Università degli Studi di Cagliari

Corso di laurea magistrale in Chimica e Tecnologia Farmaceutiche

Fisica

Francesco Congiu

É vietata la copia e la riproduzione dei contenuti e immagini in qualsiasi forma.

É inoltre vietata la redistribuzione e la pubblicazione dei contenuti e immagini non autorizzata espressamente dall'autore.

Immagini e tabelle sono tratte da "James S. Walker – Fondamenti di Fisica – Pearson"

INTRODUZIONE ALLA FISICA

Di cosa parliamo

Contenuti

1. La Fisica e le leggi della Natura
2. Unità di lunghezza, massa e tempo
3. Analisi dimensionale
4. Cifre significative
5. Conversione di unità di misura
6. Calcolo dell’ordine di grandezza
7. Errori di misura e operazioni di media
8. Distribuzione di frequenze e curva di Gauss
9. Errori relativi ed errori percentuali
10. Scalari e vettori
11. La risoluzione dei problemi in Fisica

La Fisica e le leggi della Natura

La ricerca scientifica si distingue da qualsiasi altra attività di pensiero per il metodo di indagine che utilizza.

Metodo sperimentale (o metodo scientifico):

analisi sistematica dei fenomeni attraverso

- osservazione
- sperimentazione
- organizzazione
- interpretazione

Galileo Galilei (1564 - 1642)

- il metodo (metodo induttivo): dal particolare al generale
- gli strumenti di misura
- la Matematica come lingua della Scienza

Il metodo deduttivo (Aristotele) è ancora usato (esempio: la scoperta di Nettuno dall'irregolarità dell'orbita di Urano).

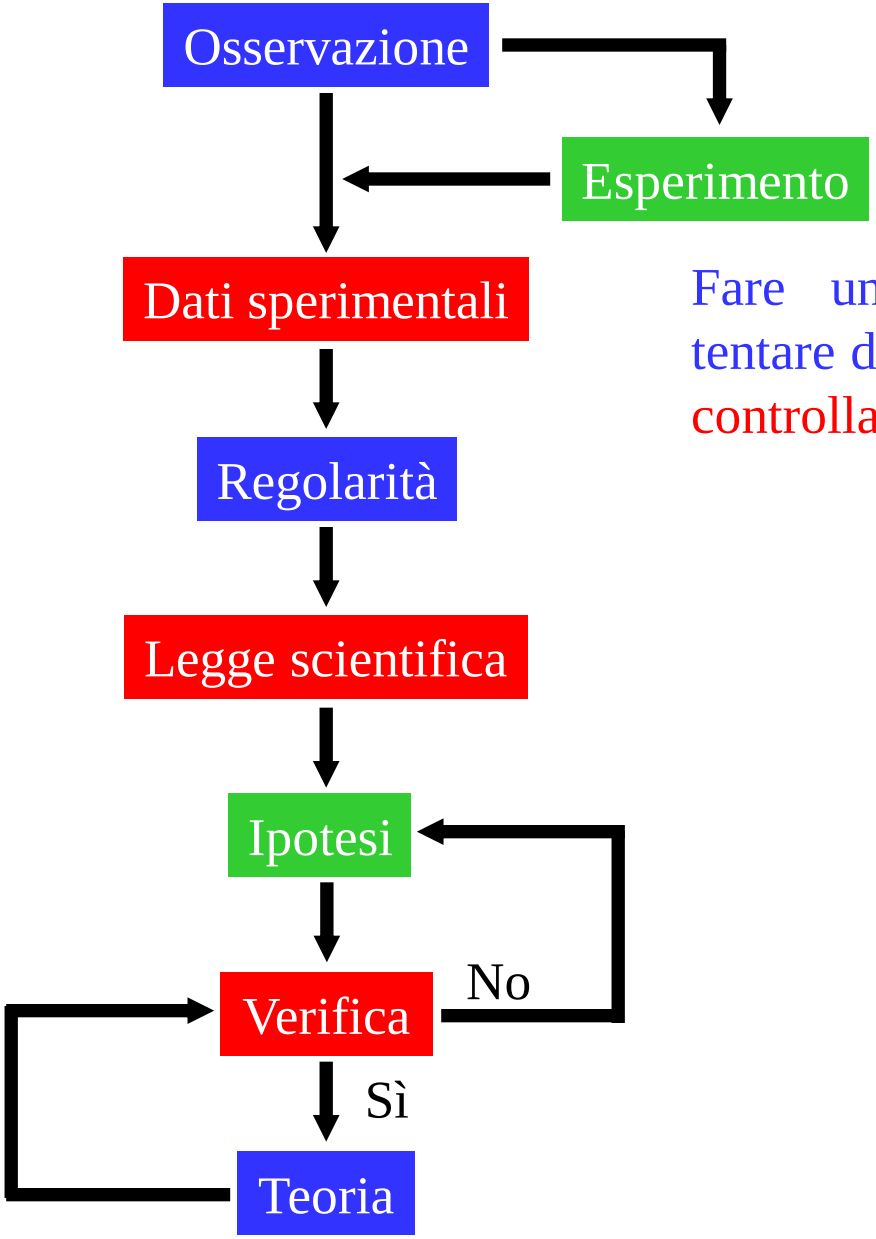
Le affermazioni scientifiche devono essere verificabili empiricamente.

