

# Generalità sul modulo di Laboratorio di Fisica 1

**Valenza** ai fini curriculari: 1 CFU.

**Orario:** lezioni/esercitazioni: Mercoledì ore 9.30 (Aula B)

## **Contenuti:**

Grandezze fisiche e loro misura: Strumenti di misura, sensibilità dello strumento di misura e incertezza della misura.

Errori casuali: Istogrammi e loro parametri statistici, distribuzione limite, distribuzione gaussiana; stima dei parametri di una distribuzione gaussiana, determinazione dell'incertezza dovuta agli errori casuali; confronto tra risoluzione di misura ed errori casuali.

Errori sistematici: Valutazione dell'incertezza nel caso di misure inconsistenti, incertezza complessiva.

Incertezza assoluta e relativa: Propagazione degli errori nelle misure indirette.

Esecuzione di una esperienza di laboratorio:

- *Misura del periodo di oscillazione di un pendolo semplice e determinazione dell'accelerazione di gravità  $g$ .*
- *Redazione di una relazione sull'esperienza svolta in laboratorio.*

# Grandezze fisiche e loro misura

**Cos'è la Fisica? φυσικη = Natura.**

**Di che cosa si occupa la fisica?** Dello studio degli eventi o dei fenomeni naturali e li descrive usando un linguaggio matematico, per mezzo di relazioni analitiche quantitative fra le grandezze fisiche che lo caratterizzano (**leggi fisiche**).

**Cos'è la fisica? e di che cosa si occupa?**

- Scienza sperimentale che studia i fenomeni naturali suscettibili di sperimentazione e che implicano grandezze misurabili.
- Sono oggetto della Fisica lo studio dei moti, dell'interazione gravitazionale e elettromagnetica, la struttura della materia ....

**Fisica: scienza basata sulla misura di grandezze fisiche**

**Il metodo scientifico (o sperimentale)** fu introdotto e messo a punto da Galileo Galilei nel 16° secolo.

Il metodo scientifico fonda la sua validità sull'osservazione e sulla sperimentazione (riproduzione in laboratorio degli eventi osservati).

I fenomeni fisici devono avere carattere di riproducibilità.

Nello studio di un fenomeno fisico il passo più importante è senza dubbio rappresentato dalla misura di quantità ben definite che caratterizzano l'evento sotto osservazione (**misura di grandezze fisiche**) e dalla ricerca delle possibili relazioni quantitative esistenti fra le grandezze fisiche che lo governano e lo caratterizzano (**leggi fisiche**).

## Grandezze fisiche e loro misura:

Grandezza fisica: definizione.

Si intende una proprietà misurabile che caratterizza un evento fisico. Per definizione, quindi, una grandezza fisica è un ente caratterizzato da un numero e da una unità di misura

Due tipi di grandezze fisiche: *fondamentali* e *derivate*.

Grandezze fisiche fondamentali di interesse della Meccanica:  
*lunghezza* [L], *tempo* [T], *massa* [M].

**Misura di una grandezza fisica** è il numero che risulta dal confronto della grandezza da misurare con un'altra grandezza, ad essa omogenea, assunta come riferimento (detta campione di misura o unità di misura).

### **Unità di misura:**

L'unità di misura è la denominazione esclusiva attribuita alla misura della grandezza assunta come riferimento.

Esempi di unità di misura (del S.I.):

- il *metro* è l'unità di misura della *lunghezza*;
- il *secondo* è l'unità di misura del *tempo*;
- il *chilogrammo* è l'unità di misura della *massa*.

**N.B.:** La misura di una grandezza fisica non può dirsi completa se al valore numerico non è associata l'indicazione della sua precisione, mediante l'assegnazione dell'errore (errore della misura).

## Errori di misura:

Gli errori sperimentali derivano dall'indeterminazione con cui si associa ad una grandezza fisica il numero che ne esprime la misura, espressa in funzione di opportune unità di misura.

Esempi: distanza tra due punti (misura della lunghezza del segmento congiungente i due punti), temperatura di un corpo, la durata temporale di un evento, etc.

Gli errori di misura limitano la **precisione** con la quale si determina il valore numerico della grandezza fisica che si sta misurando. (**Precisione e Sensibilità**)

Una misura è sicuramente significativa quando l'errore ad essa associato è ben minore del valore numerico della misura stessa.

Il grado di precisione di una misura viene espresso dal numero di cifre significative. All'aumentare del numero di cifre significative aumenta anche la precisione della misura di una grandezza fisica.

