

**Corso PAS**  
**Misure, strumenti ed Errori di**  
**misura**

Didattica del Laboratorio di Fisica

F. Garufi

2014

# Grandezze ed unità di misura

- grandezza (misurabile) si intende un attributo di un fenomeno, di un corpo o di una sostanza che può essere distinto qualitativamente e determinato quantitativamente
- Le grandezze sono dette della *stessa natura*, o *omogenee*, se è possibile classificarle l'una rispetto all'altra in ordine crescente o decrescente.
- Grandezze della stessa natura possono essere raggruppate in categorie di grandezze, ad esempio: lavoro, calore, energia; diametro, spessore, lunghezza d'onda.

# Grandezze ed unità di misura

- Un insieme di grandezze, intese nel senso generale, fra le quali esistono delle relazioni definite costituiscono un sistema di grandezze. In esso si definiscono grandezze di base quelle che sono convenzionalmente accettate come funzionalmente indipendenti le une dalle altre.
- Una *grandezza derivata* è definita, in un certo sistema, come funzione delle grandezze di base. Ad esempio, nel sistema SI la velocità è una grandezza derivata definita come il rapporto fra lunghezza e tempo.

# Grandezze ed unità di misura

- La dimensione di una grandezza è una espressione che rappresenta una grandezza di un sistema come prodotto di potenze di fattori dati dalle grandezze di base di quel sistema.
- Una grandezza è adimensionale se nell'espressione della dimensione si riducono a zero tutti gli esponenti delle dimensioni delle grandezze di base.
- Con unità (di misura) si intende una particolare quantità, definita e adottata per convenzione, con cui si confrontano altre grandezze della stessa natura per esprimerle quantitativamente come rapporto rispetto a questa grandezza. Alle unità di misura vengono assegnati per convenzione dei nomi e dei simboli.

# Grandezze di base ed unità di misura

Grandezza		Dimensione		Unità di base SI	
Nome	Simbolo	a)	b)	Nome	Simbolo
lunghezza	$l$	dim $l$	L	metro	m
massa	$m$	dim $m$	M	chilogrammo	kg
tempo	$t$	dim $t$	T	secondo	s
corrente elettrica	$I$	dim $I$	I	ampere	A
temp. termodinamica	$T$	dim $T$	$\Theta$	kelvin	K
quantità di materia	$n$	dim $n$	N	mole	mol
intensità luminosa	$I_v$	dim $I_v$	J	candela	cd

Grandezza	Dimensioni	Unità derivate SI	
		Nome	Simbolo (Relazione)
angolo piano	-	radiante	rad (1 rad = 1 m/m)
angolo solido	-	steradiano	sr (1 sr = 1 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
frequenza	T <sup>-1</sup>	hertz	Hz (1 Hz = 1 s <sup>-1</sup> )
attività	T <sup>-1</sup>	becquerel	Bq (1 Bq = 1 s <sup>-1</sup> )
forza	MLT <sup>-2</sup>	newton	N (1 N = 1 kg · m/s <sup>2</sup> )
pressione	ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup>	pascal	Pa (1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup> )
energia	ML <sup>2</sup> T <sup>-2</sup>	joule	J (1 J = 1 N · m = 1 W · s)
potenza	ML <sup>2</sup> T <sup>-3</sup>	watt	W (1 W = 1 J/s)
dose equivalente	L <sup>2</sup> T <sup>-2</sup>	sievert	Sv (1 Sv = 1 J/kg)
dose in energia	L <sup>2</sup> T <sup>-2</sup>	gray	Gy (1 Gy = 1 J/kg)
carica elettrica	TI	coulomb	C (1 C = 1 A · s)
differenza di potenziale	ML <sup>2</sup> T <sup>-3</sup> I <sup>-1</sup>	volt	V (1 V = 1 J/C)

capacità elettrica	$ML^2 T^{-4} I^{-2}$	farad	F (1 F = 1 V/C)
resistenza elettrica	$ML^2 T^{-3} I^{-2}$	ohm	$\Omega$ (1 $\Omega$ = 1 V/A)
conduttività	$M^{-1} L^{-2} T^3 I^2$	siemens	S (1 S = 1 $\Omega^{-1}$ )
flusso magnetico	$ML^2 T^{-2} I^{-1}$	weber	Wb (1 Wb = 1 V · s)
densità di flusso magnetico	$MT^{-2} I^{-1}$	Tesla	T (1 T = 1 Wb/m <sup>2</sup> )
induttanza	$ML^2 T^{-2} I^{-2}$	henry	H (1 H = 1 Wb/A)
temper. Celsius	$\Theta$	grado Celsius	$^{\circ}C$ (1 $^{\circ}C$ = 1 K)
flusso luminoso	J	lumen	lm (1 lm = 1 cd · sr)
illuminazione	$L^{-2} J$	lux	lx (1 lx = 1 lm/m <sup>2</sup> )

