

FISICA (APPLICATA)

Modulo 3 del corso integrato in Scienze
Chimico-Fisiche [OG4ME-3]

Prof. Francesco Scazze; e-mail: francesco.scazze@units.it

TESTO CONSIGLIATO

E. Ragozzino "Elementi di Fisica"

Capitoli : 1, 2, 3, 4, 5.1-12, 6.1-4, 7.1-5,
8.1-11, 9.1-3

Visto il tempo a disposizione (~20 ore) non
potremo affrontare tutti gli argomenti con lo
stesso livello di dettaglio del libro.
E' comunque consigliato come riferimento.

Domande propedeutiche :

- vettori?
- Derivate / integrali?

LEZIONE 1

Concetti fondamentali: grandezze fisiche, dimensioni e unità di misure.

Notazione scientifica e prefissi.

Valor medio ed errore quadratico medio.

Cifre significative ed arrotondamento.

Fenomeni fisici: fenomeni descritti tramite relazioni matematiche che legano diverse grandezze, dette grandezze fisiche.

Ogni grandezza fisica deve poter essere associata ad un valore numerico, espresso in una opportuna unità di misure. Proprio per questo, ogni grandezza fisica deve poter essere misurata operativamente.

Distinzione tra fenomeni fisici e chimici: generalmente si considerano fenomeni fisici quelli che non alterano la struttura chimica di un corpo coinvolto, ma vi sono eccezioni, es. decadimento radioattivo.

Es. grandezza fisica : Lunghezza

Procedura di misura delle lunghezze dipende dal sistema fisico. Ad es., per misurare la lunghezza delle cattedre dovrà usare un metro, mentre per misurare la lunghezza di una cellula o di un batterio dovrà ricorrere ad altri strumenti di misura, come il microscopio ottico.

↳ **CONCETTO OPERATIVO DI
GRANDEZZA FISICA**

Leggi fisiche : relazioni fra grandezze
fisiche

→ devono essere verificabili!
(metodo sperimentale, Galileo)

Le leggi fisiche permettono di misurare **indirettamente** grandezze, tramite misure **dirette** di altre grandezze.

Es. velocità $v = \frac{l}{t}$

l = lunghezza

t = tempo

→ misuriamo la velocità v di una macchina, misurando quanto tempo t le occorre a percorrere una certa distanza l .

Alcune delle grandezze che abbiamo imparato a misurare più precisamente sono dette grandezze **fondamentali**, e definiscono il cosiddetto **sistema internazionale di unità di misura**.

Le grandezze fondamentali sono indipendenti fra loro, ed hanno **unità di misura** non in relazione fra loro.

Il S.I. è concordato internazionalmente.

Tutte le altre grandezze sono dette **derivate**.

Le unità di misura delle grandezze fondamentali vengono fissate in modo arbitrario, ma conveniente.

↳ agevole da misurare

↳ ben riproducibile / non variabile nel tempo

Es. lunghezze, tempo, massa ...

S.I. di misura

Grandezze	Unità di misure	Simbolo unità
Tempo	Secondo	s
Lunghezze	Metro	m
Massa	Kilogrammo	kg
Temperature	Kelvin	K
Intensità corrente	Ampère	A
Quantità di sostanze	Mole	mol

Nella più recente versione del S.I., le unità di misure sono definite sulle base dei valori di alcune costanti fondamentali, di cui conosciamo il valore con alta precisione (che a questo punto diventa esatto per definizione... fino al prossimo aggiornamento).

