

Le misure e le grandezze

ABILITÀ

- Utilizzare le unità di misura e i prefissi del Sistema Internazionale (SI) nella risoluzione dei problemi.
- Distinguere le grandezze estensive dalle grandezze intensive.
- Spiegare alcune proprietà della materia in termini di energia cinetica, di energia potenziale e di temperatura.

La **chimica** è la scienza che studia la composizione, la struttura e le trasformazioni della materia.

La chimica si basa sulla teoria che tutta la materia, con poche eccezioni, è formata da **molecole** e da **ioni**. Le molecole sono fatte dall'unione di **atomi**, particelle elementari elettricamente neutre; gli ioni sono atomi elettricamente carichi.

Gli atomi sono senza età; passano da una sostanza all'altra, da un corpo all'altro e da un organismo all'altro. Gli atomi del nostro corpo esistevano già prima di noi e, dopo di noi, saranno riciclati da altri organismi.

Durante la nostra vita, sicuramente abbiamo respirato almeno una molecola dell'aria già respirata da famosi personaggi storici come Cesare, Gesù, Galileo (Figura 1.1).

Ma come possiamo conoscere la composizione e la struttura della materia? Il grande sviluppo delle scienze sperimentali deriva, essenzialmente, dalla capacità di effettuare misure sempre più rigorose e di interpretare i fatti accertati per via sperimentale. Misurare significa conoscere.

L'affermazione, tuttavia, ha senso soltanto se si stabiliscono regole precise, cioè se si fissano le **unità di misura** e le metodologie per raccogliere e analizzare i dati sperimentali.

1. Il Sistema Internazionale di unità di misura

I numeri che si usano in fisica e in chimica derivano spesso da un esperimento di misura. In questi casi si fa frequentemente uso di quantità dimensionate, cioè di numeri che moltiplicano un'unità di misura:

- 59 m rappresenta una lunghezza
- 59 kg rappresenta una massa
- 59 m³ rappresenta un volume
- 59 è un numero puro

Lo stesso numero, moltiplicato per unità di misura diverse, ha un significato fisico diverso. L'unità di misura scelta ci consente di confrontare i risultati di altre misure con le nostre.

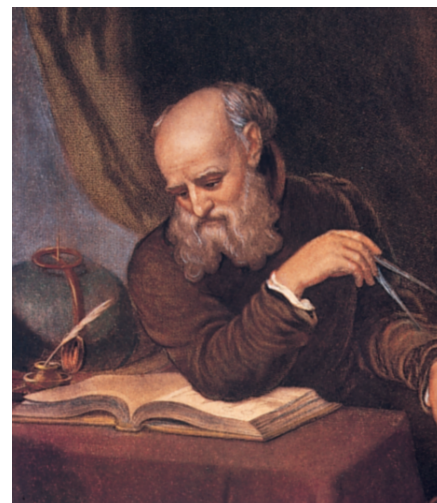


FIGURA 0.1 Galileo Galilei (Pisa, 15 febbraio 1564 - Arcetri, 8 gennaio 1642).



Any substance which has mass and occupies space.

grandezze fisiche

Le grandezze che si possono misurare si chiamano grandezze fisiche.

La comunità scientifica internazionale ha identificato sette grandezze indipendenti, le grandezze **fondamentali**, dalle quali possono essere ricavate tutte le altre (grandezze **derivate**). Il sistema metrico fondato sulle sette grandezze fondamentali è chiamato *Sistema Internazionale di unità* (abbreviato in SI).

A ciascuna grandezza fondamentale è stata assegnata una propria unità di misura (**Tabella 0.1**).

TABELLA 0.1 Le grandezze fondamentali e le loro unità di misura.

Grandezza fisica	Simbolo della grandezza	Nome dell'unità di misura	Simbolo dell'unità di misura
lunghezza	l	metro	m
massa	m	kilogrammo	kg
tempo	t	secondo	s
corrente elettrica	I	ampere	A
temperatura	T	kelvin	K
quantità di sostanza	n	mole	mol
intensità luminosa	i_v	candela	cd

Dalla combinazione algebrica (moltiplicazioni e divisioni) delle sette unità fondamentali si possono ottenere le unità di misura delle grandezze derivate (**Tabella 0.2**).

TABELLA 0.2 Alcune grandezze derivate.

Grandezza fisica	Nome dell'unità di misura	Simbolo dell'unità di misura	Definizione dell'unità di misura
area	metro quadrato	m^2	
volume	metro cubo	m^3	
densità o massa volumica	kilogrammo al metro cubo	kg/m^3	
forza	newton	N	$N = kg \cdot m/s^2$
pressione	pascal	Pa	$Pa = N/m^2$
energia, lavoro, calore	joule	J	$J = N \cdot m$
velocità	metri al secondo	m/s	
accelerazione	metri al secondo quadrato	m/s^2	
potenza	watt	W	$W = J/s$
carica elettrica	coulomb	C	$C = A \cdot s$
differenza di potenziale elettrico, forza elettromotrice	volt	V	$V = J/C$
resistenza	ohm	Ω	$\Omega = V/A$
frequenza	hertz	Hz	$Hz = 1/s$

Spesso in fisica e in chimica si usano multipli e sottomultipli dell'unità di misura. A ogni multiplo o sottomultiplo corrispondono un *prefisso*, che deve precedere, senza spazi, il nome dell'unità di misura, e un *simbolo*, da anteporre al simbolo dell'unità di misura (Tabella 0.3).

TABELLA 0.3 Principali prefissi delle unità di misura.

Sottomultiplo	Prefisso	Simbolo	Multiplo	Prefisso	Simbolo
10^{-1}	deci-	d-	10^1	deca-	da-
10^{-2}	centi-	c-	10^2	etto-	h-
10^{-3}	milli-	m-	10^3	kilo-	k-
10^{-6}	micro-	μ -	10^6	mega-	M-
10^{-9}	nano-	n-	10^9	giga-	G-
10^{-12}	pico-	p-	10^{12}	tera-	T-
10^{-15}	femto-	f-	10^{15}	peta-	P-
10^{-18}	atto-	a-	10^{18}	exa-	E-

Nel prossimo paragrafo passeremo in rassegna le principali grandezze, sia fondamentali (come la lunghezza) sia derivate (come la densità e il volume).

2. Grandezze estensive e grandezze intensive

Le grandezze che descrivono le proprietà della materia sono di due tipi: le grandezze **estensive** e le grandezze **intensive** (Tabella 0.4).

