di materiale con calore specifico maggiore di quello dell'acqua
- B la pentola è fatta di materiale con calore specifico minore di quello dell'acqua
- C acqua e pentola si riscaldano contemporaneamente, ma la pentola è più pesante
- D la pentola è più vicina al fornello

e. Se forniamo la stessa quantità di calore a due corpi, uno di rame e uno di ferro, di massa uguale e posti alla stessa temperatura, possiamo dire che:

A si riscalda di più il corpo di rame

B si riscalda di più il corpo di ferro

C raggiungono la stessa temperatura

D non si può rispondere se non si conosce la temperatura iniziale

f. Quale processo di trasferimento del calore avviene anche nel vuoto?

A L'irraggiamento

C La conduzione

B La convezione

D Nessuno

g. Qual è l'unità di misura del calore specifico nel Sistema Internazionale?

A cal/g

B J/(kg K)

C cal/(g °C)

D J/K

h. I moti convettivi sono:

A conseguenza del principio di Pascal

C tipici dei soli liquidi

B tipici delle sostanze fluide

D tipici delle sostanze solide

i. La temperatura di un corpo è:

A una forma di energia

B misurata in calorie

C una grandezza che si misura con un termometro

D il suo calore misurato in gradi kelvin

j. Il calore di un corpo è:

A la sua temperatura misurata in calorie

B la sua temperatura assoluta

C una forma di energia

D la velocità delle sue molecole

[3 risposte A, 3 B, 2 C e 2 D]

33 Indica la risposta corretta.

a. Un oggetto d'alluminio passa da 20 a 60 °C, assorbendo 4200 cal. Possiamo affermare che la sua massa è circa:

A $110 \cdot 10^3$ kg   B 0,5 kg   C 5 kg   D 10^5 kg

b. Di quanto aumenta circa la temperatura di un oggetto di rame, di massa 4 kg, quando gli vengono somministrate 3,6 kcal?

A 1 °C   B 10 °C   C 0,1 °C   D 0,01 °C

c. Fornendo 28,8 kcal a un corpo di massa 6 kg, esso subisce un aumento di temperatura di 80 °C. Il calore specifico della sostanza che forma il corpo è:

A 6 cal/(g °C)   B 0,6 cal/(g °C)   C 0,06 cal/(g °C)   D 60 cal/(g °C)

d. Un blocco di ferro di 0,4 kg assorbe una quantità di calore pari a 600 cal. Possiamo affermare che la sua temperatura è variata di circa:

A 139 °C   B 13,9 °C   C 1,39 °C   D 0 °C

e. In un recipiente vengono mescolati 0,2 kg d'acqua a temperatura di 20 °C con 0,3 kg d'acqua alla temperatura di 80 °C. Se si suppone che siano nulle le dispersioni di calore, la temperatura di equilibrio è:

A 50 °C   B 40 °C   C 36 °C   D 56 °C

f. Un oggetto di ferro, di massa 0,25 kg viene riscaldato e la sua temperatura passa da 20 °C a 70 °C. Possiamo affermare che il calore che gli è stato fornito è circa:

A 1350 cal   B 1350 J   C 1350 kcal   D 1350 kJ

g. Se un pezzo di ferro da 0,5 kg viene scaldato di 10 K, quanto vale il calore assorbito?

A 2,25 J   B 22,5 J   C 225 J   D 2250 J

[1 risposta A, 3 B, 1 C e 2 D]

34 Vero o falso?

a. Due corpi a contatto si scambiano calore. V F

b. Il calore è un fluido che scorre tra corpi a contatto. V F

c. L'irraggiamento è un fenomeno di trasmissione del calore che non richiede un mezzo di propagazione. V F

d. Il calore specifico è un coefficiente che dipende dal volume della sostanza in esame. V F

e. Se un oggetto ha un calore specifico maggiore di un altro, a parità di massa occorre fornirgli meno calore per far aumentare la sua temperatura di una stessa quantità. V F

[2 affermazioni vere e 3 false]