

## Errori di misura

Il problema più antico di ogni scienziato, che deve operare la misurazione di grandezze scientifiche, è sapere a priori che, per quanto possa essere attento il suo operato, i risultati ottenuti saranno, inevitabilmente, affetti da un errore di misurazione.

**L'errore è, per definizione, la differenza tra il valore vero e il valore misurato della grandezza in esame.**

La consapevolezza di non riuscire mai a determinare il valore esatto della grandezza non deve scoraggiare chi opera la misura perché, se non annullarli, è possibile ridurre significativamente gli errori, applicando opportuni accorgimenti, sia da parte dell'operatore sia nella costruzione e nell'uso degli strumenti necessari alla misurazione.

Gli strumenti di misura possono essere distinti in base a molte loro caratteristiche, tra le quali vogliamo ricordare, in particolare:

- la **portata**, che rappresenta il massimo valore della grandezza che lo strumento può misurare;
- la **sensibilità**, che esprime, invece, il minimo valore della grandezza che lo strumento riesce ad apprezzare.

Gli strumenti solitamente più sensibili sono quelli di piccola portata, basti pensare alla differente sensibilità tra il bilancino di precisione di un farmacista, che ha una portata massima di pochi grammi, e la bilancia di un salumiere capace di misurare anche quantità superiori al kilogrammo.

Le possibilità di commettere un errore durante una misura sono molteplici, ed è necessario, quindi, incominciare a mettere un po' di ordine nella valutazione degli errori, riunendoli in due sole categorie fondamentali: errori **sistematici** ed errori **accidentali**.

Gli **errori sistematici** sono quelli che compaiono in ogni singola misura e possono essere:

1. **errori strumentali**, legati all'utilizzo di strumenti poco precisi (ogni strumento è contraddistinto da una classe che ne indica il grado di precisione), mal tarati o non adatti alla misura che si deve effettuare;
2. **errori soggettivi**, provocati dalla poca abilità o dalla negligenza dello sperimentatore, quali errori di lettura, di apprezzamento ecc.;
3. **errori ambientali**, determinati da fattori esterni come, per esempio, la presenza di fonti di calore, campi magnetici esterni ecc.

Proviamo a immaginare alcune situazioni tipiche che possono determinare errori sistematici durante una misurazione.

Se proviamo a misurare il tempo che impiega un corpo in caduta libera (per esempio una moneta) per raggiungere il suolo da una determinata altezza, fermando il cronometro al momento in cui percepiamo il tintinnio della moneta che tocca il suolo, commettiamo un errore, perché non teniamo conto del tempo che impiega il suono, prodotto dall'impatto, per raggiungere il nostro orecchio né il tempo di reazione (individuale) del soggetto che deve arrestare il cronometro.

Questa situazione determina un errore soggettivo perché dipendente da un errore di valutazione dello sperimentatore. È importante sapere che gli **errori sistematici influiscono sulla misurazione sempre nello stesso senso** e, solitamente, **per una stessa quantità**.

L'uso di uno strumento di scarsa precisione o poco tarato provoca un errore strumentale: se uno strumento misura valori maggiori rispetto a quelli veri, tale maggiorazione sarà la stessa per tutte le misure che effettueremo utilizzandolo. L'uso di strumenti di buona classe di precisione e sottoposti ad attente e frequenti operazioni di taratura permetterà di ridurre al massimo tali errori, che, però, non potranno mai essere eliminati completamente.

Gli **errori accidentali** (detti anche casuali) non si possono né prevedere né evitare e affliggono la misura con valori che possono risultare a volte minori e a volte maggiori di quelli reali. Questi errori possono essere provocati anche da **brevi e imprevedibili variazioni di fattori ambientali**, come la pressione, l'umidità o la temperatura dell'aria, di cui lo sperimentatore non ha tenuto conto durante l'esecuzione della misura.

Questo tipo di errore può influire sulla misura, a seconda dei casi, in un senso o nell'altro; esso **può essere ridotto al minimo ripetendo più volte la misura e facendo poi la media aritmetica** dei valori trovati. Se si usa uno strumento poco sensibile gli errori accidentali incidono solo molto marginalmente perché lo strumento non è in grado di rilevarli: una misurazione ripetuta più volte ci darebbe sempre lo stesso risultato. Se si usa uno strumento di buona classe di precisione, invece, nel caso di misurazioni ripetute, si rileverebbero valori sensibilmente diversi, a causa degli errori accidentali.

Le differenze tra le due tipologie di errori, sistematici e accidentali, introducono i concetti di **accuratezza** e di **precisione** della misura.

Una **misura** viene definita:

- **accurata**, quando la si effettua utilizzando strumenti idonei e in adatte condizioni ambientali;
- **precisa** se l'operatore può determinare l'incidenza degli errori, dai quali essa è affetta, o quando, ripetendo più volte la misura, i risultati ottenuti siano sostanzialmente concordanti, cioè differiscano in maniera irrilevante tra loro.

Da queste osservazioni emerge una considerazione: **non è detto che una misura precisa possa considerarsi sempre anche accurata.**

## Gli errori assoluti

L'imprecisione di misura è una realtà non eliminabile: il modo più pratico per ridurre gli errori accidentali è quello di ripetere più volte la misura, ovviamente nelle stesse condizioni, e accettare come valore probabile la **media aritmetica** dei valori misurati. Tutte le misure, sia effettuate una sola volta sia quelle ripetute più volte, sono affette da incertezze, che chiameremo **errore assoluto** o **incertezza assoluta** della misura.