Es. il secondo

$1\text{ s} = (9.192.631.770) \times$ periodo oscillazione delle transizioni iperfina nello stato fondamentale dell'atomo di Cesio 133.

$$\hookrightarrow \Delta\nu_{\text{Cs}} = 9.192.631.770 \text{ s}^{-1}$$

il metro

$1 \text{ m} = (299.792.458) \times$ lunghezza percorsa dalla luce in 1 s

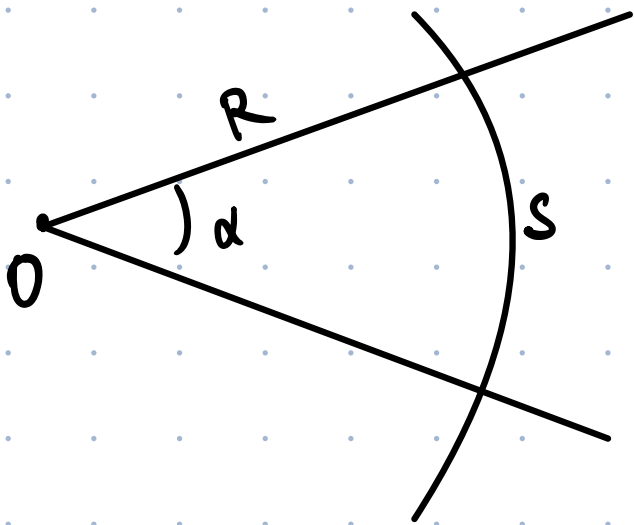
$$\hookrightarrow c = 299.792.458 \text{ m/s}$$

$1 \text{ kg} \rightarrow$ tramite $\text{m}, \text{s} + h$: costante di Planck

Questo sistema ha sostituito il precedente che era basato su manufatti, come il metro standard di platino-iridio.

Molto importanti anche grandezze **adimensionali**
→ definite come rapporti tra grandezze dimensionali.

Es. Angolo in radianti



$$\alpha = \frac{s}{R}$$

→ Angolo retto (90°): $s = \frac{2\pi R}{4} \rightarrow \alpha = \frac{2\pi R}{4R} = \frac{\pi}{2}$

→ Angolo piatto (180°): $s = \frac{2\pi R}{2} \rightarrow \alpha = \pi$

→ Angolo giro (360°): $s = 2\pi R \rightarrow \alpha = 2\pi$

Domanda:

- Angolo di 45° in radianti?

$$\frac{45^\circ}{180^\circ} = \frac{\alpha}{\pi} \rightarrow \alpha = \pi \frac{45^\circ}{180^\circ} \approx 3.141 \cdot \frac{1}{4} \\ = 0.785$$

- Angolo di $\frac{\pi}{3}$ rad in gradi?

$$\frac{\pi/3}{\pi} = \frac{\theta^\circ}{180^\circ} \rightarrow \theta^\circ = 180^\circ/3 = 60^\circ$$

Notazione scientifica

Esprimere valori numerici usando le potenze di 10

- Es. • Distanza fra terra e Sole

$$149500000000 \text{ m}$$

$$= 1.495 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

- Frequenze delle transizioni iperfine del Cesio 133

$$9.192.631.770 \text{ Hz} \sim 9,192631770 \cdot 10^9 \text{ Hz}$$

- Raggio di Bohr (atomo idrogeno): $5.293 \cdot 10^{-11} \text{ m}$

MULTIPLI E SOTTO-MULTIPLI DELLE UNITA' DI MISURA

Valore	Prefisso	Simbolo	Esempio
10^3	chilo	k	km
10^6	mege	M	MW, MHz
10^9	gige	G	GB, GHz
10^{12}	tere	T	TB, THz
10^{15}	pete	P	PW
⋮	⋮	⋮	⋮
10^{-1}	deci	d	$dm^3 = \text{litri}$
10^{-2}	centi	c	cm, cl
10^{-3}	milli	m	mm, ms, mK, ml
10^{-6}	micro	μ	$\mu m, \mu s, \mu l$
10^{-9}	nano	n	nm, ns
10^{-12}	pico	p	ps, pm
10^{-15}	femto	f	fs

Es. • Terre - Sole $d = 149,5 \text{ Gm}$
 $= 0,1495 \text{ Tm}$

• Freq. Cesio-133 $\Delta\nu_{Cs} \approx 9.192 \text{ GHz}$

• Volume di una vasca $\sim 80 \text{ litri}$
 $= 80 \text{ dm}^3 = 8 \cdot 10^1 \cdot (10^{-1} \text{ m})^3 = 8 \cdot 10^1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 8 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$