TABELLA 0.4 Le proprietà della materia.

	Proprietà intensive	Proprietà estensive
Definizione	non dipendono dalla dimensione del campione	dipendono dalla dimensione del campione
Esempi	peso specifico	massa
	densità	volume
	temperatura di ebollizione	lunghezza

Sono estensive le proprietà fisiche di un materiale o di una sostanza che dipendono dalla dimensione del campione: la massa, il peso, la lunghezza, il volume, l'energia. Sono intensive le proprietà fisiche di un materiale che non dipendono dalla dimensione del campione. Esse, infatti, sono tipiche di quel materiale o di quella sostanza (per esempio, la densità, la temperatura di ebollizione).

La lunghezza

L'unità di misura della **lunghezza** nel SI è la *metro*, m. L'antico metro campione, in platino-iridio, è tutt'ora conservato a Sèvres, vicino a Parigi. Oggi l'unità standard si ricava misurando lo spazio percorso dalla luce nel vuoto durante un intervallo di tempo pari a $1/299\,792\,458$ secondi.

Spesso il valore di una grandezza viene espresso ricorrendo alla *notazione scientifica* esponenziale. Il numero viene scritto come prodotto di due fattori: il primo è compreso tra 1 e 10 ($1 \leq x < 10$), il secondo è una potenza di 10. I numeri compresi tra 0 e 1 si possono scrivere usando esponenti negativi.

I principali sottomultipli del metro sono:

1 decimetro	= 1 dm	= 0,1 metri	= $1 \cdot 10^{-1}$ m
1 centimetro	= 1 cm	= 0,01 metri	= $1 \cdot 10^{-2}$ m
1 millimetro	= 1 mm	= 0,001 metri	= $1 \cdot 10^{-3}$ m
1 micrometro	= 1 μ m	= 0,000001 metri	= $1 \cdot 10^{-6}$ m
1 nanometro	= 1 nm	= 0,000000001 metri	= $1 \cdot 10^{-9}$ m
1 ångström	= 1 Å	= 0,0000000001 metri	= $1 \cdot 10^{-10}$ m

PROVA TU

Calcola il tempo che trascorrerai a scuola oggi in nanosecondi.

Le dimensioni di atomi e molecole e le lunghezze d'onda della luce si misurano comunemente in *nanometri*. Raramente si usa come unità l'*ångström*, un'unità di misura che non fa parte del Sistema Internazionale. Fra i due sottomultipli del metro c'è la seguente relazione: $10 \text{ Å} = 1 \text{ nm}$.

ESEMPIO

L'atomo d'oro ha un diametro di circa $1,44 \cdot 10^{-10}$ m. Calcola il diametro in nanometri e in ångström.

Soluzione Devi trasformare i metri in nanometri: sapendo che $1 \text{ nm} = 1 \cdot 10^{-9}$ m, il diametro è uguale a 0,144 nm, cioè a 1,44 Å, poiché $1 \text{ Å} = 1 \cdot 10^{-10}$ m.

Il tempo

Fino al 1956, il *secondo* (s) veniva definito con riferimento al giorno solare medio. Sapendo che un giorno è formato da 24 ore e ciascuna ora da 3600 secondi ($60 \text{ min} \cdot 60 \text{ s}$), un giorno è «scandito» da 86 400 secondi. Pertanto, il secondo rappresenta la $1/86\,400$ parte di un giorno solare medio.

Oggi il secondo è definito come l'intervallo di tempo necessario alla radiazione emessa dal cesio-133 (^{133}Cs) per produrre 9 192 631 770 vibrazioni.

Il volume

Le misure di **volume** sono molto frequenti nel laboratorio di chimica e nella vita quotidiana (per lo più si tratta di misure di liquidi). Il volume è una grandezza derivata da una lunghezza (elevata al cubo) e la sua unità di misura nel SI è il *metro cubo*, m^3 . Inoltre, il volume si può esprimere anche in *decimetri cubi* o in *litri*:

$$1 \text{ litro} = 1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 10 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm} = 1000 \text{ cm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$$

L'equivalenza mostra che il cm^3 (centimetro cubo, a volte indicato anche con «cc») è la millesima parte del litro, pertanto viene anche detto *millilitro*. Il simbolo del millilitro è mL (Figura 1.2).

ESEMPIO

Converti in litri un volume d'aria pari a 1 km^3 .

Soluzione Trasforma i km in metri e poi in decimetri.
 $1 \text{ km} = 1000 \text{ m} = 10\,000 \text{ dm} = 1 \cdot 10^4 \text{ dm}$
 Sapendo che $1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3$, dovrai elevare al cubo i dm ottenuti:
 $1 \text{ km}^3 = (10^4 \text{ dm})^3 = 1 \cdot 10^{12} \text{ dm}^3 = 1 \cdot 10^{12} \text{ L}$

La massa e il peso

Ogni cosa è attratta dalla Terra. I corpi cadono perché la Terra esercita su di essi una forza, che noi chiamiamo *forza di gravità*, o semplicemente *gravità*. Tale forza agisce su tutti gli oggetti, grandi e piccoli. Sulla cima dell'Everest, il peso di un oggetto è minore che sulla riva del mare (la differenza è pari circa allo 0,25%), perché la forza di gravità diminuisce al crescere della distanza dal centro della Terra. Perciò, il **peso** di un corpo (che è una forza e si misura in newton) cambia da un posto all'altro della superficie terrestre e da un pianeta all'altro.

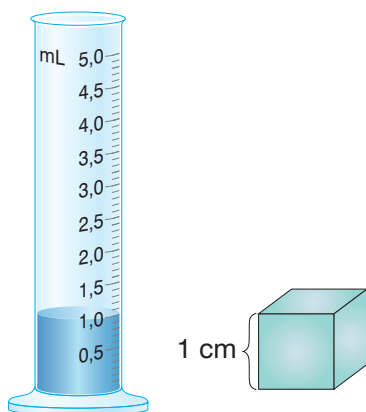


FIGURA 0.2 1 mL è uguale a 1 cm^3 .