Non si può mai essere certi che una teoria scientifica sia giusta. Al massimo possiamo dimostrare che è sbagliata attraverso un esperimento. La teoria deve essere "falsificabile" (Karl Popper).

Pubblicazione dei risultati: la diffusione delle scoperte.

- verifica
- riproducibilità

Conoscenze non "vere" ma "plausibili".



Fare un esperimento significa tentare di riprodurre in condizioni controllate un certo fenomeno.

Fisica: studio delle leggi fondamentali della Natura.

- Le leggi possono essere espresse mediante equazioni matematiche.
- La complessità e la varietà del mondo che ci circonda sono manifestazioni di poche fondamentali leggi e principi.

La Fisica si basa sul concetto di misura delle grandezze.

Vediamo cosa si intende per grandezza e misura.

Una grandezza fisica è un attributo di un fenomeno, di un corpo, di una sostanza, che può essere distinto qualitativamente e determinato quantitativamente (cioè misurato).

Due o più grandezze fisiche si dicono omogenee (della stessa natura) se si possono classificare in ordine crescente o decrescente l'una o rispetto all'altra.

L'operazione di misura di una grandezza fisica consiste nel confronto tra due grandezze fisiche omogenee, una delle quali viene assunta come grandezza di riferimento (unità di misura).

Il risultato della misura di una grandezza fisica G è un numero reale g che esprime il rapporto tra la grandezza misurata e un'altra grandezza $[G]$, a essa omogenea, scelta come unità di misura:

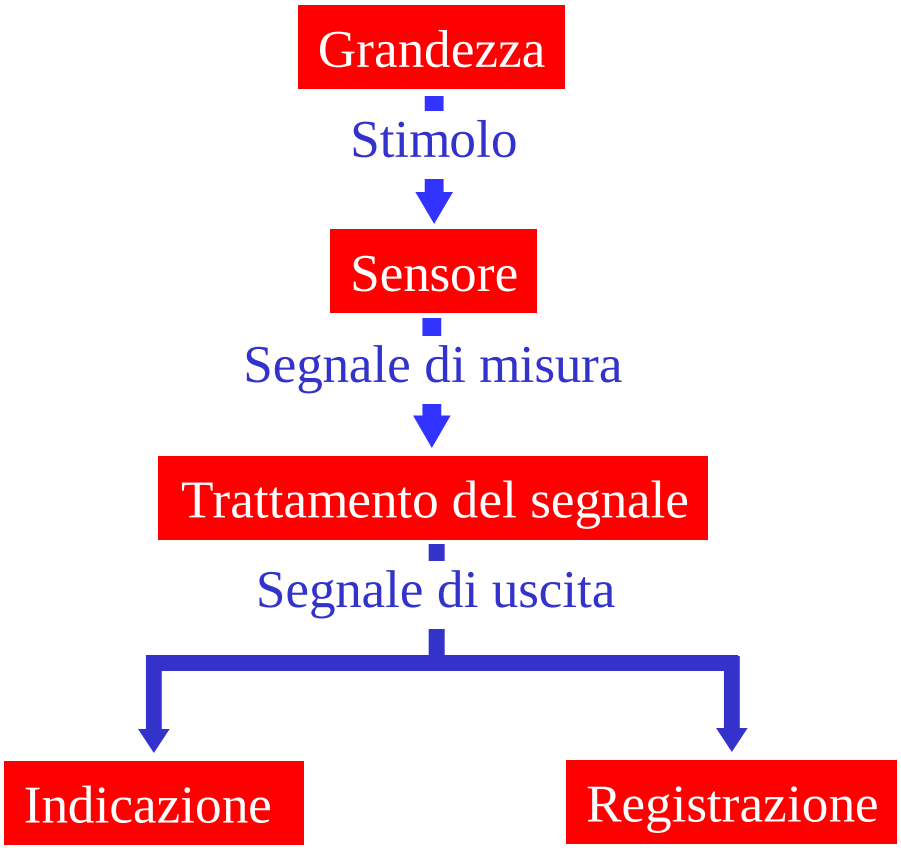
$$G = g\,[G]$$

Le misure per confronto diretto con il campione sono complesse e poco pratiche.

In laboratorio si utilizzano quasi esclusivamente strumenti tarati.

Potranno essere strumenti a confronto diretto (metri, calibri…) o a lettura diretta (cronometri, termometri, amperometri, densimetri…).

In uno strumento tarato a lettura diretta si osserva la posizione di un indice mobile su una scala graduata (strumenti a indicazione analogica) o si legge un valore su un contatore numerico (strumenti a indicazione digitale).



Forma di una generica catena di misura, in genere formata da più strumenti.

