

# FS410

## Laboratorio di didattica della Fisica

### programma preliminare

- Il metodo scientifico
- Grandezze fisiche
- Misurazioni (Dirette e Indirette)
- Sistemi di unità di misura
- Dimensioni fisiche e analisi dimensionale
- Strumenti di misura
- Incertezze di misura
- Propagazione delle incertezze
- Uso dei grafici per l'analisi dei dati

# FS410

## Laboratorio di didattica della Fisica

esercitazioni di laboratorio (lista preliminare)

- Misurazioni di lunghezze con calibro e Palmer
- Misurazione dell'accelerazione di gravità con il pendolo
- Legge di Boyle-Mariotte
- Misurazione di resistenze
- Esperienze di ottica (1 oppure 2)

# FS410

## Laboratorio di didattica della Fisica

### Obiettivi Formativi


- Questo insegnamento intende fornire i fondamenti per l'esecuzione dell'attività sperimentale in laboratorio di fisica.
- La fisica è una scienza sperimentale e l'attività in laboratorio avvicina gli studenti ai *fenomeni reali* e alla loro *complessità*.
- Affinché lo studente abbia una buona fruizione dell'attività di laboratorio, deve avere acquisito alcuni concetti di base come:
  - grandezze fisiche: dimensioni e unità di misura
  - misurazioni dirette e indirette
  - strumenti di misura
  - incertezze di misura e loro propagazione
  - primi elementi di analisi dati

# La Sperimentazione

- La modalità principale per lo studio dei fenomeni naturali e per la verifica delle teorie è la sperimentazione eseguita seguendo protocolli rigorosi che ne garantiscano l'affidabilità e la ripetibilità.
- In alcune discipline, a carattere prevalentemente osservativo (ad esempio l'*astrofisica*) la ripetibilità non è sempre facilmente ottenibile.
- la modalità con cui si opera nella sperimentazione è quella delineata dal **METODO SCIENTIFICO**

# Le fasi del Metodo Scientifico

Schematicamente e grossolanamente :

- Osservazione e descrizione di un fenomeno
  - Formulazioni di un'ipotesi
  - Confronto con i dati sperimentali
  - Formulazione di una teoria basata sulla verifica ripetuta dei dati sperimentali
- Se dati non confermati
- 

Nella realtà stabilire una teoria è un processo molto più complesso e involuto di quello schematicamente delineato e tipicamente dura molte decine di anni.

# Grandezze Fisiche

Una grandezza fisica è la proprietà di un fenomeno, di un corpo o di una sostanza che può essere espressa quantitativamente (valore della grandezza fisica) nella forma di un numero e un'unità di misura

## Esempi:

$\Delta t = 10 \text{ s}$ ,  
*un intervallo  
temporale*

$T = 36.6 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  
*una temperatura*

$M_{\text{higgs}} = 125 \text{ GeV}/c^2$   
*una massa*

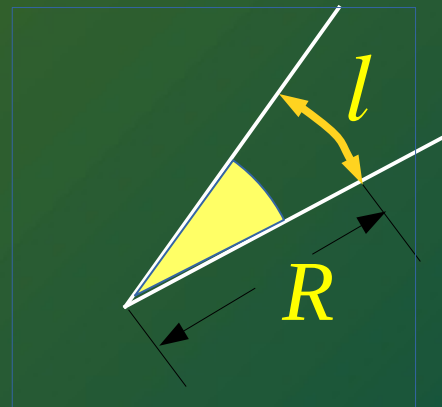
*Tutte le cifre con cui si esprimono le grandezze fisiche sono significative. Il numero di tali cifre dipende dall'**incertezza** con cui la grandezza è nota.*

# Definizione di Grandezza Fisica

Una caratteristica fondamentale di una grandezza fisica è che la sua definizione sia **operativa**.

Ovvero dalla sua definizione si possano estrarre una serie di operazioni per effettuare una misurazione ottenendo un valore quantitativo della grandezza.

Es. Definizione di angolo in matematica e in fisica



$$\theta = \frac{l}{R}$$



# Grandezze Fisiche Estensive e Intensive

- Una grandezza fisica additiva o estensiva è uguale alla **somma di tutti i sottosistemi costitutivi**;

Esempi: il volume, la massa, la carica elettrica...