Domanda:

- Una lumaca percorre $1.3 \cdot 10^4 \mu\text{m/s}$
Qual è la sua velocità in km/h ?

$$v = 1.3 \times 10^4 \mu\text{m/s} = 1.3 \cdot 10^4 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$
$$= 1.3 \cdot 10^{-2} \text{ m/s} \quad 1 \text{ hr} = 60 \times 60 \text{ s}$$
$$= 3600 \text{ s}$$

$$= 1.3 \cdot 10^{-5} \text{ km/h (1/3600)}$$

$$= 3.6 \cdot 10^3 \times 1.3 \times 10^{-5} \text{ km/h}$$

$$= 4.68 \cdot 10^{-2} \text{ km/h} \sim 0.05 \text{ km/h}$$

oppure 50 m/h

- Un individuo ha in media 75 pulsazioni/min.
Quante è il numero totale di pulsazioni in una vita media di 80 anni?

$$\text{min. in 1 anno: } N_{\text{min}} = 365 \cdot 24 \cdot 60 =$$
$$= 525600 = 5.256 \cdot 10^5$$

$$N_{\text{puls}} = 80 \cdot N_{\text{min}} \cdot 75 =$$

$$= 5.256 \cdot 10^5 \cdot 8 \cdot 10^1 \cdot 7.5 \cdot 10^1 =$$

$$= 2.94336 \cdot 10^2 \cdot 10^5 \cdot 10^1 \cdot 10^1 =$$

$$= 2.94336 \cdot 10^9$$

Valor medio ed errore

Cifre significative / arrotondamento

APPROSSIMAZIONI NUMERICHE

Nelle attività scientifiche e industriali, è spesso necessario approssimare i risultati o, come spesso si usa dire, **arrotondarli**. Non esistono regole generali che indichino in che misura e quando eseguire l'approssimazione: sarà perciò solo l'esperienza a suggerire di volta in volta la più opportuna approssimazione di un risultato numerico.

Cercheremo di segnalare alcuni casi particolarmente significativi.

Una prima regola è quella di non voler a tutti i costi fornire un risultato con molte cifre con il pericolo che l'intero risultato venga a perdere credibilità. Non è il numero di cifre dopo la virgola che aumenta la precisione di una misura, ma il modo con cui si è proceduto alla sua effettuazione.

Esempio. Supponiamo di voler misurare la statura media di un gruppo di 43 persone servendoci di un metro graduato in mm e sia 7586 cm la somma di tutte le stature; (174,3; 170,9; 168,6;...).

La statura media è data da $7586/43 \text{ cm} = 176,4186 \text{ cm}$.

Però, affermare che la statura media del gruppo è questa non ha alcun senso, perché vorrebbe dire che siamo stati in grado di misurare la statura media fino a 1 millesimo di millimetro (6) , con uno strumento con il quale possiamo apprezzare il mezzo millimetro. Dovremo perciò esprimere il risultato come 176,4 m. In questo caso siamo ricorsi a un'approssimazione per difetto, avendo ignorato il contributo additivo di 0,186 mm.

Non ha alcun significato pretendere di esprimere il risultato di una misura o eseguire calcoli con un numero di cifre decimali superiori a quelle dei dati forniti dallo strumento. (Prima si arrotonda e poi si fanno le operazioni)

Il criterio generale che si segue nelle **approssimazioni per arrotondamento** è il seguente:

- a) se la prima cifra da eliminare (cifra di controllo) è *minore* di 5, le cifre conservate restano invariate (**arrotondamento per difetto**);
- b) se la cifra di controllo è maggiore di 5 o uguale a 5 seguito da almeno una cifra diversa da zero, l'ultima cifra conservata deve essere aumentata di 1 (**arrotondamento per eccesso**);
- c) se la cifra di controllo è 5 seguita solo da zeri, l'arrotondamento può essere eseguito sia per eccesso sia per difetto.

