MISURAZIONI E MISURE

Nel momento in cui studiamo una proprietà di un corpo materiale, vediamo se questa risponde in modo positivo o negativo alla nostra considerazione.
Possiamo includerlo o escluderlo da un insieme di appartenenza.
Nel metodo scientifico sperimentale non ci deve essere ambiguità, non è data una possibilità intermedia (*tertium non datur*).
Se una **proprietà** è **confrontabile** con altre dello stesso tipo (**grandezze omogenee**), possono essere evidenziati i concetti di **uguale**, di **maggiore** o di **minore**.
Dal confronto tra grandezze omogenee (**operazione di misurazione**) deriva quindi la possibilità di ricavare delle misure.
Nella descrizione di un corpo materiale o di un fenomeno noi introduciamo le misure delle grandezze misurabili che vi compaiono. Non ci fermiamo più a valutare il fenomeno in **termini qualitativi**, ma vogliamo fare delle **considerazioni quantitative**.
Ad ogni **classe di fenomeni** corrispondono delle **grandezze fisiche diverse**.
Per ogni grandezza esiste (o si può tentare di costruire) uno **strumento di misura** che è (o dovrebbe) essere in grado di fornire delle informazioni del tutto obiettive: all'osservatore non è infatti permesso di interferire. Le valutazioni soggettive dell'osservatore non sono infatti contemplate nel metodo sperimentale.

Diciamo quindi che:

1. **grandezze fisiche** sono considerate solo quelle proprietà dei corpi per le quali è possibile eseguire **praticamente** (cioè con qualche strumento) una serie di operazioni che consentono di misurarle;
2. è **grandezza fisica** tutto ciò cui è possibile attribuire un **nome**, ma soprattutto associare una **misura**;
3. **misurare una grandezza** fisica significa eseguire un **confronto quantitativo** fra questa grandezza ed un'altra **grandezza omogenea** (della stessa specie) che viene assunta come **unità di misura**;
4. la **misurazione** è l'**insieme delle operazioni** mediante le quali si effettua il confronto quantitativo tra grandezze omogenee;
5. la **misura della grandezza** esprime il **risultato della misurazione**.

Esempio:
«Questa sbarra è lunga 38 cm».
La frase ci dice che:

1. abbiamo scelto di misurare (confrontare) la proprietà fisica della **lunghezza**;
2. abbiamo scelto di utilizzare il **centimetro** (e non il metro) come **unità di misura** di comodo;
3. abbiamo verificato praticamente che la misura (**38**) indica che «*la lunghezza del centimetro è contenuta 38 volte nella lunghezza della sbarra presa in considerazione*». Il valore numerico 38 esprime quindi questo rapporto, derivato dal confronto.

Grandezze scalari

Le grandezze scalari sono grandezze fisiche omogenee che si possono sommare algebricamente. Per esempio se ho un **volume** V_1 ed un volume V_2 posso eseguire la somma $V_1 + V_2 = V_3$.

Grandezze vettoriali

Le grandezze vettoriali sono grandezze fisiche omogenee che non si possono sommare algebricamente. Per esempio se ho uno **spostamento** S_1 ed uno spostamento S_2 non posso eseguire la somma algebrica $S_1 + S_2 = S_3$. devo ricorrere alla geometria dei vettori e alla **somma vettoriale**, applicando la **regola del parallelogramma**.

METODI PER LA MISURAZIONE DELLE GRANDEZZE FISICHE

IL METODO DIRETTO

Misurare una grandezza con il metodo diretto significa porla a confronto diretto con l'unità di misura, con i suoi multipli (o sottomultipli).

Esempio:

Si abbia a disposizione una striscia di carta, lunga **a**.

Se assumiamo come unità di misura il **decimetro** (**u**), possiamo per esempio affermare che, in seguito a confronto diretto (cioè mettendo il regolo del decimetro e la striscia di carta ad immediato contatto), si ottiene: **a > u**.

Questo però non ci soddisfa e andiamo oltre. Prendiamo un secondo regolo di decimetro e lo suddividiamo in dieci parti uguali. Otteniamo delle nuove unità di misura che chiamiamo singolarmente **centimetro** e che simboleggiamo con la scritta (**u/10**).

Accodiamo il secondo decimetro, così suddiviso, all'estremità del primo e osserviamo che la nostra striscia di carta, di lunghezza **a**, termina tra la 4ª e la 5ª tacca del decimetro suddiviso in centimetri.

E' quindi possibile affermare che la lunghezza fisica reale della nostra striscia di carta è:

$$[\ 1 + (4/10)]\ \mathbf{u} < \mathbf{a} < [\ 1 + (5/10)]\ \mathbf{u}.$$

Se ci fosse una scala suddivisa ancora più fittamente, la misura risulterebbe più precisa.