- Una grandezza fisica non additiva o intensiva è una **proprietà indipendente dalla estensione del sistema**;

Esempi: la temperatura, la pressione, la densità



# Che cosa è una Misurazione

- E' il procedimento per ottenere sperimentalmente uno o più valori numerici (la misura) che possono essere attribuiti ad una grandezza fisica.
- Le procedure per eseguire la misurazione variano a seconda che la grandezza fisica sia estensiva o intensiva.
- In generale la misurazione è soggetta ad imperfezioni che danno origine ad un errore nel risultato della misura

# Misurazioni Dirette

Passi per l'esecuzione di una misurazione diretta di una grandezza additiva  $G$ :

- 1) Costruzione o scelta di unità standard  $U$
- 2) Composizione delle unità : (le grandezze sono additive)  $\Sigma_i U$
- 3) Confronto tra  $G$  e  $XU$
- 4) Conteggio delle  $X$  unità.  $X$  è la misura di  $G$  in unità  $U$ .

# Esempio di Misurazione Diretta

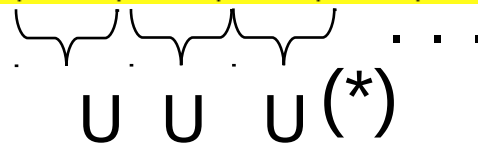
Una grandezza estensiva  $G$  (ad esempio una lunghezza di una matita) può essere misurata direttamente tramite il confronto diretto con un'altra grandezza dello stesso tipo ( $U$ ) che **assumiamo come unità**.

$G$ : misurando

→



$U$ : unità



$G = 8.37 U$

(\*) Per definizione le grandezze estensive sono **additive**

# Misurazioni Dirette

Riassumendo:

La Misura  $X(G)$  di  $G$  è il rapporto:  $X(G) = \frac{G}{U}$

e il risultato di una misurazione diretta si esprime come:

$$G = X \cdot U$$

Poiché su  $X$  è sempre presente un certo grado di incertezza ( $\delta X$ ), il risultato di una misurazione , si scrive come:

$$G = (X \pm \delta X)U$$

NB. La misura diretta è un'operazione possibile solo per variabili estensive.

# Misurazioni Indirette

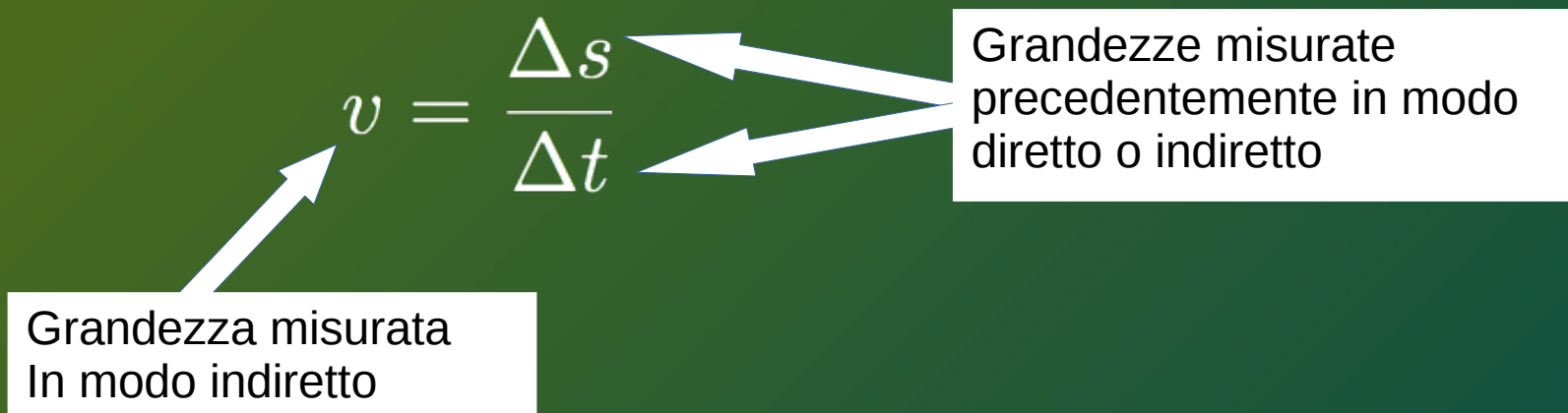
La misurazione indiretta di una grandezza fisica si ottiene tramite una relazione matematica tra la grandezza da misurare e altre che sono state misurate in altro modo (diretto o indiretto).