MISURE ED ERRORI DELLO STRUMENTO

Ogni strumento di misurazione è caratterizzato da:

prontezza (inverso del tempo di risposta)

sensibilità

precisione.

portata

1) **prontezza** è data dalla rapidità di risposta dello strumento.

Numericamente la prontezza è data dal **reciproco dell'intervallo di tempo Δt richiesto dallo strumento per raggiungere lo stato di equilibrio** (il 90 % del valore finale) e quindi dare una risposta. Uno strumento che risponde in un millesimo di secondo ha una prontezza di 10^3 sec^{-1} .

Un termometro a mercurio con grande bulbo, una grande massa di mercurio, grande inerzia termica e quindi impiega molte tempo per raggiungere l'equilibrio termico. Ha una piccola prontezza.

Una copia termoelettrica nella quale il movimento delle cariche elettriche è rapidamente influenzato dalle variazioni di temperatura, avrà una grande prontezza.

2) **precisione.**

Da non confondere la precisione dello strumento con la precisione della misura che dipende da tutti gli errori che vengono commessi.

La precisione di uno strumento è legata alle **caratteristiche costruttive dello strumento stesso** (caratteristica intrinseca e non dipende in generale da come lo si usa).

La precisione di una misura dipende dalla qualità dello strumento impiegato, dalla tecnica di misura, dalla abilità dell'osservatore (**Errori Sistematici+ Errori casuali**).

3) **sensibilità** è legata alla più piccola variazione della grandezza da misurare che lo strumento è in grado di apprezzare. E' definita numericamente dal

reciproco della minima variazione misurata. Una bilancia in grado di apprezzare variazioni di un milligrammo ha una sensibilità di 10^3 g^{-1} .

Per gli strumenti analogici, con scala graduata e indice, la più piccola variazione misurabile è data dalla distanza tra due tacche successive, mentre negli strumenti digitali la sensibilità riguarderà l'ultima cifra che compare sul visore.

Non confondere Precisione dello strumento o la precisione della misura. Si possono fare misure con un cronometro con una Sensibilità di 1/100 di secondo nelle quali i tempi di reazione dell'operatore di 1/10 di secondo influenzano pesantemente la precisione della misura.

4) **portata** e' **massimo valore** della grandezza in esame **che può essere misurato** dallo strumento (fondo scala).

Quando ripetiamo una misura ci accorgiamo che spesso i risultati ottenuti sono, anche se di poco, diversi tra loro, specialmente se la misura richiede molte operazioni manuali.

- Per esempio misurando con un apparecchio sensibile, la temperatura di un gas contenuto in un recipiente, si possono trovare valori diversi perché la pressione del gas è variata impercettibilmente o perché ci sono stati scambi minimi di energia con l'esterno o perché lo strumento può non essere stabile nel tempo, o ancora, perché lo strumento e l'osservatore influiscono sulla misura alterando lo stato fisico del gas ecc.

Alcuni errori si presentano in successive misurazioni sempre con le stesse caratteristiche o la stessa intensità (bilancia non tarata correttamente che dà misure maggiori o minori sempre della stessa quantità).

Oppure errori dovuti al metodo (profondità pozzo senza tener conto del tempo di propagazione del suono)

Questi errori sono detti **sistematici** e, in linea di principio, possono essere eliminati con un'accurata analisi del metodo di misurazione e degli strumenti impiegati.

Altri errori invece si presentano con caratteristiche mutevoli, (positivi o negativi) e di entità variabile in modo casuale. Essi dipendono da tante piccole cause che sfuggono ad ogni controllo.

Questi errori, che vengono chiamati **casuali** od anche **accidentali**, non possono mai essere totalmente eliminati. E' possibile ridurne l'influenza.