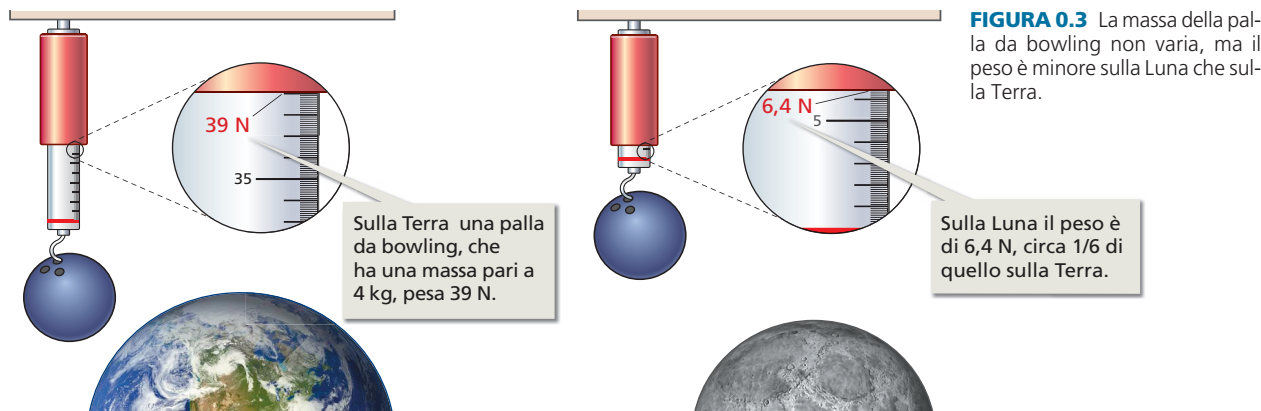


FIGURA 0.3 La massa della palla da bowling non varia, ma il peso è minore sulla Luna che sulla Terra.

Sulla Luna (**Figura 0.3**), la forza di gravità è sei volte più bassa che sulla Terra. Un astronauta che sulla Terra ha un peso di 800 N, sulla Luna peserà $800/6 \text{ N} = 133 \text{ N}$. La misura si effettua con la bilancia a molla o dinamometro.

La **massa** dell'astronauta, però, sarà la stessa sulla Terra, sulla Luna o su qualsiasi corpo celeste.

La definizione operativa della massa è la seguente:

La massa è la quantità di materia di un corpo, che si misura con la bilancia a due bracci.

massa

Siccome *la massa è una proprietà fondamentale della materia*, non può variare da un posto all'altro, come accade per il peso. Ma come misurarla? La massa si misura per mezzo di una bilancia a due piatti e due bracci uguali (**Figura 0.4**). Sul primo piatto si pone l'oggetto del quale si vuole conoscere la massa: sull'altro lo si «bilancia» con masse note (i famosi «pesi» che fanno parte del corredo dello strumento).



Mass

The quantity of matter in a sample.

FIGURA 1.4 Una classica bilancia a due piatti e due bracci.

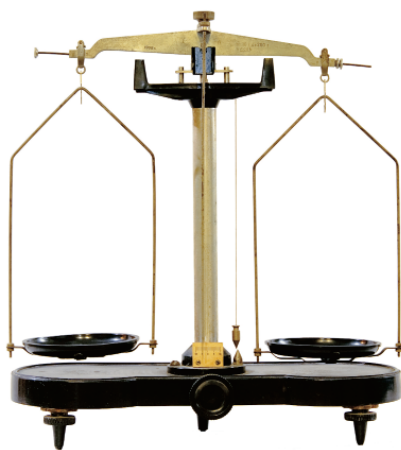


FIGURA 0.5 Una bilancia elettronica.

Quando le masse sui piatti sono uguali, la Terra esercita la stessa forza di attrazione su ciascuno dei due piatti, che quindi si pongono allo stesso livello.

Le moderne bilance elettriche ed elettroniche, anche se profondamente diverse dalla bilancia a due piatti e due bracci, adottano in pratica lo stesso principio fisico del confronto dei pesi (**Figura 0.5**).

PROVA TU

La massa di un'automobile è di 900 kg. Qual è il suo peso espresso in newton?

PROVA TU

Con la bilancia del laboratorio, o altre bilance, verifica la massa delle monete da 10, 20, 50 centesimi di euro.

L'unità di massa prescelta dal Sistema Internazionale è il *kilogrammo* (kg), il cui campione, un cilindro di platino-iridio, è conservato a Sèvres, in Francia.

Come abbiamo già detto, il peso si misura in *newton* (N), che è l'unità di misura della forza nel SI (Tabella 0.5).

La forza peso è data dal prodotto della massa (in kg) per l'accelerazione di gravità:

$$P = m \cdot g$$

dove g è l'accelerazione di gravità media sulla superficie terrestre, ed è pari a $9,8 \text{ m/s}^2$. Sulla cima dell'Everest, $g = 9,5 \text{ m/s}^2$ mentre sul livello del mare, alla stessa latitudine dell'Everest, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.



Weight

A measure of Earth's gravitational attraction on a body.

TABELLA 0.5 La massa e il peso.

	Massa, m	Peso, P
Definizione	È la quantità di materia di un corpo	È la forza di gravità che si esercita su ogni oggetto vicino a un corpo celeste
Metodo di misura	bilancia a due piatti e due bracci	dinamometro
Unità di misura	kg	N
Caratteristiche	Rimane la stessa in tutti i luoghi	Cambia da luogo a luogo, a seconda del valore dell'accelerazione di gravità
Relazione	$P = m \cdot g$ Il peso P è, in ogni luogo, proporzionale alla massa m e al valore locale dell'accelerazione di gravità g	

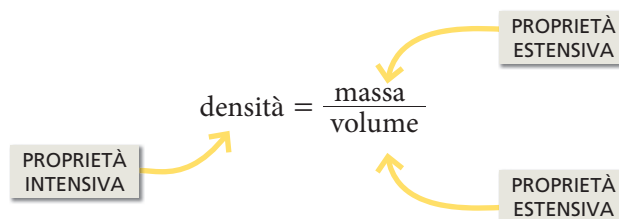


FIGURA 0.6 L'olio è meno denso dell'acqua.

Una proprietà intensiva della materia: la densità

Provate a farvi questa domanda: quale materiale è più denso, l'acqua o l'olio? Di solito si risponde, sbagliando, l'olio. I fatti ci dimostrano il contrario: l'olio, proprio perché è meno denso, galleggia sull'acqua e non affonda (Figura 0.6).

Ogni materiale ha una **densità** caratteristica, che si determina calcolando il rapporto tra la massa e il volume di un campione di tale materiale.