# Grandezze ed unità di misura

- Il numero che esprime il rapporto fra il valore della grandezza e la sua unità è il valore numerico della grandezza. Il valore di una grandezza può essere espresso in più modi.
- Il valore di una grandezza  $G$  è quindi espresso da  $G = \{G\} [G]$  dove  $[G]$  è l'unità di misura e  $\{G\}$  il valore numerico
- il valore di una grandezza fisica è invariante per cambiamento di unità di misura. Dunque se  $\{G\}_a$  e  $\{G\}_b$  sono i valori della grandezza espressa nelle unità  $a$  e  $b$ , allora  $G = \{G\}_a [G]_a = \{G\}_b [G]_b$
- La relazione di cui sopra permette il cambiamento di unità, se si conosce il rapporto  $[G]_a / [G]_b$  per es:  
 $Q = 1 \text{ cal} = 4.1868 \text{ J} \Rightarrow [G]_a / [G]_b = 4.1868 \text{ J/cal}$

# Valore vero

- È il valore che si otterrebbe con una misura perfetta.
- Visto che una tale misura non è fattibile il valore vero è indeterminato: la definizione ISO è “un valore compatibile con la definizione di una data grandezza particolare”
- ha senso parlare di valore convenzionalmente vero se con esso si intende quello attribuito a una grandezza particolare e accettato, per convenzione, in quanto avente un'incertezza appropriata all'uso.
  - Per es il valore indicato su un campione di riferimento può essere usato come valore convenzionalmente vero della grandezza se la sua incertezza ha un effetto trascurabile sull'incertezza totale

# Misura

- possiamo introdurre il concetto di *misura come l'insieme di operazioni che hanno come scopo la determinazione del valore del misurando*.
- Le grandezze che possono condizionare il valore del misurando sono chiamate *variabili di influenza*.
- Il principio che costituisce la base scientifica della misura è chiamato il *principio di misura*. *Esso può essere un principio fisico, chimico, biologico, etc.*
  - Ad esempio: il principio fisico della dilatazione di un corpo con la temperatura sta alla base della misura di temperatura effettuata mediante un termometro a mercurio;

# Metodo di misura

- Per metodo di misura si intende la successione logica delle operazioni messe in atto nell'eseguire la misura
- può essere classificato in diversi modi, come ad esempio: per confronto; per sostituzione; metodo differenziale; metodo di zero.
- Metodi di misura:
  - diretti => espressi in termini della grandezza fisica del misurando
  - Indiretti => si misurano altre grandezze da cui si ricava il misurando mediante relazioni note.
- definizione operativa di misura (o procedura della misura) si intende l'insieme delle operazioni eseguite nell'effettuare le misure. Devono essere ripetibili da qualunque sperimentatore.

# Incertezze sulla misura

- per *errore di misura* si intende la differenza fra il risultato di una misura e il valore vero del misurando;
- Poiché il valore vero è ignoto, anche l'errore è ignoto e può essere valutato esattamente soltanto se si dispone di un campione di riferimento, ovvero di un valore convenzionalmente vero.
- Il rapporto fra l'errore  $\Delta x$  e il valore vero del misurando  $x$  definisce l'*errore relativo*  $\Delta x/x$ ;
- ad ogni risultato di misura è associato un certo grado di una *incertezza (o indeterminazione)*, ove con questo termine si intende,
  - un parametro che caratterizza la dispersione dei valori che possono essere ragionevolmente attribuiti al misurando