**Per definizione, l'errore assoluto rappresenta la differenza tra il valore vero e il valore misurato della grandezza in esame.**

Ogni misura è quindi accompagnata da un **errore assoluto**  $\delta x$ , che può essere determinato e indicato assieme al valore della grandezza, come nella scrittura seguente:

$$X = X_m \pm \delta x$$

L'**incertezza assoluta**  $\delta x$  viene espressa nella stessa unità di misura della grandezza a cui si riferisce, e **individua un intervallo nel quale si troverà il valore vero della grandezza in esame**, che non è possibile però conoscere.

$X_m - \delta x$  $X_m$  $X_m + \delta x$ 

L'incertezza assoluta  $\delta x$  individua un intervallo  $X = X_m \pm \delta x$  nel quale si troverà il valore vero  $X$  della grandezza in esame.

Per determinare l'incertezza assoluta dobbiamo distinguere due casi:

1. il valore misurato è stato ottenuto effettuando più volte la misura della grandezza con lo stesso strumento e **ottenendo sempre lo stesso risultato**: in questo caso, l'incertezza assoluta si considera uguale alla **sensibilità** dello strumento, che viene indicata, dal costruttore, tra i cosiddetti "dati di targa" presenti sullo strumento stesso;
2. la misura ripetuta più volte ha dato **risultati diversi**, in questo caso si assumono come valore della grandezza, la media  $X_m$  tra i valori trovati e come incertezza assoluta  $\delta x$ , la metà della differenza tra il valore massimo e il valore minimo, tra quelli misurati, che è detta **semidispersione massima o scarto medio**.

Proviamo a fare un esempio, immaginando di voler misurare la lunghezza del corridoio della nostra scuola, effettuando 10 misurazioni, che abbiamo cura di annotare in una apposita tabella:

| n°            | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Lunghezza (m) | 15,2 | 15,0 | 15,1 | 15,2 | 15,3 | 15,0 | 15,2 | 15,4 | 15,5 | 15,1 |

La **media aritmetica m** dei valori verrà calcolata nel modo seguente:

$$m = (15,2 + 15,0 + 15,1 + 15,2 + 15,3 + 15,0 + 15,2 + 15,4 + 15,5 + 15,1) m : 10 = 15,2 \text{ m}$$

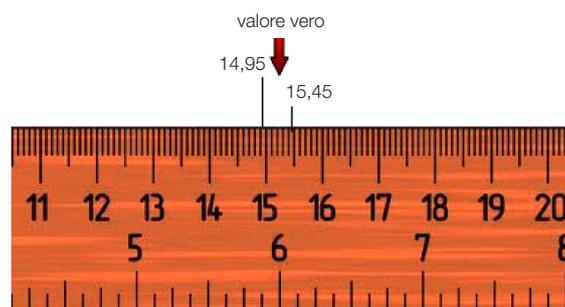
Per il calcolo dell'incertezza assoluta, in questo caso, dovremo fare la differenza tra valore massimo e valore minimo diviso per 2, determinando la **semidispersione massima o scarto medio**: questo valore potrà essere utilizzato come incertezza assoluta, se esso risulterà maggiore della sensibilità dello strumento usato:

$$(15,5 - 15,0) m : 2 = 0,25 \text{ m}$$

La lunghezza del nostro corridoio risulta essere:

$$l = (15,2 \pm 0,25) \text{ m}$$

In questo caso il **valore vero** della misura sarà compreso nell'intervallo tra **14,95 m** e **15,45 m**.



Sia che la misura venga effettuata con una singola misurazione o che essa sia il risultato dell'elaborazione di più misure della grandezza in esame, **l'errore assoluto dipenderà, quasi completamente, dagli strumenti utilizzati e dal metodo con cui abbiamo effettuato la rilevazione della grandezza.**

## Gli errori relativi

L'errore assoluto ci fornisce un'indicazione dell'intervallo in cui si troverà il valore reale della grandezza da misurare, indicando di quanto il valore reale può essere più grande o più piccolo del valore medio, ma non fornisce un giudizio definitivo sul nostro operato.

In primo luogo, l'errore che abbiamo calcolato è quello massimo e, soprattutto, nessuno ci può dire che sia stato effettivamente commesso e che, qualora l'avesimo commesso, esso non risulti più piccolo dell'errore assoluto, che esprime il massimo errore possibile.

In secondo luogo, bisogna stabilire se l'errore determinato possa considerarsi accettabile: se un errore di un centimetro sulla misura di una distanza di un chilometro indicherebbe una misura particolarmente precisa, lo stesso errore di un centimetro su una lunghezza di dieci centimetri indicherebbe che la misurazione è stata molto grossolana e approssimativa.

Per stabilire se l'errore commesso possa risultare accettabile, è necessario calcolare **l'errore relativo o incertezza relativa, che si indica con la lettera  $\eta$**  (eta) dell'alfabeto greco e si ottiene facendo il rapporto tra l'errore assoluto e il valore medio della grandezza, come nella seguente relazione:

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

e più sinteticamente dalla formula

$$\eta = \delta x / \bar{x}$$

dove  $\delta x$  è l'errore assoluto e  $\bar{x}$  è la nostra "stima migliore", che nel caso di più misure della grandezza viene sostituita dal valore medio (media aritmetica).

L'errore relativo, calcolato dal rapporto di due valori con la stessa unità di misura, è un numero **adimensionale**, cioè privo di unità di misura, e viene solitamente espresso in forma percentuale, moltiplicandolo per 100.

Calcolando l'errore relativo possiamo stabilire la "qualità" della nostra misura e il grado di precisione con cui essa è stata determinata.