La densità è una *proprietà intensiva* della materia e, come vedremo meglio nella prossima unità, varia al variare della temperatura del campione. Per quasi tutti i materiali, l'aumento di temperatura fa diminuire la densità, perché aumenta il volume. Soltanto il ghiaccio e poche altre sostanze fanno eccezione a questa regola (Tabella 0.6).

Secondo il SI la *densità assoluta* si misura in kg/m^3 :

$$d = \frac{m}{V} \text{ d } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Nell'uso comune si usano anche il grammo (g) per la massa e il millilitro (mL) o il centimetro cubo (cm^3) per il volume.



Density

The mass of an object divided by its volume.

Come si passa da $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ a $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$?

$$1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{10^3 \text{g}}{10^6 \text{cm}^3} = \frac{\text{g}}{10^3 \text{cm}^3} = 10^{-3} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 0,001 \text{g/cm}^3$$

La densità dei gas si misura in grammi per litro (g/L).

TABELLA 0.6 La densità assoluta di alcuni materiali solidi, liquidi e gassosi.

Solidi	Densità a 20 °C (g/cm ³)	Liquidi	Densità a 20 °C (g/cm ³)
acciaio	7,86	aceto	1,01
alluminio	2,7	acqua ²	1,00
amianto	da 2,1 a 2,8	alcol etilico	0,79
ardesia	da 2,65 a 2,70	benzina	0,67
argento	10,5	benzene	0,879
basalto	da 2,70 a 3,2	petrolio	da 0,80 a 0,82
bronzo	8,44	mercurio	13,6
carbon fossile	da 1,2 a 1,5	olio di oliva	0,92
carbone di legna	0,4	sangue	1,06
carta	0,70		
cemento	da 0,82 a 1,95		
cristallo	2,6		
ferro	7,88		
gesso	da 0,97 a 1,25		
ghiaccio ¹	0,92		
ghisa	da 6,7 a 7,8		
granito	da 2,51 a 3,05		
legno	da 0,8 a 0,9		
litio	0,53		
marmo	da 2,7 a 2,8		
mattoni comuni	1,4 a 1,6		
mica	da 2,65 a 3,20		
naftalina	1,15		
oro	19,3		
ottone	da 8,4 a 8,7		
PEHD (polimero)	0,9		
piombo	10,64		
platino	21,4		
PVC (polimero)	da 1,3 a 1,4		
rame	8,9		
sale	2,16		
sodio	0,97		
stagno	7,4		
sughero	0,21		
vetro	da 2,5 a 2,8		
zinco	7,0		
zolfo	da 1,93 a 2,07		

Gas	Densità a 20 °C (g/L)
aria	1,29
azoto	1,25
cloro	3,0
diossido di carbonio	1,98
idrogeno	0,089
ossigeno	1,43

² valore a 4 °C

¹ valore a 0 °C

ESEMPIO

Di due lingotti di oro puro, il primo ha una massa di 13,5 kg e un volume di 699 cm³, il secondo ha una massa di 500 g e un volume di 25,9 cm³. Qual è la densità dei due lingotti?

Soluzione Calcola la densità inserendo i dati nella formula:

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

$$\text{primo lingotto: } d = \frac{13500 \text{ g}}{699 \text{ cm}^3} = 19,3 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{secondo lingotto: } d = \frac{500 \text{ g}}{25,9 \text{ cm}^3} = 19,3 \text{ g/cm}^3$$

Le masse e i volumi dei due lingotti sono molto diversi, ma la loro densità, cioè il rapporto massa/volume, è una proprietà intensiva caratteristica del materiale di cui sono costituiti.

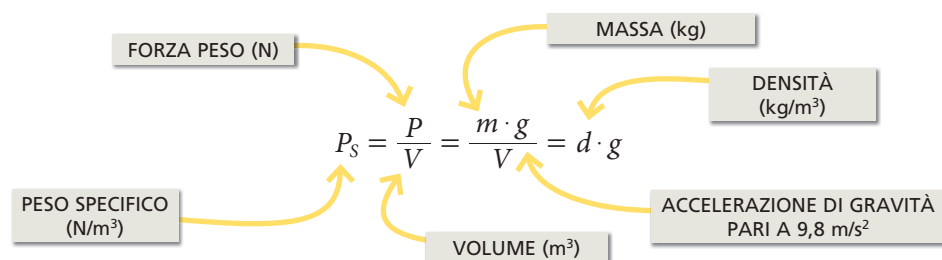
La densità assoluta dipende, quindi, dal materiale, dalla sua temperatura e dalla sua pressione (specialmente per i gas).

La *densità relativa* esprime invece il rapporto tra la massa di un corpo, misurata a 20 °C, e la massa di un uguale volume di acqua distillata, misurata a 4 °C; si tratta perciò di un numero puro (Tabella 0.7).

TABELLA 0.7 La densità relativa di alcuni materiali.

Materiale	Densità relativa
acqua pura	1,00
alcol etilico	0,794
alluminio puro	2,7
argento	10,5
ferro puro	7,88
naftalene	1,15
oli vegetali	da 0,92 a 0,946
piombo	10,64
rame	da 8,3 a 8,9
sughero	0,24

Bisogna ricordare, infine, che la densità ha un significato diverso rispetto al **peso specifico**, che esprime il rapporto tra il peso di un corpo e il suo volume:



Anche il peso specifico è una *proprietà intensiva* della materia; la sua unità di misura è N/m³.

3. Energia: la capacità di compiere lavoro e di trasferire calore

Tutti parlano di energia: energia elettrica, energia solare, energia termica, energia chimica. Ma che cos'è l'**energia**? La definizione più comune è la seguente:

L'energia è la capacità di un corpo di eseguire lavoro e di trasferire calore.

Il lavoro fatto da una forza costante, applicata a un oggetto che si sposta nella stessa direzione e nello stesso verso della forza, è definito dal prodotto della forza per lo spostamento dell'oggetto:

$$L = F \cdot s$$

Diagramma: LAVORO (sotto L), FORZA (sopra F), SPOSTAMENTO (sotto s). Freccie gialle collegano LAVORO a L, FORZA a F, SPOSTAMENTO a s, e L a L.

Energia e lavoro, nel SI, hanno la stessa unità di misura: il *joule* (J).

$$J = N \cdot m = \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$$

In biochimica è anche molto usata la *caloria* (cal), definita come la quantità di calore necessaria per riscaldare 1 g d'acqua da 14,5 a 15,5 °C; la caloria non fa parte del Sistema Internazionale.