Gli strumenti di misura hanno alcune caratteristiche fondamentali:

- Prontezza

  È la rapidità con cui lo strumento reagisce alle variazioni della grandezza da misurare. Operativamente è il tempo necessario perché la misura si stabilizzi.

- Portata o fondo scala x_{max}
  È il limite superiore del campo di misura. In molti strumenti può essere scelta in una serie di valori predisposti.

- Sensibilità di lettura
  È il minimo spostamento dell'indice sulla scala che si può apprezzare. Negli strumenti a indicazione digitale coincide con la più piccola unità indicata dal display (unità fondamentale, *u.f.*).

- Sensibilità di misura (errore assoluto massimo a priori)

  È la minima quantità che comporta una risposta dello strumento. Negli strumenti di buona qualità coincide con la sensibilità di lettura.

- Sensibilità dello strumento (σ)

  È il rapporto tra lo spostamento dell'indice sulla scala Δu e la variazione Δx della grandezza che la ha causata:

$$\boxed{\sigma = \frac{\Delta u}{\Delta x}}$$

- Classe di precisione *c.p.*

  È l'errore massimo a priori espresso in percento della portata $x_{\max}$:

$$\boxed{c.p. = \frac{\Delta x_{\text{map}}}{x_{\max}} 100}$$

Unità di lunghezza, massa e tempo

Il sistema di unità di misura accettato a livello mondiale in ambito scientifico è il Sistema Internazionale (SI) introdotto dalla XI Conferenza Generale di Pesi e Misure (Parigi, 1960).

Grandezza	Unità di misura	Simbolo
Lunghezza	metro	m
Massa	kilogrammo	kg
Quantità di materia	mole	mol
Tempo	secondo	s
Intensità di corrente elettrica	ampere	A
Temperatura	kelvin	K
Intensità luminosa	candela	cd

Queste sono le grandezze fondamentali, a partire dalle quali si definiscono le altre grandezze (grandezze derivate).

Unità SI di lunghezza (L), massa (M) e tempo (T):

Lunghezza: il metro

Nel 1793: un decimilionesimo della distanza tra il Polo Nord e l'Equatore.

Oggi: la distanza percorsa dalla luce nel vuoto in 1/299 792 458 di secondo.

Massa: il kilogrammo

Fino al 2019: la massa di un particolare cilindro di platino-iridio depositato presso l'Ufficio internazionale dei pesi e delle misure a Sèvres, in Francia.

Oggi: si fa riferimento a una misura molto complessa con una bilancia di Kibble che fa riferimento a due particolari effetti fisici (effetto Josephson, effetto Hall) e alla costante di Planck.

Tempo: il secondo

Il secondo è il tempo che occorre alla radiazione emessa da un atomo di Cesio 133 per compiere 9 192 631 770 oscillazioni.

TABELLA 2 **Valori di alcune lunghezze**

	Lunghezza (m)
Distanza tra la Terra e la più vicina delle grandi galassie (galassia Andromeda M31)	$2 \cdot 10^{22}$
Diametro della nostra galassia (Via Lattea)	$8 \cdot 10^{20}$
Distanza fra la Terra e la stella più vicina	$4 \cdot 10^{16}$
Un anno-luce	$9{,}46 \cdot 10^{15}$
Raggio medio dell'orbita di Plutone	$6 \cdot 10^{12}$
Distanza fra la Terra e il Sole	$1{,}5 \cdot 10^{11}$
Raggio della Terra	$6{,}37 \cdot 10^{6}$
Lunghezza di un campo di calcio	10^{2}
Altezza di una persona	2
Diametro dell'aorta	0,018
Diametro di un globulo rosso	$8 \cdot 10^{-6}$
Diametro di un atomo di idrogeno	10^{-10}
Diametro di un protone	$2 \cdot 10^{-15}$

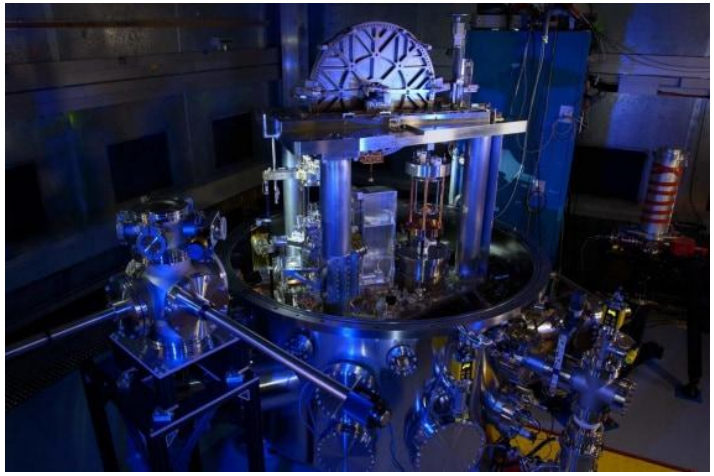


TABELLA 3 Valori di alcune masse

	Massa (kg)
Galassia (Via Lattea)	$4 \cdot 10^{41}$
Sole	$2 \cdot 10^{30}$
Terra	$5{,}97 \cdot 10^{24}$
Space Shuttle	$2 \cdot 10^{6}$
Automobile	1200
Essere umano	70
Palla da basket	0,6
Ape	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$
Globulo rosso	10^{-13}
Batterio	10^{-15}
Atomo di idrogeno	$1{,}67 \cdot 10^{-27}$
Elettrone	$9{,}11 \cdot 10^{-31}$