Se vogliamo, anche in questo caso, fare un esempio significativo, proviamo a calcolare l'incertezza relativa, nel caso ipotizzato in precedenza della misura delle due distanze, di 1 km e di 10 cm, per le quali, in entrambi i casi, supponiamo di aver commesso un errore assoluto di 1 cm.

Per operare il confronto sarà necessario esprimere entrambe le misure in cm e, quindi, operando l'opportuna equivalenza, risulterà:

$$1 \text{ km} = 100.000 \text{ cm}$$

La prima misura di 1 km sarà affetta da un'incertezza relativa o errore relativo  $\eta_1$  pari a:

$$\eta_1 = 1 \text{ cm} / 100.000 \text{ cm} = 0,00001$$

cioè pari a un errore relativo dello 0,001%, se espresso in percentuale.

La seconda misura di 10 cm sarà affetta da un'incertezza relativa o errore relativo  $\eta_2$  pari a:

$$\eta_2 = 1 \text{ cm}/10 \text{ cm} = 0,1$$

cioè pari a un errore relativo del 10%, se espresso in percentuale.

Dal confronto degli errori relativi risulta evidente l'enorme differenza nella precisione, con cui abbiamo effettuato le due misure: la prima può considerarsi eseguita con un grado eccellente di precisione, a differenza della seconda che è affetta da un errore eccessivo tale da non potersi considerare accettabile.

Se l'errore relativo commesso non è accettabile, si dovrà procedere a una nuova misurazione, ripartendo dall'inizio.

Per misure effettuate in un laboratorio scolastico si considerano accettabili quelle affette da un'incertezza relativa massima del 5%.

## 3.4 Proprietà fisiche

### 3.4.1 Massa volumica

La massa di 1 m<sup>3</sup> di alluminio è 2700 kg.

La massa di 1 m<sup>3</sup> di ferro è 7860 kg.

A parità di volume il ferro ha dunque una massa maggiore dell'alluminio, cioè ha una maggiore **massa volumica**.

Si definisce pertanto *massa volumica* il rapporto fra la massa di un corpo e il suo volume, cioè la massa dell'unità di volume.

La massa volumica di un corpo metallico viene espressa nel SI in kg/m<sup>3</sup>. Il sottomultiplo più usato della massa volumica è il kg/dm<sup>3</sup>.

Per conoscere la massa volumica di un materiale, si divide la sua massa, misurata in kg, per il suo volume, misurato in m<sup>3</sup>.

Indicando con  $\rho$  (rho, lettera dell'alfabeto greco) la massa volumica si ha:

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}} \text{ (kg/m}^3\text{)}.$$

La massa volumica ha un valore diverso per ogni materiale.

Nella tabella 3.1 sono riportate le masse volumiche di alcuni metalli.

Le **leghe leggere** sono leghe metalliche, a base di alluminio, la cui massa volumica è inferiore a 4 kg/dm<sup>3</sup>.

Tabella 3.1 Masse volumiche di alcuni materiali metallici

| Materiali | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] |
|-----------|-----------------------------|
| Magnesio  | 1750                        |
| Alluminio | 2700                        |
| Titanio   | 4500                        |
| Zinco     | 7140                        |
| Stagno    | 7300                        |
| Ferro     | 7860                        |
| Bronzo    | 8000-8800                   |
| Nichel    | 8660                        |
| Rame      | 8900                        |
| Piombo    | 11 340                      |
| Mercurio  | 13 590                      |
| Oro       | 19 300                      |
| Tungsteno | 19 300                      |
| Platino   | 21 400                      |

Sono metalli **ultraleggeri** il magnesio (1,75 kg/dm<sup>3</sup>) e il berillio (1,85 kg/dm<sup>3</sup>), **leggero** è l'alluminio (2,7 kg/dm<sup>3</sup>), **semileggero** il titanio (4,5 kg/dm<sup>3</sup>), **semi-pesanti** sono cromo, stagno, manganese, ferro, nichel, cobalto, rame ecc. (7-9 kg/dm<sup>3</sup>), sono metalli **pesanti** il piombo, il tungsteno, l'oro, il platino (11-21 kg/dm<sup>3</sup>).

La massa volumica dei metalli e delle leghe, rispetto ai valori riportati, può variare, sia pure limitatamente, in funzione della temperatura per effetto della dilatazione, dello stato di aggregazione del materiale, del processo tecnologico subito dal materiale, della composizione chimica del materiale (presenza di impurezze).

### Densità relativa adimensionale

Si definisce densità relativa il rapporto tra la massa volumica di un corpo e la massa volumica di riferimento dell'acqua a 4 °C. Tale parametro è adimensionale.

### 3.4.2 Calore specifico

Per portare da 0 °C a 100 °C la temperatura di 1 kg di alluminio è necessario fornire al metallo una quantità di calore pari a circa 90 000 J.

Per portare da 0 °C a 100 °C la temperatura di 1 kg di acciaio è necessario fornire una quantità di calore pari a circa 45 000 J.

Si può dire dunque che, a parità di massa, l'alluminio richiede una quantità di calore maggiore di quanto richiede l'acciaio per ottenere uno stesso aumento di temperatura. Da questo deduciamo che l'alluminio ha un **calore specifico** (più esattamente, una capacità termica massica) maggiore dell'acciaio.

Il calore specifico è la quantità di calore che occorre fornire all'unità di massa di una certa sostanza per elevarne la temperatura di 1 °C.

