

LE MISURE DELLA CHIMICA

1 Le grandezze fisiche

Secondo il metodo scientifico, il primo passaggio per studiare un fenomeno è quello di ricavare dall'osservazione il maggior numero di informazioni possibili. Dall'osservazione, tuttavia, si possono ottenere due tipi di informazioni: quelle **sogettive**, che dipendono da chi osserva, e quelle **oggettive**, indipendenti dall'osservatore, che si basano su proprietà caratteristiche dei corpi che possono essere misurate, in modo da poter associare loro dei valori numerici. Tali proprietà misurabili vengono comunemente chiamate **grandezze fisiche**.

Una **grandezza fisica** è una proprietà caratteristica di un corpo o di un fenomeno che **può essere misurata**.

Per misurare una grandezza fisica, per prima cosa occorre scegliere l'**unità di misura**. Essa è una grandezza di riferimento a cui viene associato il valore unitario:

l'**unità di misura** è la grandezza a cui corrisponde il **valore 1**.

Una volta operata tale scelta, la grandezza da misurare va confrontata con l'unità di misura per stabilire quante volte quest'ultima è contenuta nella grandezza:

misurare significa **confrontare la grandezza** di cui vogliamo conoscere il valore **con l'unità di misura** scelta e quindi trovare quante volte (interamente o in frazione) tale unità di misura è contenuta nella grandezza da misurare.

Oltre all'unità di misura, per ottenere il valore di una grandezza fisica occorre disporre di un opportuno strumento e adottare un appropriato metodo di misura.

Lo **strumento di misura** è quell'oggetto (o quell'insieme di oggetti) che consente di operare il confronto tra la grandezza fisica e la sua unità di misura.

Così, per esempio, utilizzeremo il metro per misurare le lunghezze dei corpi, il termometro per misurare la temperatura e l'orologio per misurare il tempo.

Il **metodo di misura** consiste nella scelta delle procedure che devono essere adottate. Rispetto al metodo, infatti, una misura può essere di due tipi: diretta e indiretta.



Una misura si dice **diretta** quando la grandezza da misurare è **confrontata direttamente** con la corrispondente unità di misura.

La misura di una lunghezza di una matita effettuata con un righello è un esempio di misura diretta (**Fig. 1**).

Se vogliamo invece misurare la superficie di un tavolo di forma rettangolare, è più comodo utilizzare il metodo indiretto. Sappiamo infatti che la superficie di un rettangolo è data dal prodotto della misura della base b per la misura dell'altezza h . Basterà allora misurare le dimensioni b e h e moltiplicarle tra loro per ottenere la misura della superficie.

Pertanto:

una misura si dice **indiretta** quando il valore della grandezza fisica è ottenuto sfruttando opportune **relazioni matematiche** che legano la grandezza da misurare ad altre grandezze misurabili direttamente.

In conclusione, possiamo dire che di una grandezza fisica viene data una **definizione operativa** quando di essa sono noti l'unità di misura, lo strumento di misura e il metodo adottato.

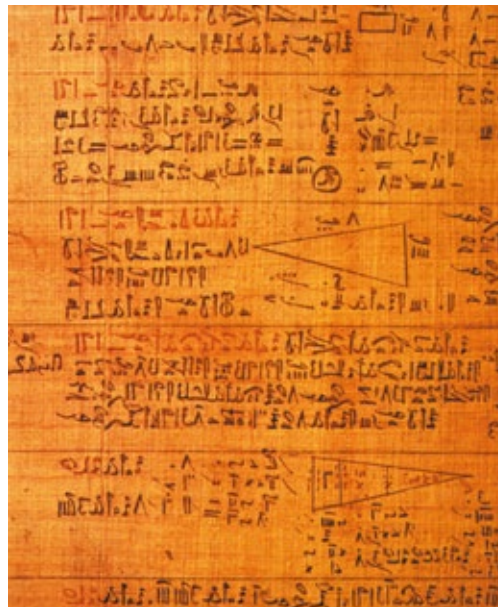


Fig. 1
Antico papiro egizio raffigurante elementi di misurazione geometrici dell'epoca.

Quick TEST

Vero o falso?

- Le grandezze fisiche sono proprietà misurabili.
- L'unità di misura è la grandezza cui corrisponde il valore unitario.
- La misura della superficie è un tipo di misura diretta.
- Una misura indiretta si ottiene sfruttando relazioni matematiche tra misure indirette.

 V F

 V F

 V F

 V F

2 Il Sistema Internazionale

Nel 1875 rappresentanti di varie nazioni firmarono un patto per istituire un Centro internazionale di pesi e misure. A questa organizzazione fu assegnato il compito di scegliere gli standard internazionali di misura e nel 1960 fu approvato un accordo che finalmente stabilì un **Sistema Internazionale** di unità di misura. Il Sistema Internazionale, indicato con la sigla **SI**, prevede **sette grandezze fondamentali**, con le loro rispettive unità di misura (**Tab. 1**), e numerose altre grandezze derivate da quelle fondamentali.

TAB. 1 Le grandezze del Sistema Internazionale

Grandezza fisica	Simbolo	Unità di misura	Simbolo
lunghezza	l	metro	m
massa	m	kilogrammo	kg
tempo	t	secondo	s
temperatura	T	kelvin	K
corrente elettrica	i	ampère	A
intensità luminosa	I	candela	cd
quantità di sostanza	n	mole	mol

TAB. 2 Prefissi dei multipli

Prefisso	Simbolo	Fattore
giga	G	10^9
mega	M	10^6
kilo	k	10^3
etto	h	10^2
deca	da	10^1

TAB. 3 Prefissi dei sottomultipli

Prefisso	Simbolo	Fattore
deci	d	10^{-1}
centi	c	10^{-2}
milli	m	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}

I **multipli** e i **sottomultipli** delle unità di misura si indicano utilizzando opportuni **prefissi**. I multipli si ottengono moltiplicando l'unità di misura per potenze della base 10 con esponente positivo (Tab. 2), i sottomultipli per potenze della base 10 con esponente negativo (Tab. 3).

Per quanto riguarda i campioni di riferimento previsti dal SI, è interessante notare che, a eccezione della massa, si è fatto ricorso a fenomeni naturali che hanno il vantaggio di potere essere riprodotti da tutti senza la necessità di ricorrere a dei prototipi standard.

Per il metro, per esempio, si è scelta come unità di riferimento la distanza percorsa dalla luce nel vuoto in $\frac{1}{299792458}$ secondi.

● Le grandezze derivate

Oltre alle grandezze fondamentali esistono le grandezze derivate (Tab. 4) che scaturiscono dalla combinazione matematica delle sette grandezze fondamentali. Così, per esempio, per misurare la superficie di una stanza di forma rettangolare bisognerà moltiplicare la misura della larghezza per quella della profondità; se poi si vuole determinare il volume, bisognerà moltiplicare la superficie per l'altezza della stanza. Pertanto:

le **grandezze derivate** sono espresse da **relazioni matematiche** (prodotto o quoziente) tra più grandezze fondamentali e le loro unità di misura dipendono dalle relazioni tra le relative unità di misura fondamentali.