TABELLA 4 Valori di alcuni tempi

	Tempo (s)
Età dell'Universo	$5 \cdot 10^{17}$
Età della Terra	$1{,}3 \cdot 10^{17}$
Esistenza della specie umana	$6 \cdot 10^{13}$
Vita dell'uomo	$2 \cdot 10^{9}$
Un anno	$3 \cdot 10^{7}$
Un giorno	$8{,}6 \cdot 10^{4}$
Tempo fra due battiti cardiaci	0,8
Ciclo di un'onda sonora di tono alto	$5 \cdot 10^{-5}$
Ciclo di un'onda radio	10^{-6}
Ciclo di un'onda luminosa visibile	$2 \cdot 10^{-15}$

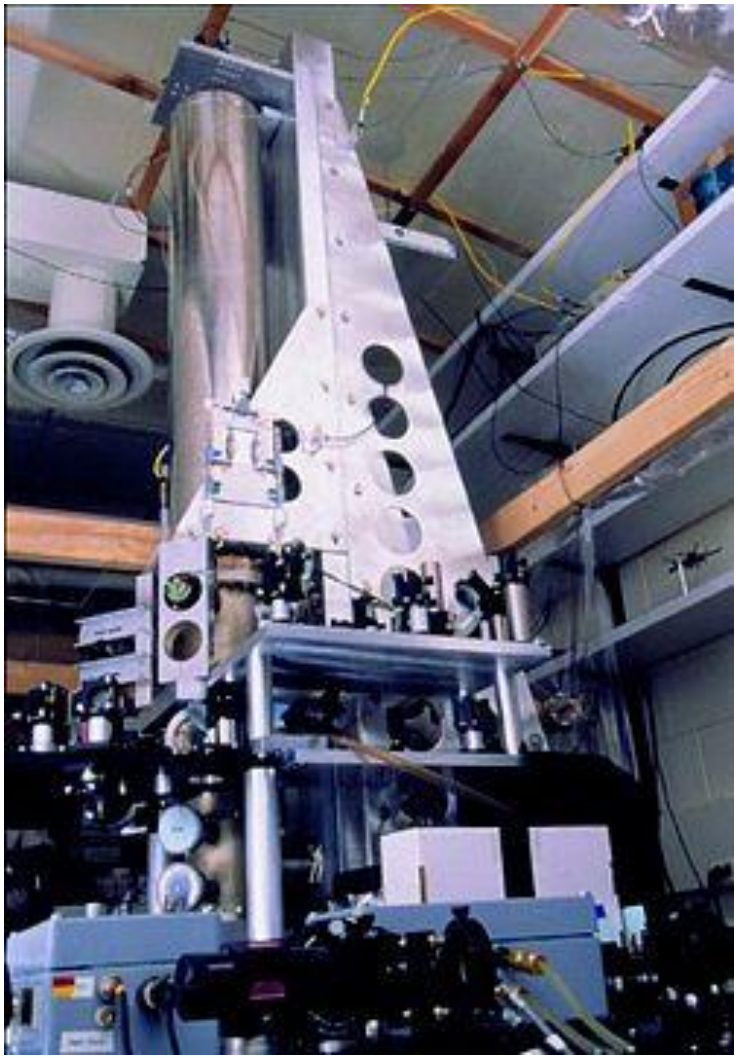


TABELLA 5 Prefissi standard

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

Analisi dimensionale

La dimensione indica il tipo di grandezza (lunghezza, tempo, massa…).

Qualsiasi formula valida in Fisica deve essere dimensionalmente consistente. Questo vuol dire che tutti i suoi termini devono avere le stesse dimensioni.

TABELLA 6 Dimensione di alcune grandezze fisiche

Grandezza	Dimensione
Distanza	[L]
Area	$[L^2]$
Volume	$[L^3]$
Velocità	[L]/[T]
Accelerazione	$[L]/[T^2]$
Energia	$[M]\,[L^2]/[T^2]$

Dalla tabella:

Distanza = velocità × tempo

Velocità = accelerazione × tempo

Energia = massa × $(\text{velocità})^2$

Cifre significative

Il risultato di una misura è noto solo con una certa precisione.

$d = 2.2\ \text{cm} = 22\ \text{mm}$

$d = 22.54\ \text{mm}$

Cifre significative: nella misura di una grandezza sono le cifre che sono note con certezza.

Il numero di cifre significative di una grandezza può essere ambiguo a causa della presenza di zeri all'inizio o alla fine del numero.

Per esempio, 2500 e 0.000036 hanno entrambi due cifre significative.