Ovviamente il numero di cifre significative non può essere grande a piacere, ma deve essere compatibile con la tecnica di misura usata.

Ad esempio, nella misura della distanza  $l$  tra due punti con un regolo millimetrato, non ha senso indicare il valore della misura oltre alla cifra dei millimetri.

## Definizione operativa delle grandezze fisiche:

Ogni grandezza fisica per poter essere considerata tale dev'essere **definita in modo operativo**, descrivendo cioè le modalità e le procedure per mezzo delle quali essa possa essere misurata.

Metodi di misura delle grandezze fisiche si distinguono in:

- metodi diretti , usati per la misura delle **grandezze fisiche fondamentali**;
- metodi indiretti (misura delle **grandezze fisiche derivate**).

Le grandezze fisiche derivate sono collegate alle grandezze fondamentali da una relazione matematica (= legge fisica).

## Misurazione delle Grandezze fisiche

Definizione di Misurazione di una grandezza fisica:

processo con cui si associa a una grandezza un numero che ne esprime la *misura* o l'*intensità*, in termini di una specifica unità di misura.

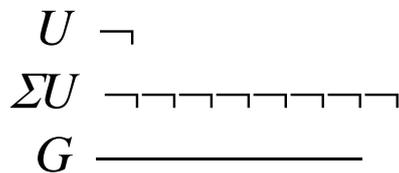
- L'operazione di MISURA (*misurazione*) consente di stabilire una corrispondenza fra le grandezze fisiche (GF) e i numeri e quindi di applicare il linguaggio e i formalismi della matematica alla descrizione dei fenomeni naturali.
- La misurazione avviene tramite l'impiego di opportuni **STRUMENTI DI MISURA**

## MISURA DIRETTA

- Procedura:
  - a) scelta del campione o unità di misura  $U$
  - b) composizione di campioni:  $\Sigma U$
  - c) verifica di identità tra  $G$  e una somma  $nU$  di campioni
  - d) computo degli  $n$  campioni
- La misura  $X(G)$  della grandezza fisica  $G$  è il rapporto tra la grandezza  $G$  e l'unità di misura  $U$ :

$$X(G) = G/U$$

Es.: Lunghezza di un righello:



- Il risultato di una misurazione della grandezza fisica  $G$  è:

$$G = X \cdot U$$

$X$  è il numero che esprime la misura,  $U$  è l'unità di misura.

Es.: per una lunghezza:  $l = 5 \text{ metri}$

per un intervallo di tempo:  $\Delta t = 7 \text{ secondi}$

per una massa:  $m = 2 \text{ chilogrammi}$

## MISURA INDIRETTA

- La misura  $X(G)$  della grandezza  $G$  in esame viene ottenuta sfruttando relazioni analitiche che la collegano alle misure  $Y(A)$ ,  $Z(B)$ , ... di una o più grandezze  $A, B$ , ... direttamente misurabili.

Esempio: L'area della superficie di un rettangolo.

La velocità di un corpo puntiforme in moto.

La densità volumetrica.

Il momento d'inerzia di un corpo rigido.

- Alla misura indiretta si deve sempre ricorrere per grandezze fisiche non direttamente misurabili, ossia che non possono essere misurate per confronto con un campione della stessa grandezza fisica da misurare.

Esempio: *La temperatura.*

In un termometro a mercurio, preventivamente tarato in gradi °C (scala Celsius), la misura di una variazione di temperatura viene ricondotta alla misurazione diretta della variazione  $\Delta l$  della lunghezza  $l$  della colonnina di mercurio.

Esempio: *La forza.*

La misura statica dell'intensità di una forza si fa con un dinamometro (molla tarato): l'intensità della forza è data dalla deformazione (= variazione della lunghezza) della molla.

## SISTEMI DI UNITA' DI MISURA

- Grandezze fisiche fondamentali (GFF):  
l'unità di misura è definita in modo arbitrario.
- Grandezze fisiche derivate (GFD):  
l'unità di misura è definita tramite le relazioni analitiche che le collegano alle grandezze fisiche fondamentali.
- Come si costruisce un Sistema di unità di misura:
  - scegliere una determinata ripartizione delle grandezze fisiche tra fondamentali e derivate;
  - definire le unità di misura delle GFF e delle GFD.