Per conoscere il calore specifico,  $C_s$ , di un materiale, si divide il calore ceduto  $Q$ , espresso in joule (J), per la differenza tra la temperatura finale  $T_2$  e quella iniziale  $T_1$ , moltiplicata per la massa del materiale (espressa in kg). Il grado **kelvin**, pure esso usato, si abbrevia con K.

$$C_s = \frac{Q}{(T_2 - T_1) \cdot m} \quad [\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})].$$

Il calore specifico ha un valore diverso per ogni materiale, come risulta dalla tabella 3.2.

Poiché per uno stesso materiale il calore specifico varia a seconda dell'intervallo di temperatura considerato, in pratica ci si riferisce al calore specifico medio nell'intervallo di temperatura da 0 °C a 100 °C.

Si calcoli il calore necessario per aumentare la temperatura di una massa  $Q$  di 3 kg di rame di 20 °C.

$$Q = C_s \cdot m \cdot (T_2 - T_1) = 383 \cdot 3 \cdot 20 = 22\,980 \text{ J.}$$

**Tabella 3.2** Valore del calore specifico di alcuni materiali

| Materiali | $C_s$ [J/(kg · K)] |
|-----------|--------------------|
| Piombo    | 128                |
| Oro       | 130                |
| Platino   | 136                |
| Tungsteno | 142                |
| Stagno    | 226                |
| Argento   | 230                |
| Rame      | 383                |
| Zinco     | 385                |
| Cobalto   | 431                |
| Nichel    | 440                |
| Ferro     | 65                 |
| Cromo     | 502                |
| Alluminio | 900                |

### 3.4.3 Dilatazione termica

È noto che tutti i corpi, quando vengono riscaldati, subiscono una dilatazione.

Se prendiamo due barre, una di acciaio e una di piombo, di uguale lunghezza alla temperatura di 20 °C, avranno lunghezze differenti alla temperatura di 100 °C. Ciò è dovuto al fatto che la dilatazione è diversa per ogni materiale.

Di questa dilatazione si deve sempre tenere conto quando si montano organi meccanici.

Ad esempio, negli accoppiamenti forzati di due pezzi la dilatazione termica può far nascere forze che compromettono la potenzialità dell'accoppiamento.

È a causa della dilatazione termica dei materiali che in ogni misurazione di precisione si deve sempre far riferimento alla temperatura alla quale si trova il pezzo da misurare e si deve controllare che anche la temperatura dello strumento di misura non sia diversa dalla temperatura alla quale lo strumento stesso è stato tarato (che generalmente è 20 °C).

Il coefficiente di dilatazione termica lineare  $\alpha$  esprime l'aumento di lunghezza  $\Delta L$  che subisce il materiale di lunghezza iniziale  $L_0$  per effetto di una variazione di temperatura  $\Delta T$ .

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} \quad [m/(m \cdot K)].$$

Nella tabella 3.3 sono riportati i coefficienti di dilatazione lineare media nell'intervallo tra 20 e 100 °C dei principali metalli.

Dalla formula si ricava che il coefficiente di dilatazione lineare  $\alpha$  rappresenta l'aumento di lunghezza di un pezzo di lunghezza unitaria quando la sua temperatura aumenta di 1 K.

Ad esempio, una barra di alluminio lunga 1 m si dilata mediamente di 24  $\mu\text{m}$  (0,000 024 m) all'aumentare di 1 K della sua temperatura.



#### ESEMPIO

Si calcoli l'allungamento di una barra di acciaio di lunghezza 0,5 m conseguente ad una variazione di temperatura di 30 °C (30 K):

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T = 0,000012 \cdot 500 \cdot 30 = 0,18 \text{ mm.}$$

Analogamente alla dilatazione termica lineare si definiscono la dilatazione termica superficiale ( $\beta$ ) e volumetrica ( $\gamma$ ), a seconda che le dimensioni prevalenti del corpo siano anziché una, due o tre rispettivamente. Normalmente, se la differenza di temperatura non è eccessiva, si può ritenere  $\beta = 2\alpha$  e  $\gamma = 3\alpha$ .

**Tabella 3.3** Coefficienti di dilatazione lineare media tra 20 e 100 °C di alcuni materiali metallici

| Materiali      | $\alpha$ [m/(m · K)] |
|----------------|----------------------|
| Platino        | 0,000009             |
| Ghisa          | 0,000010             |
| Acciaio        | 0,000012             |
| Nichel         | 0,000013             |
| Oro            | 0,000014             |
| Rame           | 0,000017             |
| Zinco          | 0,000017             |
| Bronzo, Ottone | 0,000018             |
| Argento        | 0,000020             |
| Stagno         | 0,000023             |
| Alluminio      | 0,000024             |
| Piombo         | 0,000029             |

### 3.4.4 Temperatura di fusione

Se riscaldiamo un pezzo di ferro fino a portarlo alla temperatura di 1535 °C il ferro fonde, cioè passa dallo stato solido a quello liquido.

Il piombo fonde invece a  $327\text{ }^{\circ}\text{C}$ , cioè a una temperatura inferiore a quella del ferro.

► La **temperatura di fusione** è la temperatura alla quale un materiale comincia a passare dallo stato solido a quello liquido.

La temperatura di fusione è caratteristica di ogni materiale ed è anche chiamata **punto di fusione**.

In modo analogo si definisce **temperatura (o punto) di solidificazione** la temperatura alla quale il liquido solidifica. Punto di fusione e di solidificazione coincidono se le velocità di riscaldamento e di raffreddamento sono sufficientemente lente.

Nella tabella 3.4 sono riportati i punti di fusione di alcuni metalli puri.