La notazione scientifica consente di scrivere i numeri come il prodotto di un numero compreso tra 1 e 10 per una potenza di 10, rendendo molto più evidente il numero di cifre significative:

$2500 = 2.5 \times 10^3$ (due cifre significative).

Se lo scriviamo come 2.50×10^3, ha tre cifre significative

$0.000036 = 3.6 \times 10^{-5}$ (due cifre significative).

Il numero di cifre significative di una grandezza ottenuta attraverso la moltiplicazione o la divisione di grandezze è uguale al numero di cifre significative della grandezza conosciuta con minor precisione.

$$d = 21.2 \text{ cm} \qquad t = 8.5 \text{ s} \qquad v = \frac{d}{t} = \frac{21.2 \text{ cm}}{8.5 \text{ s}} = 2.494117647 \text{ cm/s} \rightarrow 2.5 \text{ cm/s}$$

Il numero di decimali di una grandezza ottenuta come somma o differenza di grandezze è uguale al minor numero di decimali presenti in ogni addendo.

$$t_1 = 16.74 \text{ s} \qquad t_2 = 5.1 \text{ s} \qquad t_{tot} = t_1 + t_2 = 16.74 \text{ s} + 5.1 \text{ s} = 21.84 \text{ s} \rightarrow 21.8 \text{ s}$$

L'ultima cifra di un numero risultante da un calcolo può cambiare a seconda del metodo impiegato per effettuare il calcolo a causa degli errori di arrotondamento sulle cifre meno significative.

Il suggerimento è tenere una cifra decimale in più durante i calcoli intermedi e arrotondare solo alla fine.

Conversione di unità di misura

Possiamo passare da un'unità di misura all'altra usando i fattori di conversione.

Ad esempio, a quanti metri corrispondono 316 piedi?

1 m = 3.281 ft (ecco un fattore di conversione).

Oppure: 1 = 1 m / 3.281 ft

316 ft × (1 m / 3.281 ft) = 96.3 m

Se si sta utilizzando il fattore di conversione nel modo giusto le unità di misura devono semplificarsi algebricamente.

Calcolo dell'ordine di grandezza

L'ordine di grandezza di un numero è la potenza di 10 che meglio approssima il numero.

In tantissime occasioni è necessario avere un'idea anche approssimativa del valore di una grandezza.

Ragionare con gli ordini di grandezza permette di effettuare stime ragionevoli di una grandezza anche se non si è in grado di svolgere un conto esatto (problemi di Fermi).

Errori di misura e operazioni di media.

Misurare una grandezza fisica G significa assegnarle un numero reale g che esprime il rapporto tra la grandezza e un'altra grandezza $[G]$ a essa omogenea scelta come unità di misura:

$$G = g\,[G]$$

Distinguiamo tra due tipi di misura:

- misura diretta: si esegue per confronto diretto tra la grandezza da misurare G e l'unità di misura $[G]$ oppure per comparazione tra G e un opportuno strumento tarato;
- misura indiretta: si esegue quando G è una funzione nota di certe altre grandezze $X_1, X_2, \ldots, X_n$ non omogenee a G ma misurabili direttamente.

Le misure in laboratorio si riducono sempre a misure con strumenti tarati, che possono essere riproduzioni fedeli di un campione di misura o dispositivi più o meno complessi sensibili alle variazioni della grandezza da misurare.

Anche se si usano le tecniche più appropriate, a causa di limitazioni dovute alla strumentazione, all'operatore e all'ambiente esterno, una misura avrà sempre un certo grado di incertezza.

Questa incertezza sul valore della grandezza è quello che chiamiamo errore sperimentale.

Possiamo pensare in modo intuitivo al "valore vero" di una grandezza come al valore della grandezza che si otterrebbe con una "misura perfetta" (infinitamente precisa).

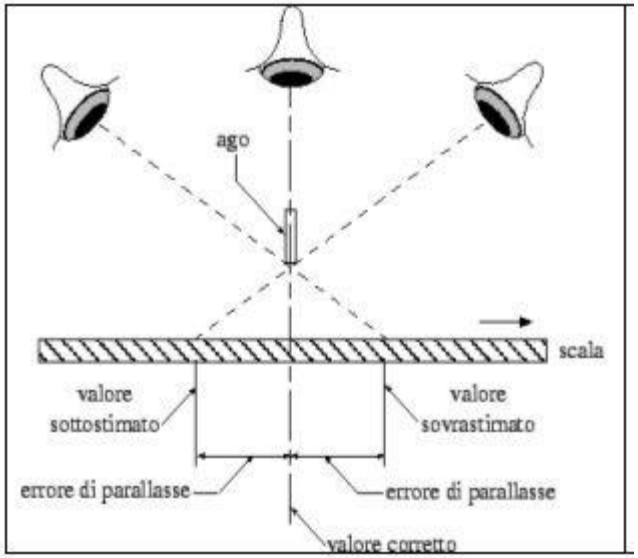
Ha più senso di "valore convenzionalmente vero", cioè quello accettato per convenzione perché ha un'incertezza adeguata all'uso (per esempio, i campioni di riferimento).