Rispetto alla Geometria classica di Euclide (in cui il matematico compie le operazioni mentalmente, per cui può spingere il ragionamento al limite), si ricava che nella Fisica e nel metodo scientifico sperimentale più in generale **non si possono avere mai delle misure esatte**.

Si ottengono infatti delle misure che tendono ad avvicinarsi al valore reale della grandezza fisica per l'oggetto considerato e che il risultato che noi otteniamo è **«il valore che più probabilmente si avvicina alla realtà»**.

- **L'errore assoluto nelle misurazioni dirette**

Riprendiamo l'esempio precedente.

Noi sappiamo *sicuramente* quanto segue: che la lunghezza reale **a** della nostra striscia di carta si colloca tra la tacca del 14° cm e quella del 15° cm.

Però dove sia esattamente, in questo intervallo, non lo sappiamo.

La **sensibilità** (o **suddivisione di scala)** del nostro strumento è quella del **centimetro**.

Definiamo quanto segue:

- **limite minimo**: cm 14
- **limite massimo**: cm 15
- **errore assoluto**:
  = (limite massimo – limite minimo)/2
  = [(15 – 14)/2] cm = 0,5 cm

Il valore ottenuto (0,5 cm) è detto **errore assoluto** o **incertezza assoluta** della misura ottenuta. Come si **vede, vale la metà dell'intervallo tra due tacche della scala strumentale**.

L'errore assoluto va espresso nella stessa unità di misura della lunghezza.

La valutazione dell'errore assoluto da parte dello sperimentatore non è cosa facile e richiede un lavoro molto accurato. Generalmente l'errore assoluto dipende da imperfezioni dei campioni usati, da difetti strumentali, ecc.

Definiamo inoltre quanto segue:

- **limite minimo**: cm 14
- **limite massimo**: cm 15
- **limite medio**:
  = (limite massimo + limite minimo)/2

= [(15 + 14)/2] cm = 14,5 cm

Ecco che **il limite medio** è **«il valore che più probabilmente si avvicina alla realtà»**.

Quanto esposto può essere formulato in questo modo:

valore reale = (limite medio ± errore assoluto) cm

valore reale = (14,5 ± 0,5) cm

- **L'errore relativo**

Per **valutare la precisione di una misura** è opportuno considerare anche l'errore relativo e la suddivisione della scala.
Se la scala fosse suddivisa in millimetri potremmo, per esempio, definire quanto segue:

- **limite minimo**: mm 143
- **limite massimo**: mm 144
- **limite medio**:
  = (limite massimo + limite minimo)/2
  = [(144 + 143)/2] mm = 143,5 mm
- **errore assoluto**:
  = (limite massimo – limite minimo)/2
  = (144 - 143)/2 = 0,5 mm

Quanto esposto può essere formulato in questo modo:

valore reale = (limite medio ± errore assoluto) mm

valore reale = (143,5 ± 0,5) mm

Nella misura precedente l'errore assoluto era di 0,5 cm, cioè 5 mm; nel secondo caso è di 0,5 mm. **Quale delle due misure è più precisa?**
La valutazione si fa mettendo in rapporto l'errore assoluto con il valore medio:

errore relativo = (errore assoluto)/(valore medio)

L'errore relativo e l'errore relativo percentuale sono adimensionali, cioè espressi da numeri puri.
Nel primo caso si ha:

- errore relativo = (0,5 cm)/(14,5 cm) = 0,0345
- errore relativo percentuale = 3,45

Nel secondo caso si ha:

- errore relativo = (0,5 mm)/(143,5 mm) = 0,0035
- errore relativo percentuale = 0,35

E' però necessario fare tutti i calcoli. Che succederebbe per esempio se sbagliassi di un metro ogni 10 metri? E se sbagliassi di un metro ogni 100 km? Se il bambino perde l'unico euro che ha in tasca per comperarsi le caramelle, ha perso tutto; se lo perde Giovanni Agnelli… forse non sapeva neanche di averlo in tasca!

IL METODO DEGLI STRUMENTI TARATI

Per misurare delle grandezze fisiche, nel mondo della ricerca scientifica e della tecnica, si fa spesso uso di apparecchiature particolari che definiamo **strumenti tarati**.
In essi è rappresentata una scala che ci permette di verificare quanto segue:

- lo **zero della scala** (o valore iniziale della scala) è la posizione di riposo dell'indice (generalmente un ago sottile); in questo caso lo strumento non viene ancora utilizzato per effettuare alcuna operazione di misura; la **taratura a zero** avviene in queste condizioni;
- il **valore di fondo scala** è la **portata massima dello strumento**; bisogna fare attenzione a non superarla perché altrimenti lo strumento potrebbe risultare danneggiato in permanenza, e quindi inutilizzabile per successive operazioni di misura;
- la **sensibilità dello strumento** aumenta se è in relazione con la suddivisione della scala in intervalli sempre più piccoli.