Supponiamo di misurare una certa grandezza x e di ripetere N volte la misurazione sempre con la stessa strumentazione e la stessa tecnica. Riportiamo le N misure ottenute in un grafico come in figura in cui sulle ordinate è indicato il numero f di misure (oppure f / N) il cui valore è compreso in ciascuno degli intervalli Δx riportati sull'asse delle ascisse.

Si ottiene così un **ISTOGRAMMA** nel quale, per semplicità, ogni gradino ha la stessa base Δx .

Esempio.

Da una serie di misure ripetute si ottengono come valori:

26.4, 23.9, 25.1, 24.6, 22.7, 23.8, 25.1, 23.9, 25.3, 25.4

Dividiamo la serie in certo numero di intervalli e contiamo quanti valori cadono in un intervallo. Si ottiene:

Intervallo	22-23	23-24	24-25	25-26	26-27	27-28
Eventi	1	3	1	4	1	0

Istogramma mostra frazione misure che cadono in ciascun intervallo.

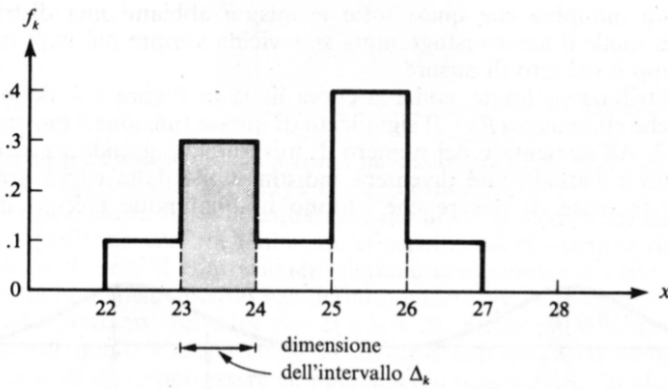


Figura 5.2. L'istogramma ad intervalli mostra la frazione di misure di x che cadono negli "intervalli" 22-23, 23-24, e così via. L'area del rettangolo sopra ciascun intervallo dà la frazione di misure che cadono in quell'intervallo. Così l'area del rettangolo ombreggiato è 0.3, indicando che $3/10$ di tutte le misure giacciono tra 23 e 24.

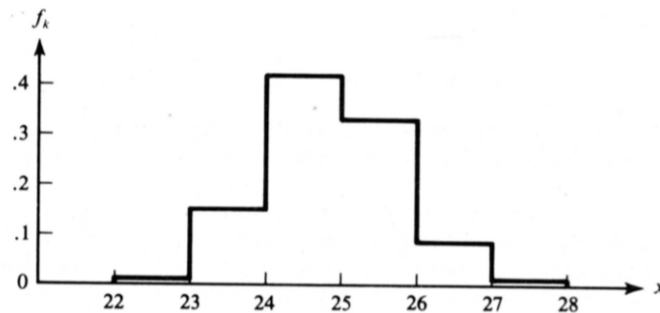


Figura 5.3. Iistogramma per 100 misure della stessa grandezza di Figura 5.2.

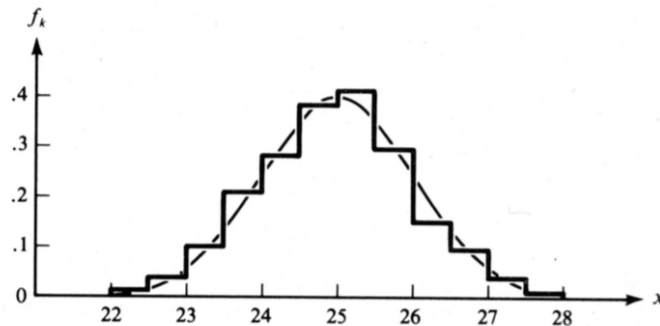


Figura 5.4. Iistogramma per 1000 misure della stessa grandezza di Figura 5.3. La curva tratteggiata è la distribuzione limite.

Se il numero delle misure ottenute è molto elevato possiamo ridurre notevolmente la larghezza dei gradini e tracciare una curva praticamente a tratto continuo.