TAB. 4 Alcune grandezze derivate e loro unità di misura nel SI

Grandezza	Simbolo	Nome unità di misura	Definizione
area		metro quadrato	m^2
volume		metro cubo	m^3
densità		kilogrammo al metro cubo	kg/m^3
forza	N	newton	$kg \cdot m/s^2$
pressione	Pa	pascal	N/m^2
energia, lavoro, calore	J	joule	$N \cdot m$
velocità		metro al secondo	m/s

Quick TEST

Vero o falso?

- | | | |
|---|----------------------------|----------------------------|
| 1. Il metro non fa parte del SI. | <input type="checkbox"/> V | <input type="checkbox"/> F |
| 2. Il SI comprende sette grandezze fondamentali. | <input type="checkbox"/> V | <input type="checkbox"/> F |
| 3. L'intensità luminosa si misura in ampère. | <input type="checkbox"/> V | <input type="checkbox"/> F |
| 4. L'unità di misura di massa nel SI è il grammo. | <input type="checkbox"/> V | <input type="checkbox"/> F |
| 5. Nel SI la temperatura si misura in kelvin. | <input type="checkbox"/> V | <input type="checkbox"/> F |
| 6. Nel SI il volume si misura in litri. | <input type="checkbox"/> V | <input type="checkbox"/> F |

3 La dimensione dei corpi

Nello studio dei fenomeni fisici può essere necessario stabilire le dimensioni dei corpi, le rispettive posizioni e le reciproche distanze. La lunghezza è la grandezza fisica che consente di acquisire tutte queste informazioni.

● La lunghezza

La lunghezza è una delle grandezze fisiche con cui abbiamo più familiarità. Con essa misuriamo le dimensioni lineari dei corpi che comunemente indichiamo con i termini larghezza, altezza, profondità, ma misuriamo anche le distanze e gli spostamenti dei corpi. In generale:

la **lunghezza** è la grandezza fisica che rappresenta la **distanza geometrica tra due punti**.

Se i due punti appartengono al contorno di un corpo, allora la lunghezza rappresenta una **dimensione lineare**. Nel caso in cui, invece, i due punti rappresentino due posizioni dello spazio, occupate successivamente da un corpo in movimento, allora la lunghezza rappresenta il suo **spostamento**.

Se, infine, i due punti appartengono a due corpi diversi, come per esempio la Terra e la Luna, la lunghezza esprime la **distanza** che li separa.

La lunghezza è una delle sette grandezze fondamentali del SI e la sua unità di misura è il **metro**, il cui simbolo è **m** (Tab. 5).

Lo strumento comunemente usato per la lunghezza è l'asta metrica, ma normalmente sono disponibili altri strumenti.

Per la misura di lunghezze molto piccole si utilizzano strumenti particolari quali il calibro e il micrometro.

Se le lunghezze da misurare sono enormemente grandi o enormemente piccole, si usano particolari multipli o sottomultipli. Così, per esempio, per le distanze stellari, si usa l'**anno luce**, che corrisponde alla distanza percorsa dalla luce in un anno.

Per dimensioni estremamente piccole, come quelle atomiche, si usa l'**ångström** (Å), che corrisponde alla decimilionesima parte del millimetro.

TAB. 5 Principali multipli e sottomultipli del metro

Nome	Simbolo	Equivalenza in metri
kilometro	km	10^3
metro	m	10^0
decimetro	dm	10^{-1}
centimetro	cm	10^{-2}
millimetro	mm	10^{-3}
micrometro	μm	10^{-6}
nanometro	nm	10^{-9}
ångström	Å	10^{-10}

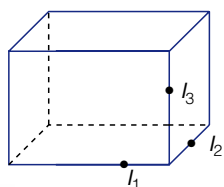


Fig. 2

Il volume di un parallelepipedo si ottiene moltiplicando le misure l_1 , l_2 , l_3 degli spigoli.

● Superficie e volume

Alla lunghezza sono correlate due grandezze derivate: la **superficie** e il **volume**. Ogni corpo, infatti, è delimitato da una superficie di contorno e occupa una certa porzione di spazio.

L'**area misura la superficie** che lo delimita, mentre il **volume misura lo spazio** che il corpo occupa.

Dalla geometria sappiamo già calcolare l'area di superfici di forme regolari, come quella del piano di un tavolo o del pavimento di una stanza, che di norma hanno forma rettangolare.

In questo caso l'area sarà espressa dal prodotto delle misure della base e dell'altezza del rettangolo.

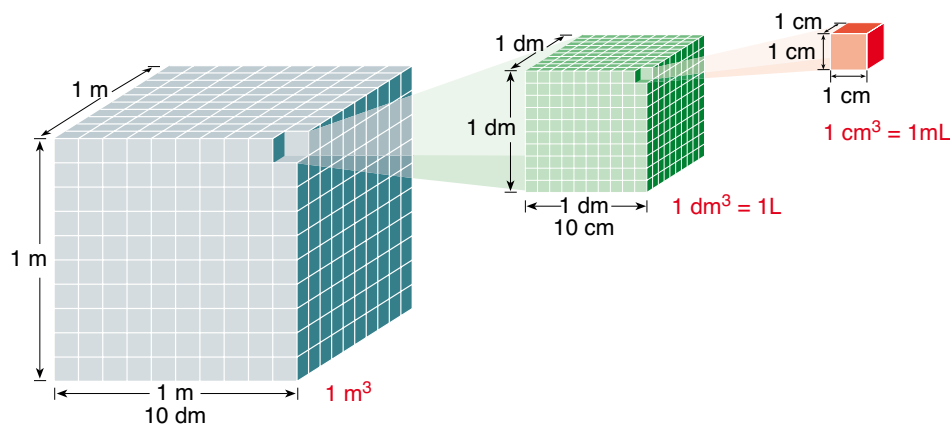
Analogamente, quando si vuole misurare il volume di un corpo che ha la forma di un solido regolare, faremo ricorso alle formule che abbiamo imparato dalla geometria per ricavare il volume dei solidi.

In ogni caso il volume verrà espresso come il prodotto di tre dimensioni, che idealmente corrispondono ai tre spigoli di un parallelepipedo regolare (Fig. 2).

Dal momento che superficie e volume sono due grandezze fisiche derivate dalla lunghezza, è opportuno scegliere per esse unità di misura in accordo con quelle usate per la lunghezza. Pertanto l'unità di misura dell'area di una superficie è il **metro quadrato**, m^2 , che rappresenta la superficie di un quadrato che ha il lato lungo un metro, mentre l'unità di misura del volume è il **metro cubo**, indicato col simbolo m^3 , che rappresenta il volume occupato da un cubo avente lo spigolo lungo un metro (Fig. 3).