E' da notare che **la sensibilità strumentale e la portata hanno significato inversamente proporzionale**: se voglio pesare 120 grammi d'oro non uso la pesa pubblica o la bilancia del mugnaio, ma uso la bilancia di precisione di un orefice; se voglio pesare 50 quintali di sabbia uso chiaramente la pesa pubblica.

In uno **strumento analogico** tarato, il valore della grandezza viene individuato in base alla posizione dell'indice mobile (es.: ago) sulla scala graduata, la cui taratura primaria viene effettuata sempre dal costruttore.
Con la diffusione dell'elettronica, sono diventati sempre più frequenti gli **strumenti digitali a cristalli liquidi**, nel cui display è possibile leggere direttamente la sequenza di cifre che identificano il valore medio di una serie di n valori.

- **L'errore negli strumenti tarati**

Non esiste uno strumento perfetto, esente da errori. Infatti il valore che esso ci fornisce si discosta sempre o per eccesso o per difetto dal valore fisico reale che noi vorremmo misurare esattamente.
Lo strumento ha sempre qualche imperfezione di costruzione. Si può tentare di ridurre questa situazione spiacevole, ma non è mai possibile eliminarla completamente.
Il costruttore ha l'avvertenza di fornire, con un'**etichetta allegata allo strumento**, l'**errore percentuale** da cui sono affette le misure effettuate.
Questo errore percentuale identifica la **classe di appartenenza dello strumento**.

> **Esempio**:
> Sia una **bilancia con indicatore ad ago**, che ha il **fondo scala a 60 kg**.
> Lo strumento è contrassegnato con la **classe di appartenenza 1,5**.
> Questo significa che ogni misura effettuata è interessata da un errore assoluto pari all'1,5% del valore di fondo scala.
> Cioè:
> **errore relativo = (errore assoluto) x (valore di fondo scala)**
> = [(1,5 x 60)/100] kg = 0,9 kg.
> Se, ad esempio, l'ago indicasse la tacca di 40 kg, la misura fisica reale potrebbe cadere in qualsiasi valore del seguente intervallo: X = (40 ± 0,9) kg.

E' chiaro che la precisione dello strumento tanto più elevata quanto più la misura è prossima al valore di fondo scala (valore che comunque, come detto è bene non superare, per non danneggiare per sempre lo strumento).

Se per caso il costruttore non ha indicato la classe di appartenenza di uno strumento con la scala suddivisa in modo regolare, si considera l'errore assoluto come la metà della sensibilità della scala (vedi: metodo diretto).

IL METODO INDIRETTO

Non sempre è possibile misurare direttamente le grandezze fisiche desiderate.
In questo caso si ricorre a misurare due o più grandezze correlate ed ai relativi strumenti di misura.
Esempi:

- Con un cronometro misuro il tempo di caduta di un sasso; con un metro misuro da quale altezza è caduto; con delle appropriate formule matematiche (che qui non trattiamo) posso ricavare la velocità con cui arriva al suolo e la accelerazione di gravità locale.
- Con il sonar conosco la velocità di propagazione degli ultrasuoni nell'acqua. Dimezzando il tempo che intercorre tra l'invio del segnale e la sua ricezione sulla nave appoggio riesco a calcolare la profondità del fondale o quella, per esempio, di un sottomarino. I pipistrelli sfruttano lo stesso principio, muovendosi velocissimi ad esempio nelle grotte o durante i voli notturni.

- **L'errore nelle misurazioni indirette**

Come si è visto, gli errori nelle misurazioni derivano da difetti strumentali o dalla loro cattiva taratura. Oltre a questo, ci possono essere variazioni di temperatura, di pressione, ecc. che ci portano ad avere delle condizioni diverse da quelle in cui il costruttore ha effettuato la taratura ufficialmente certificata dal suo ciclo produttivo.
Se poi aggiungiamo un cattivo impiego dello strumento da parte dell'utente, si ottiene una situazione che è interessata sempre più da una serie di **errori sistematici**.

- **Valutazione degli errori casuali**

E' sempre buona norma non fidarsi del valore ottenuto da una sola operazione di misurazione. L'esperienza ci insegna che, ripetendo diverse volte la prova sperimentale, possiamo ottenere risultati che si discostano l'uno dall'altro in modo più o meno marcato. Questi **errori casuali** sono di piccola entità, di segno opposto (una volta sbaglio per eccesso e la volta dopo, magari, per difetto) e non possono essere eliminati.

Secondo la **logica probabilistica**, considerando le compensazioni reciproche per eccesso e per difetto, si ottiene che **il valore più attendibile risulta il valore medio di una serie di n misurazioni**:

$$\textbf{valore medio } v_m = (v_1 + v_2 + \ldots + v_n)/ n$$

L'**errore assoluto** è: $e_a \leq (v_{max} - v_{min})/2$

Il valore accettabile è quindi: $v_{accettabile} = (v_{medio} \pm e_a)$.