### Il Sistema Internazionale (S.I.)

Il S.I. fu introdotto nel 1960 dalla XXI Conferenza Generale dei pesi e delle Misura, e perfezionato da analoghe Conferenze successive. Oggetto di direttive della UE fin dal 1971, legalmente adottato in Italia nel 1982.

Il S.I. opera una precisa ripartizione fra GFF e GFD ed assegna ad ogni grandezza fisica un'unità di misura.

Il S.I. codifica anche le norme di scrittura dei nomi e dei simboli delle GF nonché l'uso dei prefissi moltiplicativi secondo multipli di 1000.

Il S.I. prevede **7 GFF** e ne definisce le **unità di misura**: *metro, chilogrammo, secondo, grado Kelvin, mole, ampere, candela.*

# Sistema Internazionale (S.I.) di Unità di Misura

Grandezza fondam.	Unità	Simbolo	Definizione
• lunghezza	metro	<b>m</b>	$1/299792458$ dalla luce nel vuoto in 1 s
• tempo	secondo	<b>s</b>	$9192631770,0$ periodi della radiazione prodotta dalla transizione tra i due livelli iperfini dello stato fond. dell'atomo di Cesio 133
• massa	chilogrammo	<b>kg</b>	massa del campione di Pt-Ir conservato a Sevrès
• temperatura	Kelvin	<b>K</b>	$1/273,15$ della temperatura assoluta punto triplo dell'acqua

## Il Sistema Internazionale (II)

- corrente elettrica ampère **A** intensità di corrente che in due conduttori rettilinei paralleli e di lunghezza infinita posti a distanza di 1 m produce una forza di  $2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$
- intensità luminosa candela **cd** intensità luminosa di una sorgente di frequenza  $5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$  la cui intensità energetica è  $1/683 \text{ W/sterad}$
- quantità di sostanza mole **mol** quantità di sostanza contenente tante “unità elementari” (atomi /molecole/ ioni...) pari al **numero di Avogadro**

$$N_A = 6,02252 \cdot 10^{23}$$

## Evoluzione nel tempo della definizione delle unità di misura

Esempio : la grandezza fondamentale “lunghezza”

1 metro  $\equiv$

- 1) -  $1/(4 \cdot 10^7)$  meridiani terrestri (1793)
- 2) } “metro campione” : sbarra di platino  
-iridio ( 90% Pt, 10% Ir) conservata  
a Sevrès (Parigi) ; riproducibilità  $\cong 10^{-7}$  (1889)
- 3) - 1.650.763,73  $\lambda_{\text{Cripton, nel vuoto}}^{2p_{10} \rightarrow 5d_5}$  (1960)
- 4) -  $1/299\,792\,458$  dello spazio percorso  
dalla luce nel vuoto in 1 secondo (1983)

Tabella A.1. Unità di misura derivate dotate di nome proprio

<i>Grandezza</i>	<i>Unità</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Conversione</i>	<i>Note</i>
Angolo piano	radiante	rad	$1 \text{ rad} = 1 \text{ m m}^{-1}$	
Angolo solido	steradiane	sr	$1 \text{ sr} = 1 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$	
Frequenza	hertz	Hz	$1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$	
Forza	newton	N	$1 \text{ N} = 1 \text{ m kg s}^{-2}$	
Pressione	pascal	Pa	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N m}^{-2}$	
Lavoro, energia, calore	joule	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ N m}$	
Potenza	watt	W	$1 \text{ W} = 1 \text{ J s}^{-1}$	
Carica elettrica	coulomb	C	$1 \text{ C} = 1 \text{ A s}$	
Diff. di potenziale elettrico	volt	V	$1 \text{ V} = 1 \text{ W A}^{-1}$	
Capacità	farad	F	$1 \text{ F} = 1 \text{ C V}^{-1}$	
Resistenza elettrica	ohm	$\Omega$	$1 \Omega = 1 \text{ V A}^{-1}$	
Conduttanza elettrica	siemens	S	$1 \text{ S} = 1 \Omega^{-1}$	
Flusso magnetico	weber	Wb	$1 \text{ Wb} = 1 \text{ V s}$	
Induzione magnetica	tesla	T	$1 \text{ T} = 1 \text{ Wb m}^{-2}$	
Induttanza elettrica	henry	H	$1 \text{ H} = 1 \text{ Wb A}^{-1}$	
Temperatura Celsius	grado Celsius	$^{\circ}\text{C}$	$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273.15$	
Flusso luminoso	lumen	lm	$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd sr}$	(1)
Illuminamento	lux	lx	$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm m}^{-2}$	(1)
Attività (di radionuclidi)	becquerel	Bq	$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$	(2)
Dose assorbita	gray	Gy	$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J kg}^{-1}$	(2)
Dose equivalente	sievert	Sv	$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J Kg}^{-1}$	(2)