Fig. 3

L'unità del SI per la misura del volume è $1 m^3$. Unità più pratiche da usare in laboratorio sono $1 dm^3$ (equivalente a 1 L) e $1 cm^3$ (equivalente a 1 mL).



Anche per la superficie e per il volume vengono spesso utilizzati i relativi multipli e sottomultipli, le cui equivalenze vengono riportate in Tab. 6.

TAB. 6 Equivalenze di aree e di volumi

$1 m^2 = \begin{cases} 10^6 mm^2 \\ 10^4 cm^2 \\ 10^2 dm^2 \\ 10^{-6} km^2 \end{cases}$	$1 dm^2 = \begin{cases} 10^4 mm^2 \\ 10^2 cm^2 \\ 10^{-2} m^2 \\ 10^{-8} km^2 \end{cases}$	$1 m^3 = \begin{cases} 10^9 mm^3 \\ 10^6 cm^3 \\ 10^3 dm^3 \\ 10^{-9} km^3 \end{cases}$	$1 dm^3 = \begin{cases} 10^6 mm^3 \\ 10^3 cm^3 \\ 10^{-3} m^3 \\ 10^{-12} km^3 \end{cases}$
$1 cm^2 = \begin{cases} 10^2 mm^2 \\ 10^{-2} dm^2 \\ 10^{-4} m^2 \\ 10^{-10} km^2 \end{cases}$	$1 mm^2 = \begin{cases} 10^{-2} cm^2 \\ 10^{-4} dm^2 \\ 10^{-6} m^2 \\ 10^{-12} km^2 \end{cases}$	$1 cm^3 = \begin{cases} 10^3 mm^3 \\ 10^{-3} dm^3 \\ 10^{-6} m^3 \\ 10^{-15} km^3 \end{cases}$	$1 mm^3 = \begin{cases} 10^{-3} cm^3 \\ 10^{-6} dm^3 \\ 10^{-9} m^3 \\ 10^{-18} km^3 \end{cases}$

La misura di volume serve anche per stabilire la **capacità di un contenitore**, o di un qualunque ambiente.

In questo caso, il volume viene più frequentemente espresso usando come unità di misura il litro.

Il **litro** corrisponde alla **quantità di liquido** che può essere contenuta in un recipiente di forma cubica il cui lato misura 1 dm.

Pertanto l'equivalenza che lega il litro al metro cubo (Fig. 4) sarà:

$$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 0,001 \text{ m}^3$$

Anche per il litro vengono utilizzati i relativi multipli e sottomultipli.

Quick TEST

Vero o falso?

- Nel SI la lunghezza si misura in cm. V F
- L'angstrom Å è un multiplo del metro. V F
- L'anno luce è un multiplo del secondo. V F
- La superficie e il volume sono grandezze fisiche derivate del metro. V F
- Il litro è il volume contenuto in un cubo di lato 1 cm. V F

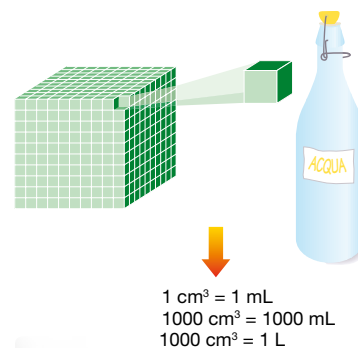


Fig. 4
Unità comunemente usate per le misure di volume.

4 La massa

Se mettiamo a confronto una palla da ping pong con una palla da golf ci accorgiamo che si presentano abbastanza simili, almeno per ciò che riguarda la forma e il volume (Fig. 5). Se proviamo però a giocare a ping pong con la palla da golf o viceversa, notiamo che esse presentano una sostanziale differenza: la "pesantezza". Pertanto, la forma e il volume non bastano per caratterizzare un corpo, occorre anche introdurre la **massa**, una grandezza fisica legata alla **quantità di materia contenuta in un corpo** e quindi responsabile della sensazione di "pesantezza".



Una grandezza fisica strettamente collegata alla massa, e spesso erroneamente confusa con essa, è il **peso**, che è invece una forza, quella con cui un corpo è attirato verso il centro della Terra. La massa invece è una **proprietà intrinseca** dei corpi che non dipende dalla particolare condizione in cui i corpi si trovano. Una mela possiede la stessa massa sia che si trovi su un albero sia su un piatto o in frigorifero e rimane costante anche quando si trova in un luogo diverso dalla Terra, per esempio sulla Luna.

Fig. 5
Forma e dimensione non sono sufficienti per caratterizzare un corpo.

Anche per la massa, come per le altre grandezze fisiche, occorre disporre di un sistema di misura e di un opportuno strumento per darne una definizione operativa. Nel SI, come si è detto, la massa è una grandezza fondamentale: l'unità di misura è il **kilogrammo**, indicato con il simbolo **kg**. I multipli e i sottomultipli del kilogrammo sono riportati nella **Tabella 7**.

Lo strumento campione usato nel SI è la **bilancia a due bracci**.

Per determinare la massa di un corpo basta collocarlo su uno dei due piattelli e porre sull'altro campioni di massa in quantità sufficiente per portare lo strumento in equilibrio.



Fig. 6

Bilancia a due bracci del laboratorio del chimico Stanislao Cannizzaro, conservata nel Museo di chimica dell'Università di Palermo.

TAB. 7 Multipli e sottomultipli del kilogrammo

Nome	Simbolo	Valore in kg
Megagrammo (tonnellata)	Mg (t)	1000 = 10 ³
kilogrammo	kg	1 = 10 ⁰
ettogrammo	hg	0,1 = 10 ⁻¹
decagrammo	dag	0,01 = 10 ⁻²
grammo	g	0,001 = 10 ⁻³
milligrammo	mg	0,000001 = 10 ⁻⁶

La massa di un corpo, inoltre, possiede un'altra importante caratteristica, quella di rimanere **costante** anche se la materia che costituisce il corpo subisce trasformazioni. La massa è quindi una **proprietà invariante** della materia.

ESEMPIO

Esprimiamo la massa $m = 400,2$ g nelle seguenti due unità di misura:

a. in kg; b. in mg

a. – Dal momento che 1 kg = 1000 g, allora:

$$1 \text{ g} = \frac{1}{1000} \text{ kg}$$

– Per esprimere la massa m in kg dobbiamo allora dividere per 1000 il suo valore in g, il che equivale a spostare la virgola di 3 posti verso sinistra. Pertanto:

$$m = \frac{400,2}{1000} = 0,4002 \text{ kg}$$

b. – Dal momento che $1 \text{ mg} = \frac{1}{1000} \text{ g}$, allora:
1 g = 1000 mg

– Per esprimere la massa m in mg dovremo moltiplicare per 1000 il suo valore in g. Pertanto:

$$m = 400,2 \cdot 1000 = 400\,200 \text{ mg}$$

PROVA TU!