La caloria e il joule sono fra loro legati dalla seguente equivalenza:

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$$

L'energia cinetica

Qualsiasi oggetto in movimento è capace di produrre lavoro.

Chiamiamo energia cinetica l'energia dovuta al movimento dei corpi.

L'energia cinetica di un oggetto la cui velocità sia molto più piccola di quella della luce si calcola con la formula:

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Diagramma: ENERGIA CINETICA (sotto E_c), MASSA (sopra m), VELOCITÀ (sotto v). Freccie gialle collegano ENERGIA CINETICA a E_c, MASSA a m, VELOCITÀ a v, e E_c a E_c.

La relazione vale sia per una palla da tennis, sia per un atomo, sia per un'auto.

L'energia potenziale

L'energia chimica contenuta nei combustibili e nei cibi è **energia potenziale**; tale energia è trasformabile in calore, o in altra forma di energia, mediante reazioni chimiche. Analogamente, un corpo di massa *m* sollevato a un'altezza *h* dal suolo possiede un'energia potenziale *gravitazionale*, che viene restituita quando scende a livello del suolo.

L'energia posseduta dagli oggetti, in virtù della loro posizione o composizione, è denominata energia potenziale.

L'energia potenziale gravitazionale si calcola con la formula:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

Diagramma: ENERGIA POTENZIALE (sotto E_p), MASSA (sotto m), ACCELERAZIONE DI GRAVITÀ (sopra g), ALTEZZA DAL SUOLO (sotto h). Freccie gialle collegano ENERGIA POTENZIALE a E_p, MASSA a m, ACCELERAZIONE DI GRAVITÀ a g, ALTEZZA DAL SUOLO a h, e E_p a E_p.

energia

 Energy

The capacity of a physical system to perform work (or to transfer heat).

energia cinetica

 Kinetic energy

The energy that matter possesses due to its motion.

energia potenziale

 Potential energy

The energy that matter possesses due to its position in a field of force.

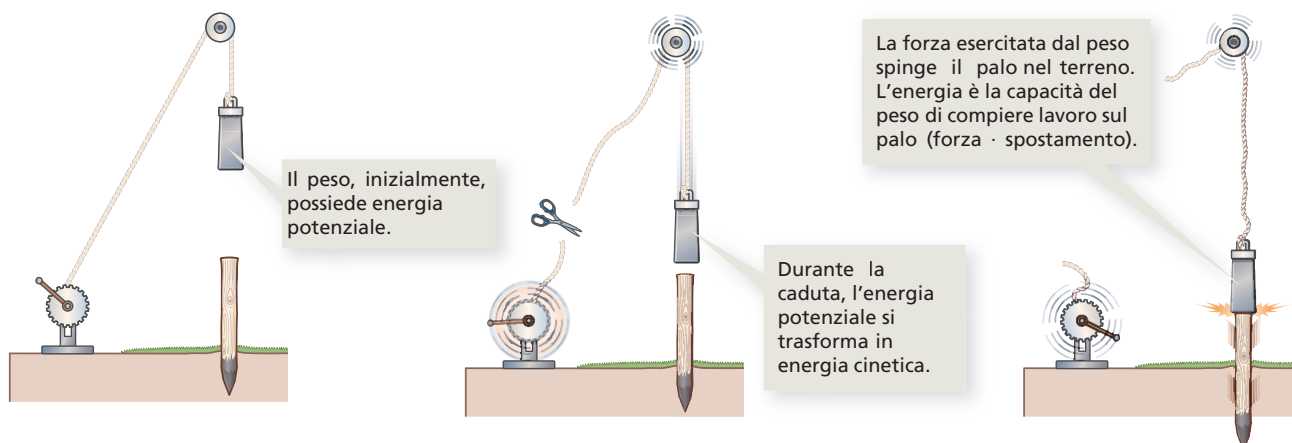


FIGURA 0.7 L'energia potenziale del masso si convertirà gradualmente in energia cinetica quando esso inizierà a scendere verso il basso.

Questa forma di energia si può considerare energia immagazzinata, che può essere trasformata in energia cinetica (Figura 0.7).

L'uomo sfrutta l'energia potenziale contenuta nei cibi per la sua sopravvivenza. Nelle sue cellule, infatti, avvengono reazioni di demolizione degli alimenti la cui energia potenziale viene trasformata in altre forme di energia, necessarie alla vita, e in calore (Tabella 0.8).

In base alla legge della conservazione dell'energia, possiamo dire che:

energia totale

In qualsiasi processo, l'energia si trasforma, cambia aspetto, ma l'energia totale si conserva.

TABELLA 0.8 Il contenuto energetico dei principali alimenti.

Materiali	Contenuto energetico (kcal/g)	Contenuto energetico (kJ/g)
glucidi (zucchero, pane, pasta, biscotti)	4	16,7
lipidi (olio, burro, formaggi, grassi animali)	9	37,6
proteine (carne, pesce, uova, fagiolini)	4	16,7
alcol (vino, birra, liquori, sidro)	7	29,3

4. La temperatura e il calore

Quando misuriamo col termometro la temperatura di un corpo o di un oggetto, ricaviamo informazioni sul suo stato termico; la temperatura, tuttavia, non ci dice nulla sulla *quantità* di calore che entra o esce dal corpo.

In che cosa differiscono temperatura e calore?

La temperatura



Temperature

A quantitative measure that expresses the common notions of how hot or how cold a system is.

La **temperatura** è una *grandezza intensiva* che ci fornisce una misura di quanto un corpo è caldo o freddo. Non bisogna perciò confonderla con il calore che, come vedremo più avanti, è un modo di trasferire energia.

Lo strumento utilizzato per misurare la temperatura è il **termometro**, che si basa sulla capacità che hanno i liquidi (ma anche i solidi e i gas) di dilatarsi all'aumentare della temperatura. Fino a pochi anni fa, nei termometri in vendita per uso sanitario si usava generalmente il mercurio, ora vietato per la sua elevata tossicità. Ci sono ancora però termometri a uso domestico con alcol liquido.