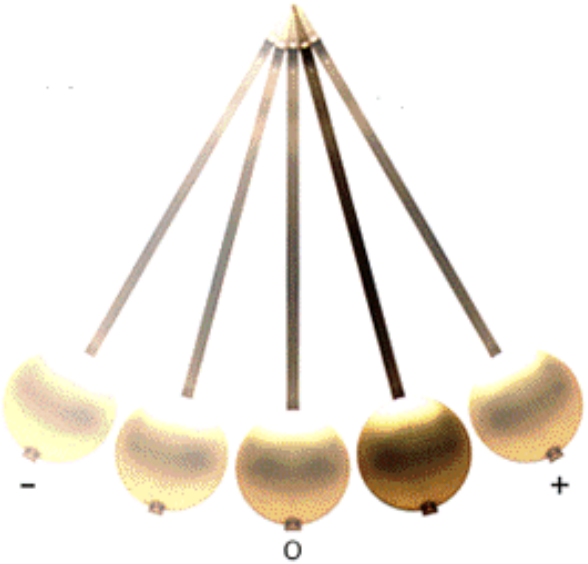
Il "valore vero" comunque è un'idealizzazione (principio di Heisenberg).

Chiamiamo quindi errore o incertezza la differenza tra il valore misurato e il valore vero di una grandezza.

Errori sistematici: sono dovuti a cause tecniche o metodologiche e sono eliminabili.

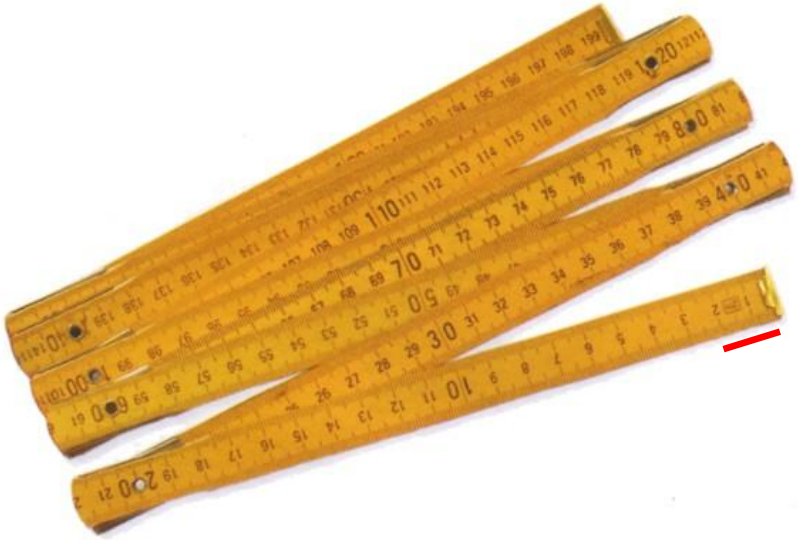
Errori accidentali: dovuti al caso, non sono eliminabili, ma possono essere attenuati attraverso un'operazione di media.





Quando si indica il risultato della misura di una grandezza x è sempre necessario dare anche la valutazione dell'errore Δx.

$$x = x_{\text{mis}} \pm \Delta x \qquad \text{(forma standard per una misura)}$$



$$d = 22 \text{ mm} \qquad \Delta d = 1 \text{ mm}$$

$$d = (22 \pm 1) \text{ mm}$$

$$d = 22.54 \text{ mm} \qquad \Delta d = 0.01 \text{ mm}$$

$$d = (22.54 \pm 0.01) \text{ mm}$$

Il problema è riuscire a stimare l'errore.

Ripetendo N volte una misura nelle stesse condizioni non si ottiene mai lo stesso valore, ma valori (leggermente) diversi x_1, x_2, … , x_N (fluttuazioni statistiche, errori accidentali).

$$\left.\begin{array}{l} x_1 = x_{\text{vero}} + \Delta x_1 \\ x_2 = x_{\text{vero}} + \Delta x_2 \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ x_N = x_{\text{vero}} + \Delta x_N \end{array}\right\} x_1 + x_2 + \dots + x_N = N x_{\text{vero}} + (\Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_N)$$

I termini Δx_i saranno con uguale probabilità positivi o negativi, e al crescere di N la loro somma diventa trascurabile rispetto alle altre quantità in esame.

$$x_1 + x_2 + \dots + x_N \approx N x_{\text{vero}}$$

$$\boxed{x_{\text{vero}} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N} = \bar{x} = x_m \qquad \text{(media aritmetica)}}$$

La media aritmetica di N misure ripetute è la migliore stima del valore vero della misura di una grandezza.

Con poche misure ($N < 20$) diciamo che il campione non è statisticamente rappresentativo.

Non possiamo usare le leggi della statistica.

Stimiamo l'errore attraverso la semidispersione:

$$\Delta x = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2} \qquad \text{(semidispersione)}$$

Con molte misure ($N > 30$) diciamo che il campione è statisticamente rappresentativo.