Esegui le seguenti equivalenze.

- a. 70 mg = cg
b. 28 kg = g
c. 450 mg = kg

Quick TEST

Vero o falso?

- La massa è una proprietà intrinseca della materia. V F
- Il kilogrammo nel SI indica un multiplo del grammo. V F
- Per effettuare misure di massa occorre una bilancia a due bracci. V F
- Il peso è una proprietà invariante della materia. V F
- Il peso è una forza. V F
- Il decagrammo corrisponde a un decimo di kilogrammo. V F
- L'ettogrammo corrisponde a 0,1 kg. V F

5 La densità

La massa e il volume di qualunque sostanza sono due grandezze correlate tra loro. Possiamo verificare sperimentalmente infatti che, per una stessa sostanza, **la massa è direttamente proporzionale al volume**. Pertanto, indicando con m la massa di una sostanza e con V il suo corrispondente volume, possiamo affermare che il loro rapporto m/V sarà sempre costante. Il valore di questo rapporto indicato con d definisce una grandezza, la **densità**:

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

La densità d è una **grandezza derivata** che dipende soltanto dalla natura della materia e pertanto ne costituisce un'ulteriore proprietà caratteristica.

Essa è inoltre una **grandezza intensiva**, cioè non dipende dalla quantità di materia presa in considerazione. Un mL di acqua avrà infatti la stessa densità di un litro, ma anche di un m^3 di detta sostanza, purché misurata nelle stesse condizioni di temperatura e pressione. Pertanto, se si fa riferimento a un volume unitario di sostanza, l'espressione $\frac{m}{V}$ diventa $\frac{m}{1}$ e il concetto di densità può essere così espresso:

la **densità** di un corpo è una proprietà caratteristica della materia di cui esso è costituito ed è numericamente uguale alla **massa del volume unitario** di detto corpo.

Nel SI la densità viene chiamata **massa volumica** e ha come unità di misura il **kg/m³**. Anche la densità può essere espressa in multipli e sottomultipli delle unità campione utilizzate per la massa e per il volume. Molto usato è il grammo al centimetro cubo, in simboli g/cm³, o il grammo al millilitro, g/mL. Per i liquidi però si usa spesso il kg/dm³, che, come sappiamo, corrisponde al kg/L.

ESEMPIO

Un liquido ha una massa di 1 kg e occupa il volume di 1,1 L. Calcoliamo la densità in kg/m³.

– Poiché 1 L = 1 dm³ e 1 dm³ = 0,001 m³ ovvero in notazione esponenziale, 10⁻³ m³, avremo:

$$V = 1,1 \text{ L} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

– Sostituendo i valori nella relazione $d = \frac{m}{V}$ si ha:

$$d = \frac{1 \text{ kg}}{1,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} = 0,91 \cdot 10^3 = 910 \text{ kg/m}^3$$

PROVA TU!

Calcola la densità in kg/m³ di un liquido che ha la massa di 1 kg e occupa il volume di 970 mL.

Dalla formula $d = \frac{m}{V}$ è possibile ricavare la formula inversa $m = d \cdot V$, che consente di calcolare la massa di un corpo di volume noto quando se ne conosce la densità d .

ESEMPIO

Un corpo ha una densità $d = 10,5 \text{ kg/dm}^3$ e occupa un volume V di 2 m³. Qual è la sua massa espressa in kg?

– Come prima cosa occorre trasformare il volume in dm³: 2 m³ = 2 · 10³ dm³

– Dalla formula inversa si ha: $m = d \cdot V$.

Pertanto, sostituendo i valori otteniamo:

$$m = 10,5 \text{ kg/dm}^3 \cdot 2 \cdot 10^3 \text{ m}^3 = 21 \cdot 10^3 \text{ kg} = 21000 \text{ kg}$$

PROVA TU!

Un liquido ha una densità $d = 0,79 \text{ kg/dm}^3$ e occupa il volume di 0,001 m³. Qual è la sua massa espressa in kg?



La densità è una grandezza che non ha la caratteristica dell'invarianza. Essa infatti dipende dal volume che, come sappiamo, **varia con la temperatura**, e per i gas anche **con la pressione** (Tab. 8). Pertanto, quando si esprime la densità di una sostanza è necessario sempre specificare a quale temperatura e, nel caso dei gas, a quale pressione sono state effettuate le misure.

TAB. 8 Densità di alcune sostanze espresse in g/cm^3 a 0°C e a 1 atmosfera di pressione

Solidi		Liquidi		Gas	
acqua (ghiaccio)	0,92	acetone	0,796	ammoniaca	0,000771
alluminio	2,70	alcol	0,806	biossido di carbonio	0,001977
argento	10,50	benzene	0,879	aria	0,001293
ferro	7,86	glicerina	1,270	azoto	0,001250
oro	19,30	mercurio	13,595	idrogeno	0,000089
piombo	11,30	tetracloruro di carbonio	1,594	metano	0,000716
rame	8,92	acqua (liquida)	1,000	ossigeno	0,001429

Il concetto di densità è sempre associato a quello di peso specifico (*ps*). Tra le due grandezze c'è la stessa relazione che intercorre tra massa e peso. Pertanto:

il **peso specifico** di una sostanza è dato dal rapporto tra il suo peso e il volume occupato.

Quick TEST

Vero o falso?

- La densità è una grandezza derivata. V F
- La densità è una grandezza estensiva. V F
- La densità mette in relazione la massa con la superficie. V F
- Nel SI la densità si misura in kg/m^3 . V F
- La densità è una grandezza invariante. V F
- Il peso specifico è una proprietà caratteristica della materia. V F

6 La temperatura

La **temperatura** è una grandezza intensiva che indica lo **stato termico dei corpi**, cioè la sensazione che nel linguaggio quotidiano esprimiamo con parole come “caldo” e “freddo”. Gli strumenti più comunemente usati per misurare la temperatura sono i termometri. Essi, in realtà, misurano la temperatura in modo indiretto attraverso gli effetti causati dalla sua variazione. Un aumento di temperatura provoca infatti la dilatazione di un corpo e, viceversa, la diminuzione della temperatura ne provoca una contrazione.

Esistono diversi tipi di termometri. Quello maggiormente diffuso è senz'altro il **termometro a liquido**. Il suo funzionamento si basa sulla proprietà che hanno i liquidi, molto più dei solidi, di espandersi con l'aumentare della temperatura.

Il **mercurio** e l'**alcool colorato** sono i liquidi più utilizzati. Lo strumento consiste in un tubo di vetro molto sottile che termina con un bulbo contenente il liquido termometrico (Fig. 7). Anche per un lieve aumento della temperatura l'espansione del liquido, relativamente piccola, è resa evidente dalla sezione ridotta del tubo lungo il quale il liquido è costretto a scorrere.