I termometri con scala grafica usano la scala Celsius che, suddivisa in *gradi*

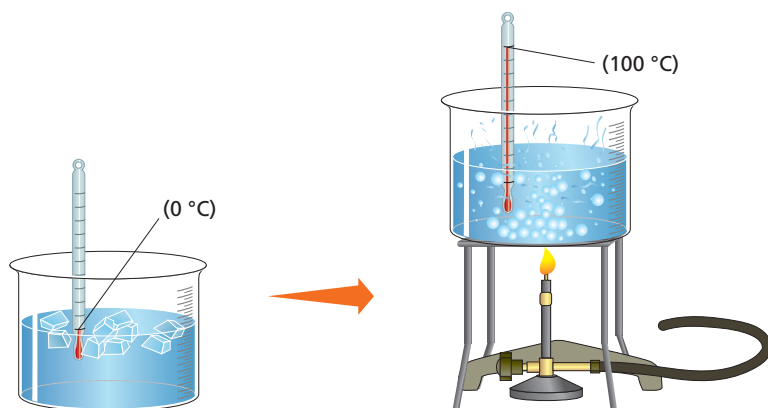


FIGURA 0.8 Come si determinano lo 0 °C e il 100 °C di un termometro.

centigradi, sfrutta due punti fissi: la temperatura a cui il ghiaccio fonde e quella a cui l'acqua bolle a livello del mare. Infatti, mentre l'acqua bolle e il ghiaccio fonde, la temperatura si mantiene costante (Figura 0.8). Per tarare un termometro lo si immerge in una miscela ghiaccio-acqua. Il volume occupato dalla sostanza contenuta nel termometro, si contrae fino a un valore stabile e ripetibile, che viene fissato con un segno. A questo si assegna il valore di 0 °C.

Un segno analogo viene praticato sul termometro immerso nell'acqua bollente, per fissare la dilatazione corrispondente a 100 °C. La distanza fra i due segni viene infine divisa in 100 parti uguali.

Lord Kelvin, nel 1848, propose la scala assoluta delle temperature, la cui origine si colloca a $-273,15$ °C, valore al di sotto del quale è impossibile scendere. Anche questa è una scala centigrada, come la Celsius; il suo grado si chiama *kelvin* e si indica con K. Le due scale sono semplicemente spostate l'una rispetto all'altra di 273,15 gradi.

La temperatura assoluta, indicata generalmente con la lettera T , è una delle sette grandezze fondamentali del SI.

Per convertire in kelvin una temperatura espressa in gradi Celsius si applica la seguente relazione:

$$T (\text{K}) = t (\text{°C}) + 273,15$$

t esprime la temperatura in gradi Celsius, con il segno positivo o negativo.

Quindi, nel caso del ghiaccio fondente si trova:

$$T = (0 + 273,15) \text{ K} = 273,15 \text{ K}$$

Analogamente, la temperatura assoluta dell'acqua bollente sarà:

$$T = (100 + 273,15) \text{ K} = 373,15 \text{ K}$$

ESEMPIO

Un campione di azoto liquido si trova a -200 °C. Calcola la sua temperatura assoluta.

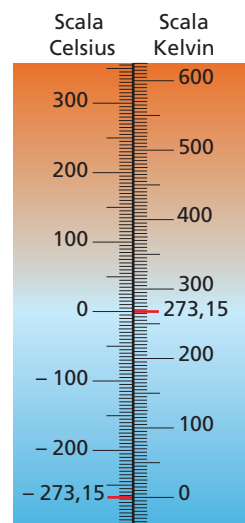
Soluzione Scrivi l'equazione e inserisci i dati, poi procedi al calcolo.

$$T = (-200 + 273,15) \text{ K} = 73,15 \text{ K}$$

PROVA TU

Esprimi le seguenti temperature in °C:

- punto di fusione dell'oro: 1337,58 K
- punto di liquefazione dell'aria: 83,15 K
- punto di solidificazione del mercurio: 234,31 K
- punto di ebollizione del mercurio: 629,73 K



Absolute zero

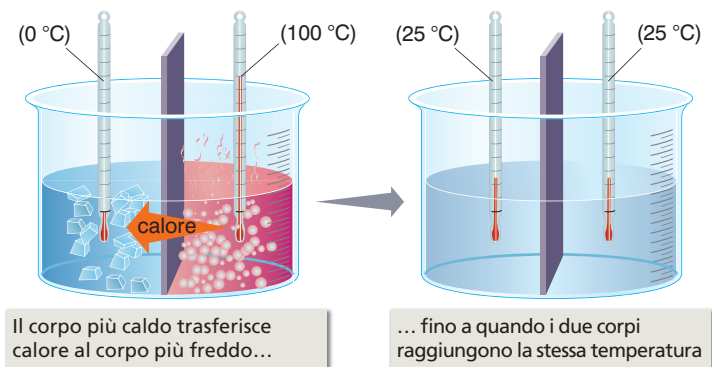
$-273,15$ °C is equivalent to the zero point on the Kelvin (absolute) temperature scale.

Il calore

Il **calore** è una modalità di trasferimento di energia da un corpo a una temperatura più elevata a uno con una temperatura più bassa. Il trasferimento cessa non appena i due corpi hanno raggiunto la stessa temperatura (Figura 0.9).

FIGURA 0.9 Il calore è un modo per trasferire energia.

RICORDA Il calore è un trasferimento di energia tra due corpi che si trovano inizialmente a temperature diverse.



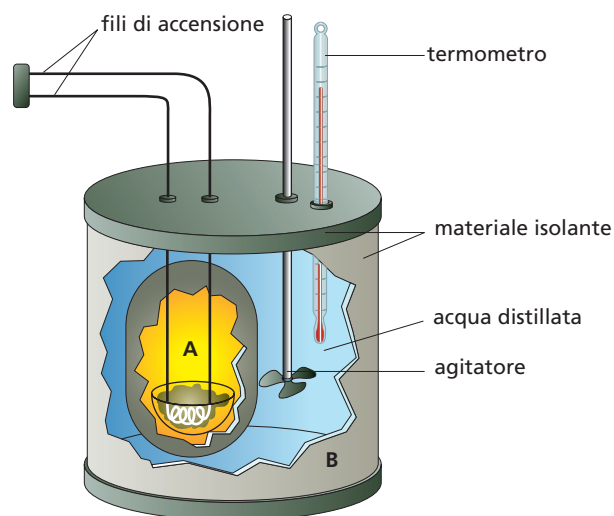
La capacità di un corpo di trasferire energia, però, non dipende soltanto dalla sua temperatura: infatti, un oggetto molto caldo non necessariamente è in grado di trasmettere molto calore. Pensiamo per esempio a un fiammifero acceso e a un incendio; la temperatura della fiamma è sempre la stessa, ma il calore emesso dal fiammifero è quasi irrilevante rispetto a quello sprigionato dall'incendio.