◀ **Tabella 3.4** ▶ Punti di fusione di alcuni metalli puri

| Materiali      | $T\text{ (}^{\circ}\text{C)}$ |
|----------------|-------------------------------|
| Tungsteno      | 3380                          |
| Platino        | 1769                          |
| Nichel         | 1453                          |
| Acciaio o lega | 1300-1400                     |
| Rame           | 1083                          |
| Oro            | 1063                          |
| Argento        | 960                           |
| Alluminio      | 630                           |
| Zinco          | 419                           |
| Piombo         | 330                           |
| Stagno         | 232                           |

### ► 3.4.5 Calore latente di fusione

Quando un materiale ha raggiunto la temperatura alla quale ha inizio la fusione è necessario continuare a fornire calore affinché la fusione avvenga completamente.

Questo calore che si deve continuare a fornire è detto **calore latente di fusione** (figura 3.9).

Durante la cessione di questo calore, se il materiale è un metallo puro la temperatura rimane costante.

Il calore latente evidenzia la differenza fisica fra temperatura e calore.

Solitamente, quando cediamo calore a un corpo, la sua temperatura aumenta, mentre diminuisce se lo sottraiamo.

Quando invece il corpo ha un passaggio di stato (ad esempio, passa da solido a liquido) la sua temperatura non varia anche se cede o assorbe calore.

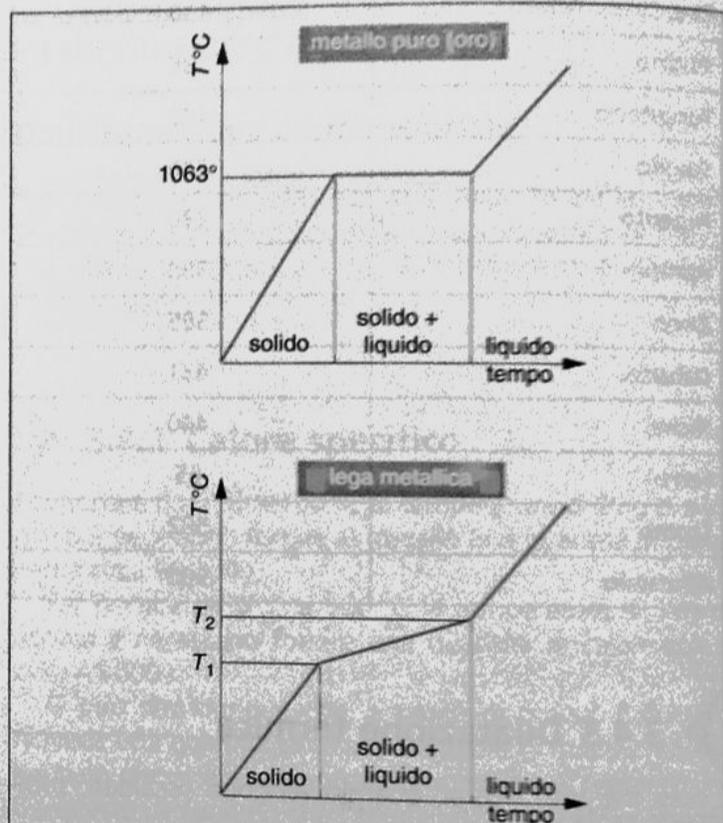
Le leghe iniziano la fusione a una temperatura ( $T_1$ ) e la completano a una temperatura superiore ( $T_2$ ).

Se riscaldiamo, ad esempio, una certa quantità di oro in un forno, notiamo che la temperatura indicata dal termo-

metro prima sale e poi si stabilizza a  $1063\text{ }^{\circ}\text{C}$  (temperatura alla quale l'oro fonde), per poi salire ancora quando l'oro è passato completamente allo stato liquido.

Le temperature rilevate a intervalli di tempo regolari vengono registrate in una tabella. In base ai dati della tabella è possibile costruire un grafico che mostra chiaramente la costanza della temperatura nel periodo entro il quale l'oro passa dallo stato solido allo stato liquido.

Se ripetiamo l'esperienza, invece che con oro puro, con una lega oro-platino, possiamo osservare che la temperatura sale sempre nel tempo, senza avere un punto di stabilizzazione, anche se durante il passaggio di stato (tra  $T_1$  e  $T_2$ ) sale meno rapidamente.



◀ **Figura 3.9** ▶ Calore latente di fusione per metalli puri e per leghe metalliche.

### ► 3.4.6 Conducibilità termica

Se riscaldiamo le estremità di due barre di metallo diverso, noteremo alle altre estremità, dopo breve tempo, due temperature diverse.

Ciò è dovuto al fatto che i due materiali hanno una diversa capacità di condurre il calore.

I materiali possono essere buoni o cattivi conduttori di calore.

► Sono **buoni conduttori di calore** il rame, l'alluminio, l'argento, l'oro e i metalli in generale, anche se in misura diversa.

Sono **cattivi conduttori di calore** l'antimonio, il polistirolo espanso, l'amianto, la lana di vetro, il legno, la porcellana e in generale i non metalli.

Negli impianti termici, ad esempio, assumono notevole importanza i materiali cattivi conduttori di calore, detti anche **isolanti**, che servono a impedire la dispersione del calore e quindi a risparmiare energia.

### 3.4.7 Conducibilità elettrica

Se prendiamo due fili di metalli differenti e applichiamo una stessa tensione ai loro capi, noteremo che essi saranno attraversati da due correnti di intensità diversa.