Per le temperature, a differenza delle masse, non disponiamo di un campione di riferimento, quindi possiamo solo misurare intervalli di temperatura. È necessario pertanto stabilire dei **punti fissi** ai quali fare riferimento, e poi tracciare un'opportuna scala graduata, detta **scala termometrica**. Il termometro a liquido è un classico esempio di strumento tarato, dove per **taratura** si intende il procedimento che determina la corrispondenza fra le indicazioni di una scala graduata e la grandezza da misurare. Nel nostro caso essa può essere effettuata assegnando il valore **zero** al livello raggiunto dal liquido quando il bulbo viene immerso nel ghiaccio in fusione, alla pressione di 1 atm, e assegnando il valore **cento** al livello raggiunto dal liquido quando il bulbo viene immerso nell'acqua in ebollizione, sempre alla stessa pressione.

La distanza del livello del liquido tra i due punti corrisponde a 100 gradi centigradi. Dividendo tale intervallo in 100 parti uguali si ottiene il **grado centigrado**. Questo sistema è quello adottato dalla **scala Celsius** (detta perciò anche **scala centigrada**), che ha come unità di misura il **grado Celsius** ($^{\circ}\text{C}$).

● La scala Kelvin

Nel 1848 il fisico di origine irlandese William Thomson, noto come Lord Kelvin, propose una scala per le temperature assolute, denominata **scala Kelvin**. La scala Kelvin è una scala **centigrada** come la Celsius, e la sua unità di temperatura, il **kelvin** (simbolo **K**) è pari in ampiezza a 1 grado Celsius. Il suo punto di riferimento, però, è lo **zero assoluto**, ossia la temperatura più bassa teoricamente raggiungibile, che corrisponde a $-273,15^{\circ}\text{C}$. Lo zero assoluto è la temperatura alla quale non si può più estrarre calore da un sistema. Il kelvin è oggi accettato come **unità di misura della temperatura del SI**.

Poiché $0\text{ K} = -273,15^{\circ}\text{C}$, il punto di congelamento dell'acqua a 0°C corrisponde a $273,15\text{ K}$, mentre la temperatura di ebollizione dell'acqua (100°C) corrisponde a $100 + 273,15 = 373,15\text{ K}$. La scala Kelvin quindi si differenzia sempre dalla scala Celsius di $273,15$.

Per convertire i gradi Celsius in kelvin, basta aggiungere ai gradi Celsius $+273,15$ unità.

$$^{\circ}\text{C} + 273,15 = \text{K}$$

Viceversa, per convertire i kelvin in gradi Celsius, basta sottrarre dai kelvin $273,15$ unità.

$$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$$

Oltre alla scala Kelvin e alla Celsius, esiste anche la scala **Fahrenheit** ($^{\circ}\text{F}$), molto usata nei paesi anglosassoni e negli Stati Uniti.

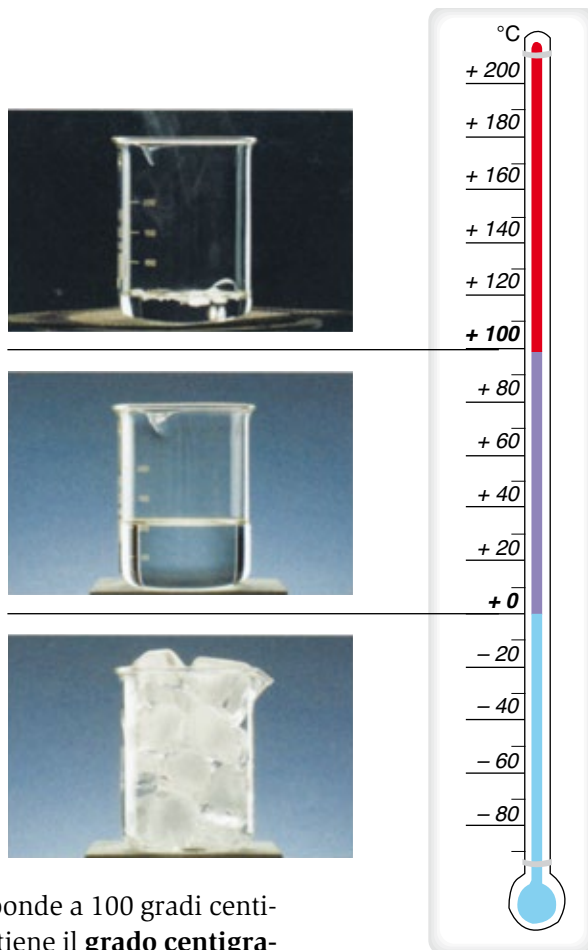
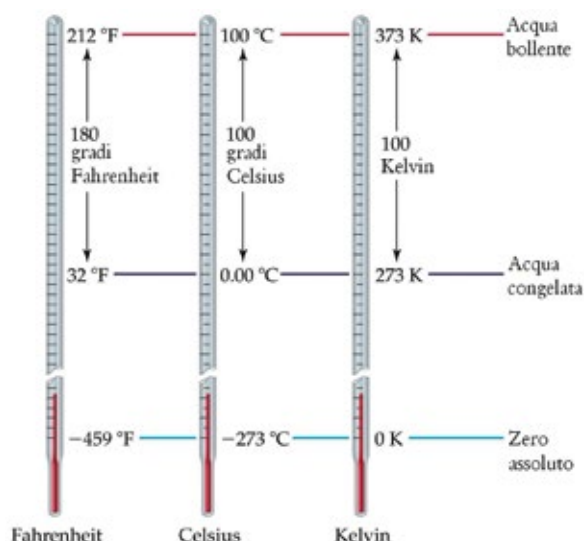


Fig. 7
Termometro a dilatazione liquido.



La temperatura di 0 °C corrisponde a 32 °F, mentre la temperatura di 100 °C corrisponde a 212 °F.

Fig. 8

La temperatura di congelamento e di ebollizione dell'acqua nelle tre scale termometriche. Nota che il numero delle divisioni è di 100 unità nella scala Celsius e nella Kelvin, mentre è di 180 unità nella scala Fahrenheit.

Quick TEST

Vero o falso?

1. La temperatura è una grandezza estensiva. V F
2. Il termometro misura la temperatura per confronto diretto con la sua unità di misura. V F
3. Se la temperatura aumenta, i liquidi si espandono, mentre i solidi no. V F
4. Il grado centigrado è l'unità di misura nel SI. V F
5. L'acqua bolle a 373,16 K. V F
6. L'alcol congela a -25 K. V F
7. L'acqua congela a 32 °F. V F
8. La temperatura 0 K è detta zero assoluto. V F

7 L'energia

La materia è strettamente legata con l'energia, grandezza che riveste un ruolo importante in tutto ciò che riguarda le proprietà e le trasformazioni della materia.