Il calore, quindi, dipende anche dalla quantità di materia che viene coinvolta nel trasferimento di energia: si tratta perciò di una *grandezza estensiva* della materia, a differenza della temperatura che, come abbiamo visto, è una grandezza intensiva (cioè che non dipende dalla massa del campione). Nel SI l'unità di misura del calore è il *joule* (J).

Il trasferimento di energia sotto forma di calore si misura con il **calorimetro**; questo dispositivo registra il trasferimento di energia sotto forma di calore seguendo i cambiamenti della temperatura.

La **Figura 0.10** mostra un tipo di calorimetro chiamato *bomba calorimetrica*, che permette di misurare il calore sviluppato da una reazione chimica: la reazione, innescata da una scarica elettrica, ha luogo in un contenitore sigillato (A) che si trova all'interno di un altro contenitore (B) contenente una quantità nota di acqua distillata. Il calore liberato dalla reazione scalda l'acqua, portandola dalla temperatura t_1 alla temperatura t_2 ; il termometro immerso nel calorimetro misura la differenza di temperatura ($t_2 - t_1$).

FIGURA 0.10 Schema di una bomba calorimetrica. Questa è un calorimetro speciale che permette di misurare con precisione il calore sviluppato in una reazione chimica.



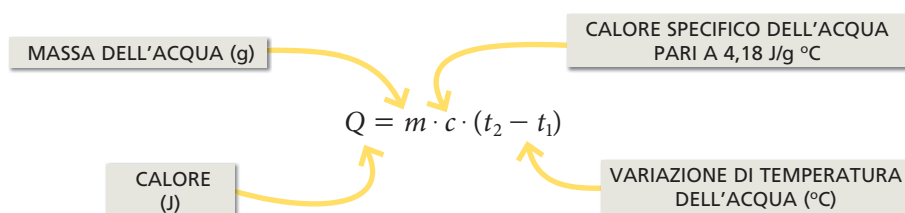
Il calore specifico

Abbiamo detto che il calore è una grandezza estensiva, che dipende dalla massa del campione; esso però dipende anche dal materiale di cui il campione è costituito. Il **calore specifico** è una grandezza derivata che esprime la quantità di calore necessaria a far aumentare la temperatura di un determinato materiale, riferita all'unità di massa:

Il calore specifico è la quantità di energia assorbita (o ceduta) da 1 g di materiale durante un aumento (o una diminuzione) di temperatura pari a 1 °C.

Consideriamo per esempio una massa d'acqua di 1 g che subisce una variazione di temperatura di 1 °C (o di 1 K, che è la stessa cosa); se misuriamo la quantità di calore scambiata da essa, vedremo che è pari a 4,18 J. Il calore specifico dell'acqua distillata è quindi 4,18 J/g · °C.

Torniamo al nostro calorimetro; tenendo conto del calore specifico, ora siamo in grado di calcolare il calore sviluppato dalla reazione e trasferito a una quantità nota di acqua:



Il calore specifico, che è una proprietà intensiva caratteristica per ogni materiale, può essere utilizzato per identificare le diverse sostanze; la **Tabella 0.9** mostra i calori specifici di alcuni materiali utilizzando sia le unità di misura del SI (J/g · °C) sia la caloria (cal/g · °C).

Come possiamo vedere dalla **Tabella 0.9**, il calore specifico dell'acqua è molto elevato: occorre cioè molta energia per ottenere piccoli incrementi di temperatura. Il calore specifico del rame, invece, è piuttosto basso (ovvero, basta poca energia per ottenere un grande aumento di temperatura).

ESEMPIO

La stessa quantità di calore, pari a 100 J, viene ceduta a 10 g di acqua e a 10 g di rame. Determina l'incremento di temperatura ottenuto nei due casi.

Soluzione Utilizza la formula per il calcolo del calore per ricavare $t_2 - t_1$:

$$t_2 - t_1 = \frac{Q}{m \cdot c}$$

Quindi, inserisci i dati nella formula:

$$(t_2 - t_1)_{\text{acqua}} = \frac{100 \text{ J}}{10 \text{ g} \cdot 4,18 \text{ J/g} \cdot \text{°C}} = 2,4 \text{ °C}$$

$$(t_2 - t_1)_{\text{rame}} = \frac{100 \text{ J}}{10 \text{ g} \cdot 0,385 \text{ J/g} \cdot \text{°C}} = 26 \text{ °C}$$

L'incremento di temperatura di 10 g di acqua è meno di un decimo di quello di 10 g di rame.

RICORDA Il calore specifico può essere utilizzato per identificare una sostanza (è una grandezza intensiva caratteristica).

calore specifico

Specific heat

The quantity of heat required to change the temperature of a unit mass of a substance by one °C.

RICORDA Il calore specifico può essere utilizzato per identificare una sostanza (è una grandezza intensiva caratteristica).

TABELLA 0.9 I calori specifici di alcuni materiali.

Materiale	Calore specifico (J/g · °C)	Contenuto energetico (cal/g · °C)
acqua	4,18	1,00
alluminio	0,900	0,215
aria	1,00	0,24
rame	0,385	0,092
piombo	0,142	0,034
ferro	0,45	0,107

5. Misure precise e misure accurate

La qualità di una misura migliora se l'operazione si ripete più volte e se ne calcola il valore medio. Una singola misura è *precisa* se non si discosta dal valore medio. D'altro canto, se la media è vicina al risultato ritenuto vero, la misura è *accurata*.

precisione e accuratezza

La precisione stabilisce quanto le misure di una grandezza sono vicine fra loro. L'accuratezza indica, invece, quanto la misura si avvicina al valore corretto.

La **Figura 0.11** chiarisce il significato dei due concetti.



FIGURA 0.11 Tiro al bersaglio:

- A** i colpi sono molto precisi, ma poco accurati;
- B** l'accuratezza dei colpi è elevata, ma è peggiorata la precisione;
- C** i colpi non sono né precisi né accurati.

Misuriamo per esempio la lunghezza di un libro con un metro su cui sono marcati solo i centimetri. Il risultato – 24 cm – non è certo una misura accurata. È un numero che non dà alcuna informazione riguardo ai millimetri. Usiamo allora un metro capace di apprezzare anche i millimetri e misuriamo 24,3 cm. È la misura esatta? No! Questa misurazione non ci dice nulla sui decimi di millimetro.