# STRUMENTI DI MISURA

Definizione: dispositivi usati per la misurazione delle GF

Caratteristiche statiche degli Strumenti di Misura:

## *a) Campo di misura*

- Intervallo di valori  $X$  della grandezza  $G$  in cui lo strumento può eseguire le misure.
- Limitato inferiormente dalla portata minima e superiormente dalla portata massima (*fondo scala*)
- La portata massima di sicurezza è il massimo valore  $X$  della grandezza  $G$  applicabile senza danneggiare lo strumento.

Esempi: In un metro a nastro la portata minima è zero, la portata massima corrisponde alla lunghezza della scala graduata.

Nel termometro a mercurio il campo di misura è definito dai valori minimo e massimo inciso sulla scala graduata (es.  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Il valore massimo rappresenta generalmente anche la portata massima di sicurezza.

## *b) Sensibilità*

Il rapporto  $\Delta Z/\Delta X$  tra la variazione  $\Delta Z$  del valore della grandezza  $M$  in uscita dallo strumento (es. la deviazione di un indice, o l'allungamento della colonnina di un liquido) e la corrispondente variazione  $\Delta X$  del valore della grandezza  $G$  in ingresso (grandezza da misurare).

Esempio in un termometro a mercurio la grandezza  $G$  in ingresso è la temperatura, la grandezza  $M$  in uscita è l'altezza della colonnina di mercurio.

Il termometro A ha una sensibilità 5 volte maggiore del termometro B, in quanto la stessa variazione di temperatura provoca una variazione 5 volte maggiore dell'allungamento della colonnina di mercurio.

### ***c) Risoluzione di lettura***

- La più piccola variazione misurabile  $\Delta X$  del valore  $X$  della grandezza  $G$  in ingresso: corrisponde alla minima variazione percepibile  $\Delta Z$  del valore  $Z$  della grandezza  $M$  in uscita.
- Negli strumenti analogici la risoluzione di lettura corrisponde generalmente alla distanza minima tra due incisioni della scala graduata.
- Negli strumenti digitali la risoluzione di lettura corrisponde al valore unitario della cifra meno significativa.

Esempi: le aste millimetriche (righelli da disegno) hanno generalmente risoluzione di lettura di  $\Delta X = 1 \text{ mm}$ .

I calibri a vite micrometrica hanno generalmente una risoluzione di lettura di  $\Delta X = 0.01 \text{ mm}$ .

N.B.: Sensibilità e risoluzione di lettura sono tra loro strettamente correlate. Per ridurre la risoluzione di uno strumento è in genere necessario aumentare la sua sensibilità.

Per gli strumenti analogici talora la sensibilità viene espressa come il reciproco  $1/\Delta X$  della risoluzione.

#### *d) Discrezione*

- Uno strumento di misura provoca generalmente una perturbazione al sistema su cui viene eseguita la misurazione. Il valore  $X$  della grandezza  $G$  viene pertanto alterato dalla presenza dello strumento di misura. Si parla di maggiore o minore discrezione di uno strumento in relazione all'entità di questa alterazione.

Esempi: La misurazione di una massa  $M$  con una bilancia a bracci uguali non altera il valore della massa stessa; la bilancia a bracci uguali è uno strumento discreto.

La misurazione della temperatura  $T$  di un sistema termodinamico richiede uno scambio di calore tra il corpo e il termometro, e quindi altera lo stato termico del corpo stesso.

#### *e) Limiti d'impiego*

- Effetto delle condizioni ambientali. Oltre alla grandezza  $G$  che si vuole misurare, altre grandezze possono influire sul valore della misura: temperatura, umidità, intensità delle vibrazioni meccaniche..
- I limiti di impiego di uno strumento definiscono gli intervalli dei valori delle grandezze d'influenza nel cui ambito lo strumento può eseguire le misure.

Esempio: Caratteristiche tecniche di una bilancia elettronica: temperatura di operazione  $0 \div 40$  °C; livello sopra/sotto il mare:  $-3400$  m ..  $+6000$  m; umidità relativa dell'aria  $15\% \div 85\%$ ; vibrazioni  $0.3 \text{ ms}^{-2}$ .