Possiamo usare le leggi della statistica e valutare l'errore atraverso la deviazione standard, cioè lo scarto quadratico medio

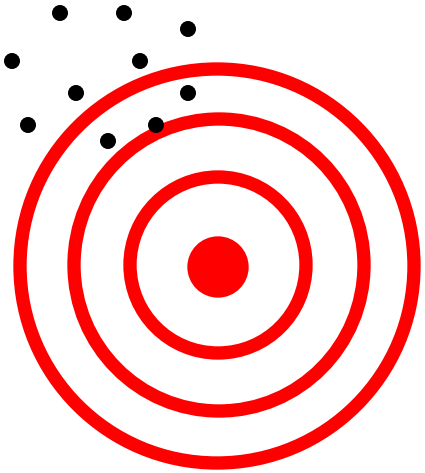
$$\sigma = \sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2 + \ \dots \ + s_N^2}{N-1}} \qquad \text{(deviazione standard)}$$

dove

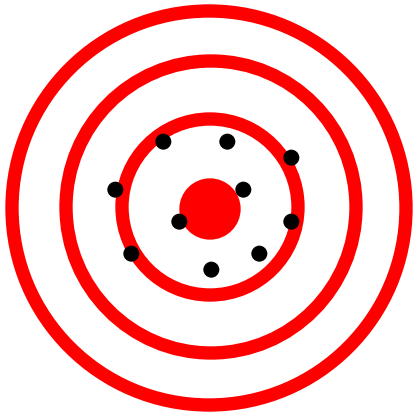
$$s_i = x_i - \bar{x} \qquad \text{(scarto)}$$

Si dimostra che in questo caso la migliore stima dell'errore è

$$\Delta x = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \qquad \text{(deviazione standard della media)}$$