La intensità di corrente sarà maggiore nel filo di materiale che ha maggiore conducibilità elettrica.

La **conducibilità elettrica** è l'inverso della **resistività elettrica**. Sono buoni conduttori di elettricità il rame, l'argento, l'alluminio e i metalli in generale. Sono cattivi conduttori di elettricità il carbone, la porcellana, il vetro, il legno e i non metalli in generale, che per questo vengono detti isolanti.

La conduttività elettrica interessa la scelta dei materiali nel campo delle costruzioni elettriche.

## 3.5 Proprietà meccaniche

### 3.5.1 Tipi di sollecitazioni

Le proprietà meccaniche riguardano la capacità dei materiali di resistere alle sollecitazioni dovute all'azione di forze applicate dall'esterno, che tendono a modificarne la forma e le dimensioni.

Le forze applicate ai materiali possono essere di tipo diverso e i materiali hanno una diversa capacità di resistere ai vari tipi di forze.

Le forze infatti possono variare per il tempo di applicazione, per il punto o la superficie di applicazione, per la direzione che hanno rispetto al corpo stesso ecc.

### 3.5.2 Sollecitazioni statiche

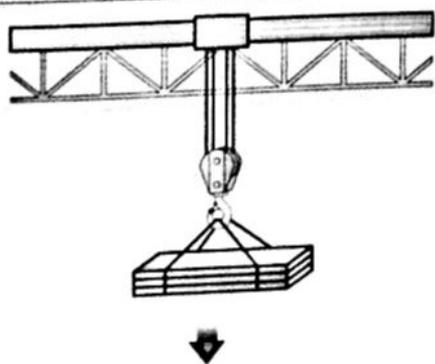
Le forze applicate con gradualità e continuità nel tempo sono dette **sollecitazioni statiche** (figura 3.10).

La capacità dei materiali di resistere a forze statiche è detta **resistenza meccanica**.

A seconda del modo in cui agiscono, le forze statiche possono generare tipi differenti di sollecitazione:

- trazione/compressione;
- torsione;
- flessione;
- taglio.

Sono soggetti, ad esempio, a sollecitazioni di trazione i ganci e le funi delle macchine di sollevamento.

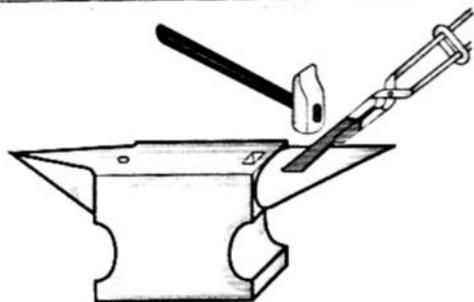


◀ Figura 3.10 ▶ Un esempio di sollecitazione statica.

### 3.5.3 Sollecitazioni dinamiche

Se le forze sono applicate in tempi brevi (ad esempio sotto forma di urto, per meno di 1/10 di secondo), vengono dette **sollecitazioni dinamiche** (figura 3.11).

La resistenza dei materiali alle forze dinamiche è detta **resilienza**. Sono soggetti a questo tipo di sollecitazioni, ad esempio, i martelli o le mazze dei magli e le incudini.

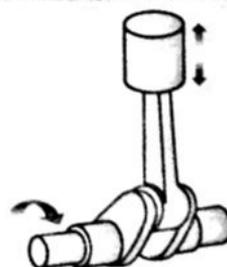


◀ Figura 3.11 ▶ Un esempio di sollecitazione dinamica.

### 3.5.4 Sollecitazioni periodiche

Quando le sollecitazioni hanno un carattere ripetitivo nel tempo (come ad esempio nel caso delle sollecitazioni che agiscono decine di volte ogni secondo), vengono dette **sollecitazioni periodiche** (figura 3.12). La resistenza dei materiali alle forze periodiche è detta **resistenza a fatica**.

Sono soggetti a queste sollecitazioni, ad esempio, gli alberi a gomito e le bielle.

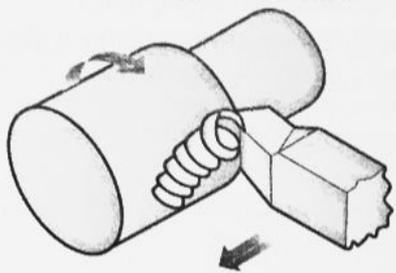


◀ Figura 3.12 ▶ Un esempio di sollecitazione periodica.

### 3.5.5 Sollecitazioni concentrate

La resistenza dei materiali a sollecitazioni applicate in zone ristrette o puntiformi cioè a *sollecitazioni concentrate* è detta **durezza** (figura 3.13).

Sono soggetti a queste sollecitazioni, i materiali lavorati mediante asportazione di truciolo.

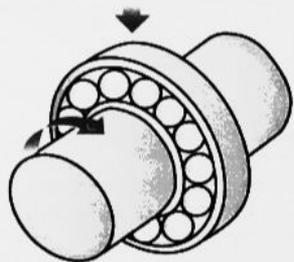


◀ **Figura 3.13** ▶ Un esempio di sollecitazione concentrata.

### 3.5.6 Resistenza di attrito

La resistenza dei materiali a forze applicate su contatti mobili sia di rotolamento che di strisciamento, cioè alle *sollecitazioni di usura* è detta **resistenza all'usura** (figura 3.14).

Sono soggetti a questi sforzi gli organi meccanici di trasmissione (ruote dentate), gli alberi e i cuscinetti, le guide di scorrimento.



◀ **Figura 3.14** ▶ Un esempio di forza d'attrito.