Ma che cosa si intende per "energia"? Certamente è un termine che usiamo spesso nel linguaggio quotidiano, perché essa è alla base di ogni attività. Tuttavia non è facile formulare una definizione. **L'energia non è materia**, ma è qualcosa di insito in essa, una sua proprietà intrinseca che **tende a trasformarsi e a trasferirsi da un corpo a un altro**.

La scienza definisce l'energia come la **capacità di compiere un lavoro**. Si tratta di una **grandezza estensiva**, cioè che dipende dalla massa del corpo. La sua unità di misura nel Sistema Internazionale è il **joule (J)**.

L'energia può assumere **due forme fondamentali**: cinetica e potenziale.

L'**energia cinetica** è quella posseduta da un **corpo in movimento** ed è legata alla massa e alla velocità del corpo.

L'acqua di una cascata, un treno in corsa o le particelle di un gas possiedono appunto questo tipo di energia.

L'**energia potenziale** è quella posseduta da un corpo che si trova in un campo di forze ed è **legata alla posizione** che il corpo occupa in questo campo.

Un esempio di energia potenziale è l'energia gravitazionale, che è dovuta alla forza di attrazione da parte della Terra e che dipende dalla posizione dei corpi rispetto al centro della Terra.

L'energia potenziale è trasformabile in energia cinetica: si pensi ad esempio all'acqua di una diga (**Fig. 9**): quando fluisce a valle, la sua energia potenziale si trasforma in energia cinetica, che a sua volta è in grado di alimentare una centrale idroelettrica. La **somma dell'energia cinetica e potenziale** di un corpo è detta **energia meccanica**.



Fig. 9
L'energia potenziale dell'acqua che esce dalla diga si trasforma in energia cinetica.

L'energia si può presentare sotto diverse altre forme, tra cui ricordiamo:

- **energia termica** o **calore**, prodotto durante le combustioni. In questo caso l'energia termica proviene dalla trasformazione di un altro tipo di energia, l'**energia chimica**;
- **energia elettrica**, che a sua volta può essere trasformata in energia meccanica (motore elettrico) o in energia termica (stufa elettrica) e così via.

Quick TEST

Completa le frasi inserendo le parole mancanti.

1. L'energia è la di compiere lavoro.
2. L'energia cinetica è legata alla e alla di un corpo.
3. Un corpo che si trova in un campo di possiede un'energia che dipende dalla occupata in questo campo.
4. L'energia può da un corpo a un altro.

Scegli il completamento corretto tra quelli proposti.

5. L'energia cinetica è quella posseduta...
 - a da un corpo in movimento b da un corpo posto ad alta quota
 - c da un corpo fermo
6. Un bicchiere posato su un tavolo possiede...
 - a energia cinetica b energia potenziale c energia cinetica e potenziale

8 Il calore

Dall'esperienza quotidiana sappiamo che un corpo può essere riscaldato o raffreddato. In qualche modo, cioè, siamo in grado di far aumentare o diminuire la sua temperatura. "Riscaldare" significa fornire calore e, viceversa, "raffreddare" significa sottrarre calore.

Il calore è dunque la grandezza fisica responsabile delle **variazioni di temperatura dei corpi**: la temperatura aumenta quando il corpo assorbe calore dall'ambiente esterno, diminuisce quando il corpo cede calore all'esterno.



Fig. 10

Il ghiaccio assorbe calore dalla bevanda, che così si raffredda.

Per esempio, l'acqua contenuta in una pentola aumenta la propria temperatura quando viene esposta al fuoco di un fornello, mentre diminuisce la propria temperatura se viene posta a contatto con del ghiaccio (Fig. 10). Dobbiamo, dunque, immaginare che durante il contatto tra due corpi che si trovano a temperature iniziali diverse si verifichi un **trasferimento di calore dal corpo più caldo** (che, perdendo calore, si raffredda) **a quello più freddo** (che, assorbendo calore, si riscalda).

Il calore che si trasferisce da un corpo all'altro è una particolare forma di energia, chiamata **energia termica**.

Il **calore** è quella forma di **energia** che può essere trasferita da un corpo a un altro grazie alla differenza di temperatura esistente tra i due corpi e di conseguenza rappresenta **la causa delle variazioni di temperatura** che i corpi subiscono.

Poiché il calore è una forma di energia, per esprimere la quantità di calore si utilizza il **joule (J)**, l'unità di misura dell'energia nel SI. Nel sistema pratico, tuttavia, l'unità di misura adottata per il calore è la **caloria (cal)**.

La caloria è la **quantità di calore** necessaria per innalzare la temperatura di **1 g di acqua pura da 14,5 °C a 15,5 °C** alla pressione di $1,01 \cdot 10^5$ Pa (cioè **alla pressione atmosferica normale**).

Nel sistema pratico è spesso usata anche la **kilocaloria (kcal)**, che diversamente dalla caloria si riferisce a 1 kg di sostanza.

Per convertire le calorie in joule e viceversa occorre tenere presente che:

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J} \quad \text{e} \quad 1 \text{ kcal} = 10^3 \text{ cal} = 4186 \text{ J}$$

TAB. 2 Calore specifico di alcune sostanze

Sostanza	Calore specifico $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$
acqua	1,00
corpo umano	0,83
legno	0,63
olio	0,58
ghiaccio a 0 °C	0,54
aria	0,24
alluminio	0,22
ferro	0,12
vetro	0,12
rame	0,093
ottone	0,091
argento	0,056
mercurio	0,033
piombo	0,031

● Legge fondamentale della termologia

È opportuno sottolineare che il calore e la temperatura sono grandezze fisiche ben distinte. Il **calore** è un **flusso di energia** che si trasmette da un corpo a un altro. La **temperatura**, invece, è un **indice dello stato termico** di un corpo. Inoltre il calore è una grandezza estensiva, mentre la temperatura è una grandezza intensiva.

Tra queste due grandezze, tuttavia, esiste un'importante relazione detta **legge fondamentale della termologia**: la quantità di calore Q che bisogna fornire a un corpo per innalzare la sua temperatura dal valore iniziale T_1 al valore finale T_2 è direttamente proporzionale alla **differenza di temperatura** $T_2 - T_1$, alla **massa** m del corpo e dipende dal **tipo di sostanza**. Nella relazione:

$$Q = c_s \cdot m \cdot (T_2 - T_1)$$

il coefficiente c_s è il calore specifico ed è una proprietà intrinseca di ogni tipo di sostanza.

Il **calore specifico** c_s di una sostanza è la **quantità di calore** necessaria per aumentare di **1 °C** la temperatura di **1 grammo** di quella sostanza.

ESEMPIO

La temperatura di 100 g di acqua viene fatta aumentare di 30 °C. Quanto calore è stato fornito?