# Cause dell'incertezza di misura

1. Incompleta definizione del misurando
  - Es: la densità dell'aria (dipende da dove e quando si misura)
2. Imperfetta realizzazione della definizione del misurando
  - Es: accelerazione di un corpo lungo un piano inclinato privo di attrito
3. Campione non rappresentativo, ovvero il campione misurato non rappresenta il misurando definito
4. Imperfetta conoscenza delle condizioni di influenza o inadeguata conoscenza degli effetti di tali condizioni
5. Errore di lettura di uno strumento.
  - Es: l'errore di parallassi nella lettura del voltmetro
6. Risoluzione finita o soglia di discriminazione dello strumento
7. Valori inesatti dei campioni e dei materiali di riferimento.
  - Es: una massa campione con graffi, polvere e ossidazioni
8. Valore inesatto di costanti e altri parametri che intervengono nell'analisi dei dati
9. Approssimazioni e assunzioni che intervengono nel metodo e nella procedura di misura
10. Variazioni in osservazioni ripetute del misurando sotto condizioni di misura apparentemente identiche (errori casuali)

# Errori casuali e sistematici

- Gli *errori casuali* sono dovuti a influenze non controllabili e a media nulla che intervengono durante una serie di misure;
- sono responsabili della *variabilità dei valori misurati intorno* ad un certo valor medio a parità di delle condizioni sperimentali
- Sono chiamati *errori sistematici le deviazioni* dal valor vero che durante la misura sono costanti in entità e mantengono lo stesso segno
  - Per es: errore di scalibrazione

# Accuratezza/Precisione I

- **Accuratezza:** è il massimo scostamento fra il valore misurato e il valore vero. È tanto migliore quanto più il suo valore è piccolo.

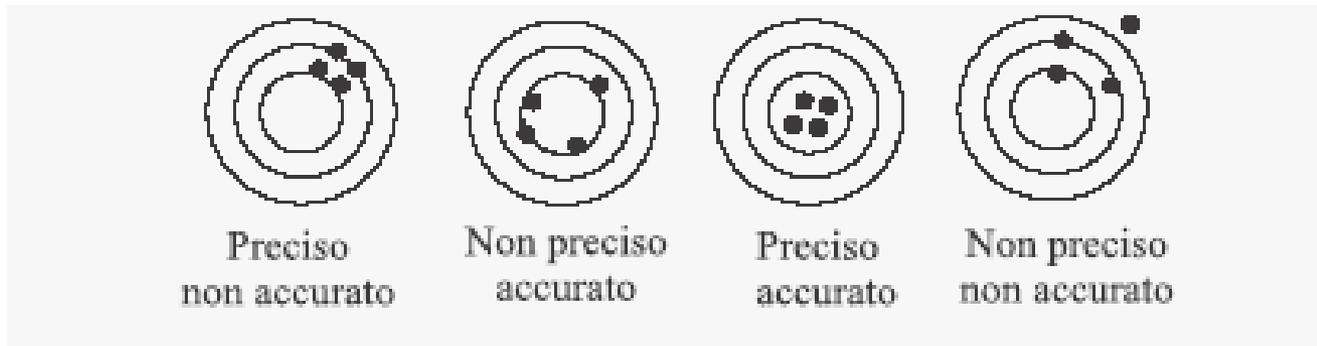
$$e_{A\%} = \frac{|Y - f(X)|_{Max}}{f(X)} \times 100$$

- **Precisione:** esprime la ripetibilità (riproducibilità) della misura della stessa grandezza fisica nelle stesse condizioni operative

$$e_{P\%} = \frac{|\Delta Y(X)|_{Max}}{Y_M - Y_m} \times 100$$

# Accuratezza/Precisione II

L'accuratezza non va confusa con la precisione:  
l'accuratezza ci fornisce un indice di quanto la nostra misura dia una indicazione fedele al valore vero della variabile che si vuole misurare, la precisione ci fornisce una misura di quanto la misura sia ripetibile.



# Esempio di calcolo dell'accuratezza (misura di spostamento)

- $d$ =spostamento,  $V$ =tensione di uscita
- Idealmente genera 1 mV per 1 mm
- sensibilità  $s = 1\text{mV/mm}$
- Con  $d=10\text{mm}$  si rileva in uscita  $V=10.5\text{ mV}$
- riconvertendo senza errore  $V$  all'ingresso, si ottiene  $d=V/s = 10.5\text{ mm}$
- in un range di 10mm l' inaccuratezza assoluta è 0.5mm
- l' (in)accuratezza è quindi espressa in termini relativi come  $0.5\text{mm}/10\text{mm} \times 100\% = 5\%$