### 3.5.7 Tipi di sollecitazioni statiche

Si definisce sollecitazione l'insieme di forze esterne (o carichi) agenti su di un corpo.

I vari tipi di sollecitazione si distinguono in base alla direzione di applicazione delle forze rispetto all'asse geometrico del solido.

I principali tipi di sollecitazione sono:

- trazione;
- compressione;
- torsione;
- flessione;
- taglio.

Questi tipi di sollecitazioni sono chiamate **sollecitazioni semplici**.

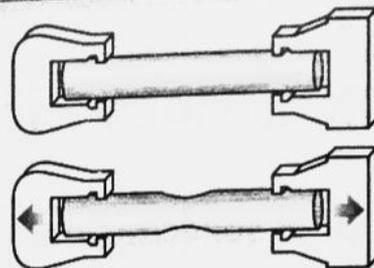
Ovviamente, un solido può essere sottoposto a più di una sollecitazione semplice contemporaneamente.

In questo caso si hanno **sollecitazioni composte**.  
Ad esempio, un albero di trasmissione è in genere sottoposto a sollecitazioni di torsione e di flessione contemporaneamente.

### Sollecitazione di trazione

Un corpo si dice sollecitato a *trazione* quando due forze di uguale intensità sono dirette con verso opposto lungo l'asse geometrico del corpo e tendono ad allungarlo (figura 3.15).

È il caso, ad esempio, delle funi metalliche o delle catene che sorreggono carichi sospesi.

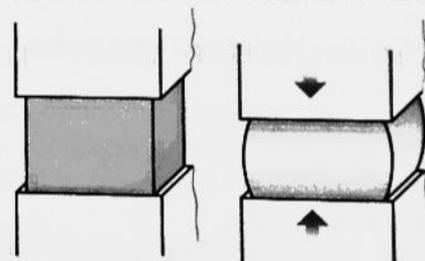


◀ **Figura 3.15** ▶ Un esempio di sollecitazione di trazione.

### Sollecitazione di compressione

Un corpo si dice sollecitato a *compressione* quando le forze, dirette lungo l'asse con verso opposto, tendono ad accorciarlo (figura 3.16).

È il caso, ad esempio, dei basamenti delle macchine utensili, dei pilastri negli edifici, dei pezzi stretti nella morsa ecc.

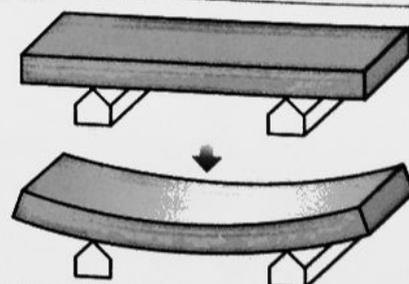


◀ **Figura 3.16** ▶ Un esempio di sollecitazione di compressione.

### Sollecitazione di flessione

Un corpo è sollecitato a *flessione* quando la forza applicata tende a piegarlo o a fletterlo (figura 3.17).

La direzione della forza è perpendicolare all'asse del pezzo e giace in un piano passante per l'asse geometrico stesso.



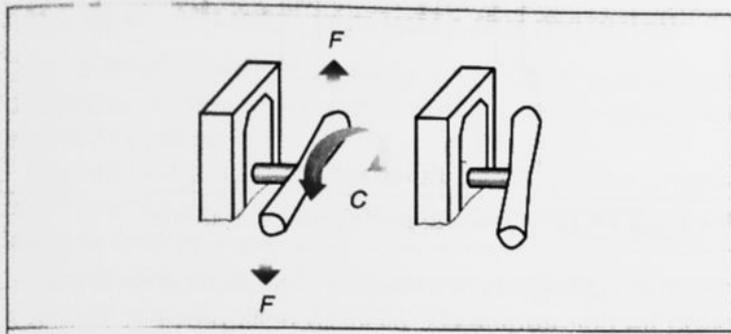
◀ **Figura 3.17** ▶ Un esempio di sollecitazione di flessione.

Questa sollecitazione è caratteristica, ad esempio, delle travi, degli alberi di trasmissione, dei bracci di sostegno, dei denti degli ingranaggi ecc.

## Sollecitazione di torsione

Un corpo è sollecitato a *torsione* quando è sottoposto a una coppia di forze che tende a far ruotare una sezione del pezzo rispetto alla sezione immediatamente adiacente (figura 3.18).

Le forze giacciono sul piano perpendicolare all'asse del pezzo e tendono a torcerlo.



◀ **Figura 3.18** ▶ Un esempio di sollecitazione di torsione.

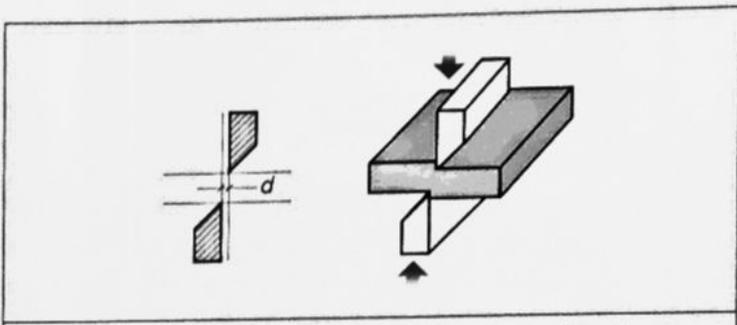
È questa la sollecitazione cui sono sottoposti, ad esempio, gli alberi di trasmissione di una macchina, le maniglie delle porte ecc.