– Il calore specifico dell'acqua è 1 cal/g °C. Il calore fornito si ricava dalla relazione:

$$Q = c_s \cdot m \cdot \Delta T$$

– Sostituendo i valori troviamo:

$$Q = 1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C} \cdot 100 \text{ g} \cdot 30 \text{ } ^\circ\text{C} = 3000 \text{ cal} = 3 \text{ kcal}$$

PROVA TU!

Calcola di quanto aumenta la temperatura:

- di 200 g di acqua se vengono fornite 4 kcal di calore;
- di 100 g di olio se vengono fornite 8 kcal di calore.

Quick TEST

Completa le frasi inserendo le parole mancanti.

- Il calore fornito a un corpo è proporzionale all'aumento di che il corpo subisce, alla del corpo e dipende dal tipo di
- Una caloria è la di calore necessaria per la temperatura di di da 14,5 °C a alla pressione atmosferica normale.
- Il calore si trasferisce da un corpo più caldo, che si a un corpo più, che si riscalda.

9 La notazione scientifica

Quando si ha a che fare con numeri molto grandi o molto piccoli, si può incorrere facilmente in errori di calcolo dovuti al fatto di dover manipolare numeri con parecchie cifre. Per esempio, se dovessimo eseguire la seguente moltiplicazione:

$$402\ 000\ 000\ 000 \cdot 0,000\ 032$$

saremmo in difficoltà per la presenza di un numero eccessivo di zeri.

Si preferisce allora scrivere i numeri di questo tipo nella forma cosiddetta esponenziale, meglio conosciuta come **notazione scientifica**, in cui il numero di partenza viene espresso come il **prodotto tra un numero** (compreso tra 1 e 10) **e una potenza del 10**. In pratica, per scrivere qualsiasi numero sotto questa forma basta spostare la virgola in modo che alla sinistra di essa ci sia una sola cifra diversa da zero e tenendo tutte le altre cifre significative a destra della virgola. Per esempio, il numero

$$402\ 000\ 000\ 000$$

si scriverà 4,02 se siamo certi che gli zeri a destra non sono cifre significative. Si ottiene così un numero maggiore o uguale a 1, ma comunque inferiore al 10. Adesso, usando le potenze del 10, bisogna rendere il numero così ottenuto di valore uguale a quello di partenza. Dato che nel numero assegnato la virgola è stata spostata di 11 posti a sinistra, la potenza del 10 cercata è 10^{11} . Pertanto si ha:

$$\overleftarrow{402\ 000\ 000\ 000} \rightarrow 4,02 \cdot 10^{11}$$



Nel caso del numero 0,000032, dato che la virgola deve essere spostata a destra, la potenza del 10 avrà segno negativo:

$$0, \overbrace{000}^{\rightarrow} 032 \rightarrow 3,2 \cdot 10^{-5}$$

Per calcolare il nostro prodotto, possiamo applicare ora la notazione scientifica:

$$\begin{aligned} 402\,000\,000\,000 \cdot 0,000\,032 &= \\ 4,02 \cdot 10^{11} \cdot 3,2 \cdot 10^{-5} &= (4,02 \cdot 3,2) \cdot (10^{11} \cdot 10^{-5}) = \\ 12,864 \cdot 10^{11} \cdot 10^{-5} &= 12,864 \cdot 10^6 = 1,2864 \cdot 10^7 \end{aligned}$$

La notazione scientifica offre anche un altro vantaggio: l'esponente della potenza del 10, detto **ordine di grandezza** del numero, ci mette in grado di confrontare rapidamente due numeri all'apparenza anche molto diversi. Confrontare, per esempio, in maniera immediata i due numeri seguenti non è facile:

$$\begin{aligned} n_1 &= 0,000\,001 \cdot 10^7 \\ n_2 &= 100\,000 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

ma, in notazione scientifica:

$$\begin{aligned} n_1 &= 1 \cdot 10^{-6} \cdot 10^7 = 1 \cdot 10 \\ n_2 &= 1 \cdot 10^5 \cdot 10^{-4} = 1 \cdot 10 \end{aligned}$$

scopriamo che i due numeri n_1 e n_2 sono uguali.

ESEMPIO

Proviamo a convertire nella notazione scientifica i numeri 4 200 000 e 0,00 000 025.

- Poiché il primo numero è molto grande spostiamo verso sinistra la virgola fino alla prima cifra significativa, nel nostro caso di sei posti: 4,200 000
- Pertanto, poiché abbiamo spostato di sei posti la virgola, 6 sarà l'esponente da attribuire alla potenza di 10.
- La potenza del 10 sarà pertanto 10^6
- La notazione scientifica del numero assegnato diventa quindi: $4,2 \cdot 10^6$
- Nel secondo caso, invece, trattandosi di un numero molto piccolo, dovremo spostare la virgola verso destra fino a incontrare la prima cifra significativa, nel nostro caso di sette posti: 00 000 002,5

- L'esponente da dare al 10 in questo caso porterà il segno –
- La potenza di 10 quindi è 10^{-7}
- La notazione scientifica del numero assegnato diventa: $2,5 \cdot 10^{-7}$

PROVA TU!

Converti nella notazione scientifica:

- a. il diametro della Terra = 12 800 000 m;
- b. la distanza fra Proxima Centauri e la Terra = 40 000 000 000 000 000 m;
- c. la distanza tra Plutone e il Sole = 5 900 000 000 000 m;
- d. la lunghezza di un paramecio = 0,0003 m;
- e. la massa dell'elettrone = 0,00 000 000 000 000 000 000 911 g.

Quick TEST

Vero o falso?

1. Nella notazione scientifica a sinistra della virgola ci stanno due cifre significative. V F
2. Nella notazione scientifica il fattore che moltiplica la potenza di 10 è un numero sempre maggiore o uguale a 1, ma inferiore a 10. V F
3. La notazione scientifica è un modo approssimato per esprimere un numero. V F
4. Nella notazione scientifica l'esponente della potenza di 10 esprime l'ordine di grandezza del numero. V F

QUESITI

- Che cos'è una grandezza fisica?
- Che cosa significa dare una definizione operativa di una grandezza fisica?
- Qual è la differenza tra una misura diretta e una misura indiretta?
- Come viene definito il litro?
- Qual è l'unità di misura della massa nel SI?
- In quali unità di misura si esprime la densità?
- Su quale proprietà si basa il funzionamento di un termometro a liquido?
- A quali punti fissi fa riferimento la scala Celsius?
- A quale valore della scala Celsius corrisponde 0 K?
- Definisci l'energia ed elenca le sue proprietà.
- Quali sono le forme fondamentali dell'energia?
- Che cos'è il calore?
- Come viene definita la calorìa?