Con l'aiuto di strumenti più raffinati possiamo eseguire la misura fino al decimo di millesimo di millimetro, cioè cinque cifre dopo la virgola. Un risultato d'eccezione, ma non ancora il valore «vero» della lunghezza. Infatti, che cosa dire dei milionesimi di millimetro e così via? A questi livelli, però, il concetto di lunghezza perde di significato. Risulta quindi impossibile eseguire delle misure assolutamente accurate. Il *valore vero* non esiste nella realtà fisica, è un'astrazione matematica.

Quali sono allora i criteri per valutare il risultato di una misura? Ogni rilevamento della misura è soggetto a errori.

errore accidentale e sistematico

Gli errori possono essere accidentali, se dipendono da piccoli cambiamenti delle condizioni in cui avviene la misurazione, o sistematici, se sono legati all'imprecisione dello strumento.

Effettuare un numero di rilevamenti elevato ci consente di avvicinarci con maggiore probabilità a un valore attendibile, riducendo l'effetto degli errori accidentali.

La **media aritmetica** \bar{x} dei valori raccolti corrisponde al quoziente tra la loro somma e il loro numero. L'**errore assoluto** e_a è ottenuto calcolando la differenza tra il massimo valore misurato e il valore minimo e dividendo per due.

L'**intervallo dei valori attendibili** corrisponde alla media aritmetica più o meno l'errore assoluto.

$$\text{intervallo di valori attendibili} = \bar{x} \pm e_a$$

MEDIA ARITMETICA
ERRORE ASSOLUTO

Questo modo di esprimere il valore medio indica che l'ultima cifra del valore ottenuto non è sicura, cioè è una *cifra incerta*.

ESEMPIO

Considera questa serie di misurazioni e calcola l'intervallo dei valori attendibili.

3,40 m	3,49 m
3,46 m	3,47 m
3,47 m	3,47 m
3,50 m	

Soluzione

Calcola la media sommando le misure e dividendo per 7:

$$\bar{x} = (3,40 + 3,46 + 3,47 + 3,49 + 3,47 + 3,47 + 3,50) : 7 = 3,47 \text{ m}$$

L'errore assoluto è:

$$e_a = (3,50 - 3,40) : 2 = 0,05 \text{ m}$$

Il valore della misura, quindi, sarà compreso nel seguente intervallo:

$$3,47 \pm 0,05$$

RICORDA Il ripetere più volte una misura riduce l'incidenza degli errori accidentali.

Oltre all'errore assoluto si può calcolare anche l'**errore relativo** e_r , che è dato dal rapporto tra l'errore assoluto e_a e la media \bar{x} :

$$e_r = e_a / \bar{x}$$

L'errore assoluto indica l'*incertezza* della misura, mentre l'errore relativo indica la sua *precisione*.

TABELLA 0.10 Numeri e cifre significative.

Numero	Cifre significative
0,00708	3
0,0708	3
0,708	3
70,8	3
0,7080	4
70,80	4
7080,0	5

Un altro modo per indicare l'incertezza della misura è utilizzare le **cifre significative**. Il numero delle cifre significative, ottenuto dopo aver eseguito la misurazione, è il criterio con cui si può giudicare se lo sperimentatore ha fatto un buon lavoro. La **Tabella 0.10** ci mostra come determinare il numero di cifre significative.

È bene, dunque, tenere presenti le seguenti regole:

1. Tutti i numeri diversi da zero si considerano cifre significative;
2. Gli zeri che si trovano fra due cifre significative sono sempre significativi;
3. Gli zeri che precedono, a sinistra, la prima cifra diversa da zero, non sono significativi;
4. Gli zeri terminali, a destra di una cifra decimale diversa da zero, sono cifre significative (0,0300, per esempio, ha tre cifre significative);

ESEMPIO

Somma le seguenti lunghezze: 2,3 cm e 9,27 cm.

Soluzione

$$2,3 \text{ cm} + 9,27 \text{ cm} = 11,57 \text{ cm} = 11,6 \text{ cm}$$

Poiché la misura 2,3 cm ha solo una cifra decimale, anche il risultato correttamente espresso deve essere arrotondato a una sola cifra decimale.

Significant figure

The number of digits that carry meaning and contribute to precision.

RICORDA Si definiscono cifre significative tutte le cifre certe di una misurazione più la prima cifra incerta.

ESEMPIO

Calcola l'area di un quadrato il cui lato misura 1,6 m.

Soluzione Applica la formula dell'area:

$$\text{area} = l^2 = 1,6 \text{ m} \cdot 1,6 \text{ m} = 2,56 \text{ m}^2 = 2,6 \text{ m}^2$$

Siccome il numero che esprime la lunghezza del lato ha due cifre significative, anche l'area deve essere arrotondata allo stesso numero di cifre significative.

Il numero di cifre significative non dipende dall'unità di misura né dalla posizione della virgola, ma dalla bontà della misurazione. Esso corrisponde al numero di cifre che sono note con certezza più la prima cifra incerta.

Quando si eseguono operazioni con i dati ottenuti dalle misurazioni, si possono ottenere risultati con cifre che non sono tutte cifre significative; in questo caso il risultato deve essere arrotondato.

Le regole dell'arrotondamento sono le seguenti:

1. Se la prima cifra da eliminare è minore di 5, la cifra precedente rimane uguale: per esempio, 4,9936 arrotondato a tre cifre significative sarà 4,99;
2. Se la prima cifra da eliminare è maggiore di 5, bisogna aumentare di 1 la cifra precedente: per esempio, 74,581 arrotondato a tre cifre significative sarà 74,6;
3. Se la prima cifra da eliminare è 5, si può usare indifferentemente la prima o la seconda regola; in ogni caso c'è il 50% di probabilità di agire correttamente e l'arrotondamento è accettabile perché influisce solo sulla cifra incerta.

Nel caso di arrotondamenti di risultati ottenuti dall'addizione e dalla sottrazione, tenendo conto delle cifre significative, si arrotonda il risultato in modo che abbia lo stesso numero di cifre decimali del dato che ne ha di meno.

Nel caso della moltiplicazione e della divisione, il numero delle cifre significative finali non può superare il numero delle cifre significative del dato meno accurato, cioè si arrotonda allo stesso numero di cifre significative del numero che ne ha di meno.

Quando la misura di una grandezza è espressa tramite la notazione scientifica, il primo fattore è il *valore* della misura e determina il numero di cifre significative del dato. L'esponente della potenza del 10 è invece chiamato **ordine di grandezza**.