## Sollecitazione di taglio

Un corpo è sollecitato a *taglio* per effetto di due forze di verso opposto applicate in due sezioni vicine della trave (figura 3.19).

La sollecitazione a taglio si ha nella chiodatura delle lamiere, nelle linguette per pulegge, negli spinotti ecc.

Il caso tipico di sollecitazione a taglio è quello di una lamiera sottoposta all'azione della cesoia.



◀ **Figura 3.19** ▶ Un esempio di sollecitazione di taglio.

## ➤ 3.6 Resistenza a trazione

Come si è detto, la **resistenza meccanica** è la capacità dei materiali di resistere a forze statiche esterne, tendenti a modificarne la forma e la dimensione.

La resistenza meccanica dei materiali ai vari tipi di sollecitazione statica può essere misurata con prove specifiche di trazione, di compressione, di torsione, di flessione, di taglio ecc.

La prova più importante è quella di trazione statica, dalla quale si rilevano le proprietà di resistenza, di deformabilità e di elasticità del materiale, cioè tutte le proprietà mediante le quali si classificano, si designano e si scelgono i materiali.

La prova di trazione è normata dalla **UNI EN 10002:2004**. La norma specifica il metodo di prova di trazione dei materiali metallici e definisce le caratteristiche meccaniche che tale prova consente di determinare a temperatura ambiente.

Infatti, la conoscenza della resistenza a trazione di un materiale permette di stabilire, mediante calcoli appropriati, anche i valori relativi agli altri tipi di resistenza meccanica, senza dover ricorrere alle prove specifiche.

Le prove specifiche di compressione, di taglio, di flessione e di torsione vengono eseguite solo in casi particolari; ad esempio, nel collaudo di pezzi finiti.

### ➤ 3.6.1 Prova di trazione statica \_\_\_\_\_

La prova consiste nel sottoporre una provetta unificata del materiale in esame a un carico di trazione applicato gradatamente e con continuità fino a provocarne la rottura.

Le variazioni di lunghezza con l'aumentare del carico applicato vengono registrate per punti (e allora si ottiene una tabella) o in modo continuo (e allora si ottiene un grafico).

Generalmente, un materiale sottoposto a trazione crescente manifesta quattro momenti o fasi differenti di allungamento:

- elasticità;
- elasticità e plasticità;
- snervamento;
- rottura.

### ➤ 3.6.2 Macchina per le prove di trazione \_\_\_\_\_

In figura 3.20, a pagina seguente, è illustrata una macchina per le prove di trazione su provette unificate.

In genere, le macchine per le prove di trazione sono di tipo universale, cioè sono in grado di eseguire anche prove di flessione, compressione, taglio e piegamento.

La macchina è costituita da una incastellatura che regge

ESERCIZI DI COMPITO PER LE VACANZE ESTIVE

**TECNOLOGIA MECCANICA E DEI MATERIALI**

**ANNO I°**

1)

Un'azienda meccanica ha un fondo di magazzino di barre cilindriche di vari materiali metallici.

Volendo conoscere il peso totale delle barre viene richiesto di calcolare:

il volume di ogni barra

la massa di ogni barra

la massa totale

Le dimensioni e il materiale di ogni barra è riportato nella tabella sottostante

Riportare su un foglio i dati, le conversioni delle unità di misura, i calcoli e i risultati.

| <b>Numero</b> | <b>Diametro <math>\phi</math></b> | <b>Lunghezza</b> | <b>Materiale</b> |
|---------------|-----------------------------------|------------------|------------------|
| 1             | 50 mm                             | 3000 mm          | acciaio          |
| 2             | 75 mm                             | 2,5 m            | alluminio        |
| 3             | 10 cm                             | 300 cm           | rame             |
| 4             | 81 mm                             | 3 m              | acciaio          |
| 5             | 22 cm                             | 220 cm           | acciaio          |
| 6             | 1,5 dm                            | 25 dm            | acciaio          |
| 7             | 8 cm                              | 600 cm           | rame             |
| 8             | 140 mm                            | 2000 mm          | alluminio        |
| 9             | 3 dm                              | 6 m              | alluminio        |
| 10            | 32 mm                             | 3000 mm          | titanio          |

Per la densità "p" si considerino i seguenti valori:

acciaio 7800 kg/m<sup>3</sup>,

alluminio 2700 kg/m<sup>3</sup>,

rame 8900 kg/m<sup>3</sup>,

titanio 4500 kg/m<sup>3</sup>

2)

Prepara una ricerca di una pagina su ALLUMINIO, RAME, TITANIO riportando i valori di densità (o massa volumica) e temperatura di fusione, poi descrivi le loro proprietà meccaniche e tecnologiche.

3)

Effettuare la designazione degli acciai e delle ghise in tabella:

| <b>Numero</b> | <b>Sigla</b>                 |
|---------------|------------------------------|
| 1             | <i>16 Mn Cr 5</i>            |
| 2             | <i>C40</i>                   |
| 3             | <i>S420</i>                  |
| 4             | <i>36 Ni Cr Mo 16</i>        |
| 5             | <i>40 Cr Mo V 4</i>          |
| 6             | <i>X 205 Cr 12</i>           |
| 7             | <i>HS 6-5-2-5</i>            |
| 8             | <i>X 2 Cr Ni Mo N 22-5-3</i> |
| 9             | <i>E360</i>                  |
| 10            | <i>C35</i>                   |
| 11            | <i>EN-GJL-100</i>            |
| 12            | <i>EN-GJS-400-22</i>         |
| 13            | <i>EN-GJL-350</i>            |
| 14            | <i>EN-GJS-500-7</i>          |