COSTRUISCI LE ABILITÀ

1 Le grandezze fisiche

2 Il Sistema Internazionale

- La misura del volume di un cubetto di legno eseguita con il righello, è una misura
 - indiretta
 - diretta
 - derivata
- Indica quale, tra le seguenti, è un'unità di misura del Sistema Internazionale:

<input type="checkbox"/> millimetro	<input type="checkbox"/> secondo
<input type="checkbox"/> grammo	<input type="checkbox"/> litro
- Scrivi il nome e il simbolo per i seguenti prefissi:

a. $1 \cdot 10^9$	c. $1 \cdot 10^{-3}$
b. $1 \cdot 10^3$	d. $1 \cdot 10^{-9}$

3 La dimensione dei corpi

4 La massa

5 La densità

- Un pezzo di quarzo è stato tagliato per ottenere un solido a forma di parallelepipedo le cui dimensioni sono $5 \text{ cm} \cdot 5 \text{ cm} \cdot 0,25 \text{ cm}$. Calcola il suo volume in cm^3 .
- Indica, tra le seguenti, l'unica affermazione errata.
 - L'unità di misura nel SI della massa è il grammo
 - La massa è una grandezza fisica invariante
 - La massa si misura con la bilancia a due bracci
 - A $4 \text{ }^\circ\text{C}$, 1 L di acqua ha una massa di 1 kg
- La densità è una grandezza derivata che esprime
 - il volume unitario che equivale alla massa unitaria
 - la quantità di materia di cui è costituito un corpo
 - la massa volumica, cioè la massa nell'unità di volume
 - il rapporto tra il volume e la massa di un corpo
- Stabilisci, tra le seguenti affermazioni, qual è quella errata.
 - La densità è una grandezza invariante
 - La densità è una grandezza derivata
 - La densità è una grandezza intensiva
 - La densità si misura con un metodo indiretto

6 La temperatura

7 L'energia

8 Il calore

9 La notazione scientifica

- Converti le seguenti temperature dalla scala Celsius a quella Kelvin:

a. $-4 \text{ }^\circ\text{C} = \dots\dots\dots \text{ K}$	c. $293 \text{ }^\circ\text{C} = \dots\dots\dots \text{ K}$
b. $25 \text{ }^\circ\text{C} = \dots\dots\dots \text{ K}$	d. $0 \text{ }^\circ\text{C} = \dots\dots\dots \text{ K}$
- Converti le seguenti temperature dalla scala Kelvin a quella Celsius:

a. $0 \text{ K} = \dots\dots\dots \text{ }^\circ\text{C}$	c. $273 \text{ K} = \dots\dots\dots \text{ }^\circ\text{C}$
b. $100 \text{ K} = \dots\dots\dots \text{ }^\circ\text{C}$	d. $300 \text{ K} = \dots\dots\dots \text{ }^\circ\text{C}$



- 23** Stabilisci quale forma di energia corrisponde a ciascuna delle seguenti caratteristiche:
- è legata alla posizione
 - è la somma di energia potenziale e cinetica
 - dipende dalla temperatura del corpo
 - è legata al movimento
- 24** Indica quale delle seguenti affermazioni sull'energia è errata:
- può trasferirsi da un corpo all'altro
 - è una grandezza intensiva
 - si misura in Joule
 - è insita nella materia
- 25** Se due quantità di acqua con massa uguale rispettivamente a $m_1 = 2$ kg e $m_2 = 4$ kg vengono poste su due fornelli identici e riscaldate per lo stesso tempo:
- le temperature di m_1 e m_2 aumentano della stessa quantità
 - la variazione di temperatura di m_1 è il doppio di quella di m_2
 - la variazione di temperatura di m_2 è il doppio di quella di m_1
 - la variazione di temperatura di m_1 è minore di quella di m_2
- 26** Per esprimere le seguenti equivalenze, scrivi il corretto esponente per la potenza di 10:
- $71 \text{ g} = 7,1 \cdot 10^{\dots} \text{ kg}$
 - $35 \text{ kg} = 3,5 \cdot 10^{\dots} \text{ g}$
 - $30 \text{ t} = 3,0 \cdot 10^{\dots} \text{ kg}$
 - $42 \text{ kg} = 4,2 \cdot 10^{\dots} \text{ mg}$

COSTRUISCI LE COMPETENZE

- 27** Un pezzo di ottone a sezione rettangolare di dimensioni 4,95 cm e 2,45 cm ha un volume di 15,3 cm³. Qual è il suo spessore?
- 28** Immergendo in un cilindro graduato da 10 mL, contenente 4,5 mL di acqua, un rubino, il livello dell'acqua s'innalza a 5,5 mL. Qual è il volume di questa gemma?
- 29** In una bottiglia contenente 0,5 L di acqua, viene disciolto del sale da cucina. La massa totale della bottiglia, contenente l'acqua e il sale, è di 1 kg.
- Calcola:
- la massa dell'acqua contenuta nella bottiglia (espressa in unità del SI) assumendo la sua densità 1 g/cm³;
 - la massa del sale aggiunto, se la bottiglia vuota ha una massa di 250 g.
- 30** Calcola in grammi la massa di ciascuna delle seguenti sostanze:
- 250 mL di benzina ($d = 0,69$ g/mL)
 - 150 mL di metanolo ($d = 0,79$ g/mL)
- 31** Calcola il volume in mL dei seguenti solidi:
- 1 kg di ferro ($d = 7,87$ g/cm³)
 - 1 kg di titanio ($d = 4,51$ g/cm³)
- 32** Calcola la densità, in g/mL, delle seguenti sostanze:
- 25 mL di alcol etilico avente una massa di 19,7 g;
 - 11,6 g di marmo il cui volume misura 4,1 mL.
- 33** Calcola la quantità di calore necessaria per scaldare un blocchetto di alluminio di 10 kg da 0 °C a 40 °C (il calore specifico dell'alluminio: 0,22 kcal/kg °C). [88 kcal]
- 34** Calcola il calore specifico del rame, sapendo che per poter scaldare 10 g di rame da 293 K a 353 K è necessario un assorbimento di calore pari a 55,8 cal. [0,093 cal/g °C]
- 35** Cedendo 186 cal, un blocco di 1 kg di metallo si raffredda di 2 °C. Di che metallo si tratta? [rame]
- 36** Fornendo 300 kcal a una massa di 10 kg di acqua, la sua temperatura sale a 50 °C. Qual era la sua temperatura iniziale? [20 °C]
- 37** Scrivi in notazione scientifica i seguenti numeri:
- $0,0782 \cdot 10^3$
 - $28,54 \cdot 10^{-5}$
 - $0,0000000287 \cdot 10^4$
 - $6,42 \cdot 10^{-5} \cdot 10^8$
- 38** Trasforma i seguenti numeri esponenziali in numeri decimali:
- $5,75 \cdot 10^{-3}$
 - $199 \cdot 10^2$
 - $2,7 \cdot 10^{-4}$
 - $763 \cdot 10^5$