Migliore stima del valore vero: MEDIA

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_N}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

precisione e accuratezza

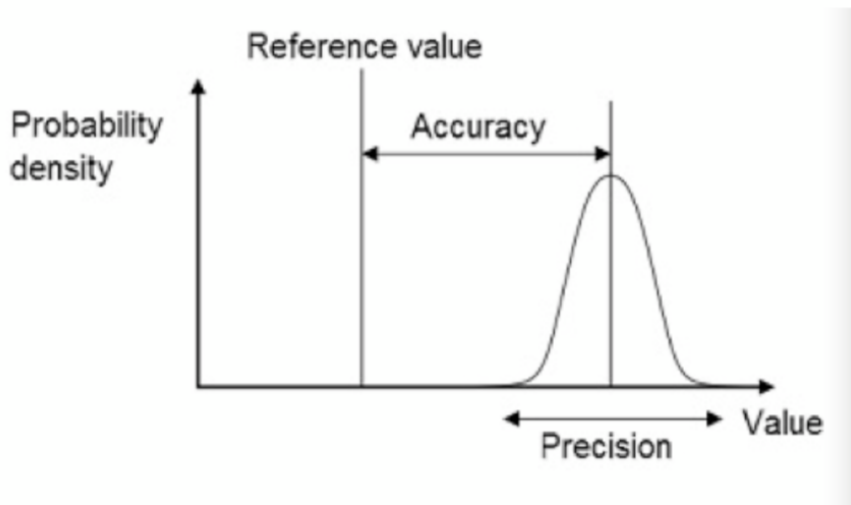
La precisione stabilisce quanto le misure di una grandezza sono vicine fra loro. L'accuratezza indica, invece, quanto la misura si avvicina al valore corretto.

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



La **precisione** delle misure è data dal livello di vicinanza di una misurazione con l'altra e da quanto le misure risultano quindi raggruppate. Questo non significa però che le varie misure siano necessariamente vicine al valore atteso. La precisione quindi è un'indicazione del grado di dispersione delle misure rispetto al valore medio della serie cui appartengono.

L'**accuratezza** invece dipende dal livello di vicinanza delle misure rispetto al valore atteso.



Riassumendo, possono esserci misure precise ma non accurate, misure accurate ma non precise, misure accurate e precise e misure non accurate e non precise.

"Affidabilità" delle misure : ERRORE QUADRATICO MEDIO

↳ quanto è sparpagliato il campione attorno alle misure?

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}}$$

$$\neq \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

ESEMPIO

DEVIAZIONE STANDARD

Nella produzione di aste metalliche di 10 metri di lunghezza si possono controllare i prodotti in uscita dalla linea di produzione e riscontrare il seguente andamento per 5 campioni:

- un'asta è lunga 10,490 metri
- un'asta è lunga 10,495 metri
- un'altra asta è lunga 10,500 metri
- una quarta asta è lunga 10,505 metri
- un'asta è lunga 10,501 metri

Dall'analisi di queste misure risulta che esse sono molto vicine tra loro pur essendo lontane dal valore atteso di 10 metri.

Quindi un'elevata precisione ma ad una scarsa accuratezza del processo produttivo.

Viceversa, nello stesso caso ci si potrebbe trovare di fronte ad una distribuzione delle misure di questo tipo:

- un'asta è lunga 9,900 metri
- un'asta è lunga 9,800 metri
- una seconda asta è lunga 10,000 metri
- una quarta asta è lunga 10,100 metri
- un'asta è lunga 10,200 metri

In questo caso l'accuratezza è maggiore rispetto al caso precedentemente illustrato mentre la precisione è fortemente diminuita in quanto le variazioni tra una misura e l'altra sono ben maggiori.

→ Due misure delle stesse quantità hanno risultati compatibili se si sovrappongono considerando i loro errori.

Es. Misure 1 della glicemie nel sangue $98 \pm 5 \frac{mg}{dl}$
Misure 2 " " " " $106 \pm 5 \frac{mg}{dl}$