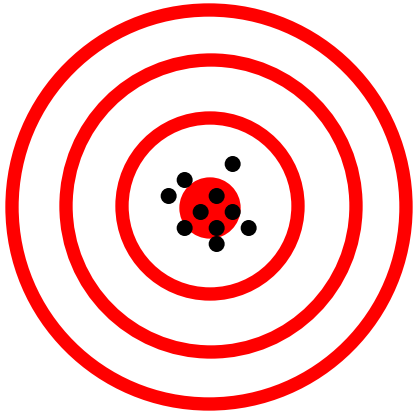


Imprecisa e poco accurata



Accurata ma imprecisa

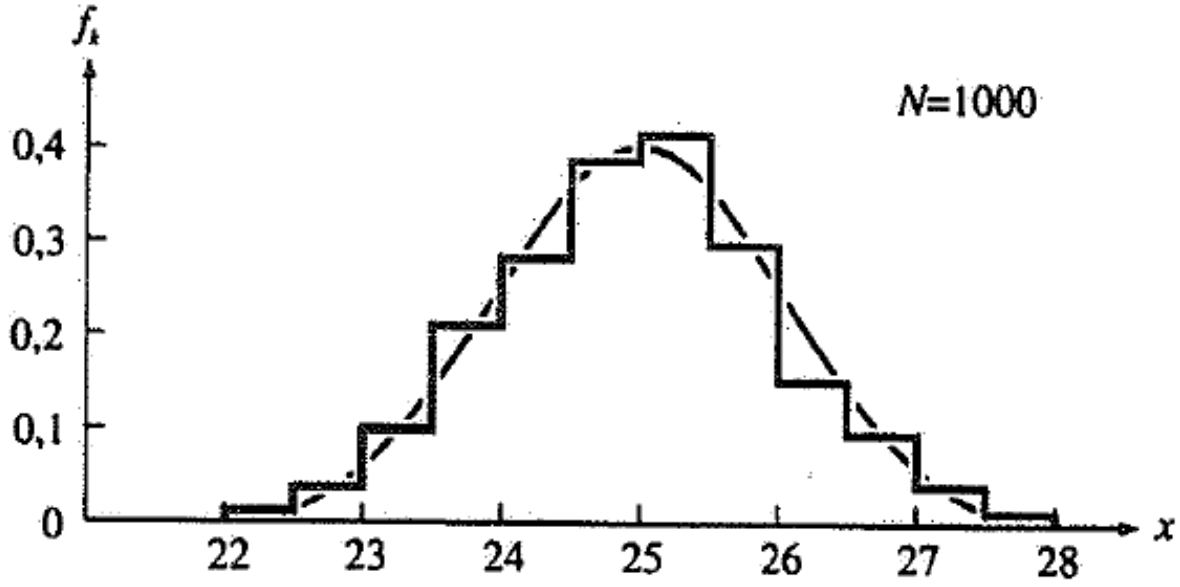
Precisa ma poco accurata



Precisa e accurata

Distribuzione di frequenze e curva di Gauss

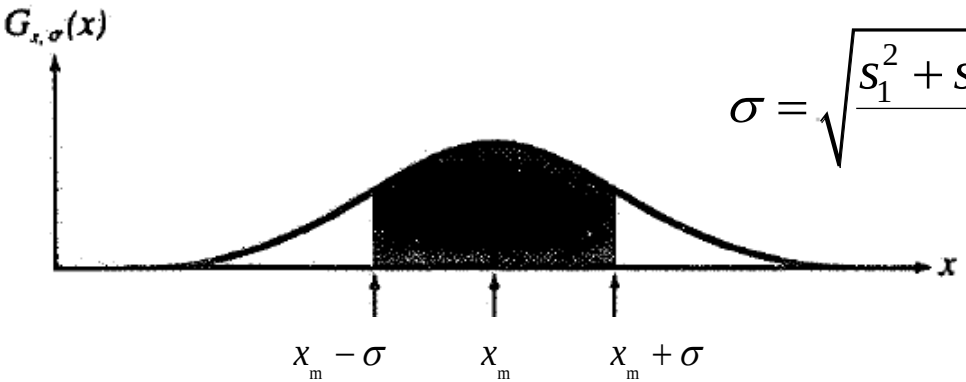
In un insieme di misure la frequenza di una misura è il numero di volte che questa misura compare nell'insieme.



Curva normale di Gauss (curva a campana): è la forma cui tendono tutte le distribuzioni di frequenze al crescere del numero delle misure.

Proprietà principali della curva di Gauss:

- il valore medio coincide con il valore più probabile;
- la distribuzione è simmetrica rispetto al valore medio;



$$\sigma = \sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2 + \ \dots \ + s_N^2}{N-1}}$$ (deviazione standard)

- le misure più frequenti (più probabili) si concentrano intorno al valore medio;
- il 68 % delle misure cade nell'intervallo $(x_m - \sigma, x_m + \sigma)$;
- il 95.4 % delle misure cade nell'intervallo $(x_m - 2\sigma, x_m + 2\sigma)$;
- il 99.7 % delle misure cade nell'intervallo $(x_m - 3\sigma, x_m + 3\sigma)$.

Errori relativi ed errori percentuali

Incertezza relativa (errore relativo):

rapporto tra l'incertezza della misura (errore assoluto) e la misura stessa.

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta x}{x} \qquad \text{(errore relativo)}$$

Più è grande l'errore relativo, meno precisa è la misura.

Errore percentuale:

errore relativo moltiplicato per 100 ed espresso in %.

Le misure precise hanno errori percentuali di qualche parte su cento.

Quando una grandezza q è ottenuta a partire dalla misura di altre grandezze x, y, …, z, parliamo di misura indiretta.

Gli errori sulle varie grandezze misurate si propagano sull'errore Δq associato a q.

Quando una grandezza q è ottenuta come somma o differenza di altre grandezze misurate x, y, … , z, l'errore assoluto Δq è dato da

$$\Delta q = \Delta x + \Delta y + \ \dots \ + \Delta z$$ (errore assoluto, somme e differenze)

Quando una grandezza q è ottenuta come prodotto o quozientedi altre grandezze misurate x, y, … , z, l'errore relativo Δq / q è dato da

$$\frac{\Delta q}{q} = \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y} + \ \dots \ + \frac{\Delta z}{z}$$ (errore relativo, prodotti e quozienti)

Scalari e vettori

In Fisica distinguiamo tra grandezze scalari e grandezze vettoriali.

Scalare: un valore numerico espresso in un'opportuna unità di misura; può essere positivo o negativo.

Esempi: temperatura, massa, pressione, carica elettrica, energia...

Vettore: grandezza matematica caratterizzata da un valore numerico (intensità o modulo) e da una direzione e un verso.

Esempi: spostamento (ad esempio 10 metri verso Nord), velocità, accelerazione, forza, campo elettrico, campo magnetico...

La risoluzione dei problemi in Fisica

Non esistono ricette sempre valide, ma ci sono alcune linee-guida:

1. leggere il problema con attenzione
2. fare un disegno schematico ma il più possibile preciso del sistema
3. visualizzare il processo fisico
4. costruire una strategia
5. identificare le equazioni appropriate
6. risolvere le equazioni
7. verificare la risposta
8. esplorare i casi limite o i casi particolari

Riepilogo

- La Fisica si fonda su un numero limitato di leggi e di principi.
- Le unità di lunghezza sono i metri; quelle di massa sono i kilogrammi; quelle di tempo, i secondi.
- Tutti i termini di un'equazione devono avere le stesse dimensioni.
- Il risultato di un calcolo deve avere un numero di cifre significative non superiore a quello della misura meno accurata utilizzata nel calcolo.
- Per passare da un'unità a un'altra bisogna moltiplicarla per il fattore di conversione.
- Il calcolo dell'ordine di grandezza è concepito per essere accurato entro un fattore 10.

- L’errore relativo è il rapporto tra l’incertezza della misura e la misura stessa.
- L’errore percentuale è l’errore relativo moltiplicato per 100 ed espresso in percentuale.
- Gli scalari sono quantità numeriche; i vettori hanno un modulo e una direzione.
- Per risolvere i problemi: leggi, disegna, visualizza, definisci una strategia, identifica le equazioni, risolvile, verifica, esplora i casi limite.