**Esempi: Velocità, distanze astronomiche, temperatura**

Ovviamente la presenza di errori nelle grandezze misurate direttamente si «propaga» alla misura indiretta

# Esempi di Misurazioni Indirette (1)

La grandezza velocità media  $v$  si misura in modo indiretto dalla relazione matematica che lega le grandezze dello spazio percorso  $\Delta s$  nell'intervallo temporale  $\Delta t$



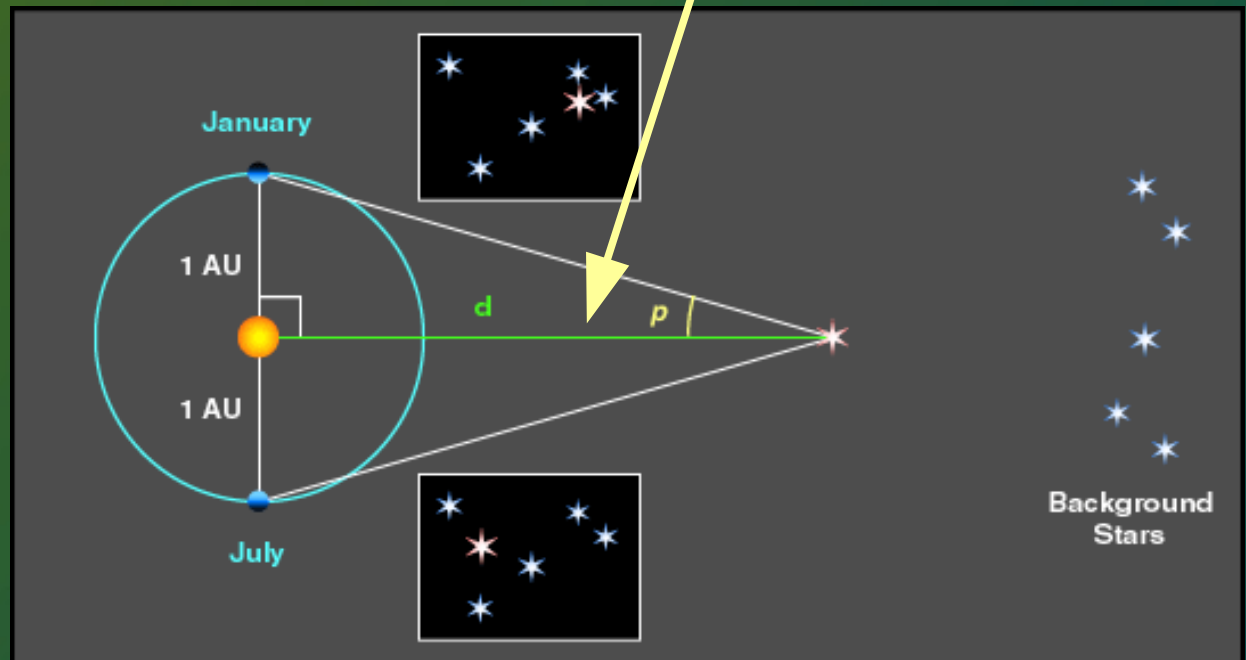
# Esempi di Misurazioni Indirette (2)

Distanza di una stella vicina.

$R$  raggio dell'orbita terrestre (misura indiretta)

$p$ : angolo di parallasse (misurazione diretta)

$$d = \frac{R}{\tan p}$$





# Esempi di Misurazioni Indirette (3)

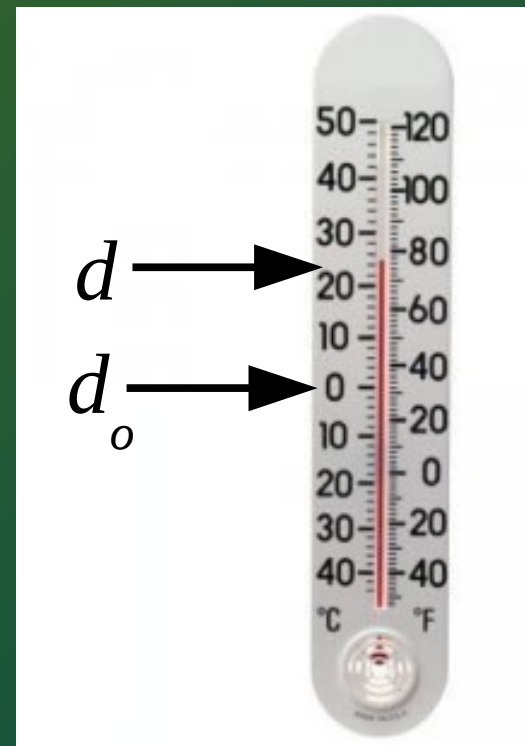
Temperatura. Una sostanza, ad es. il mercurio, aumenta le sue dimensioni lineari con la temperatura, per cui la misura della sua dimensione è legata alla temperatura:

$$d(T) = d_o[1 + \alpha(T - T_o)]$$

$$T = T_o + \frac{d - d_o}{\alpha d_o}$$

$T_o$ : Temperatura di taratura

$\alpha$  : coefficiente di dilatazione termica  
del liquido termometrico



# Il problema delle unità di misura

- La descrizione dei fenomeni fisici noti richiede l'uso di molte grandezze, estensive e intensive, collegate da relazioni matematiche.
- In linea di principio si potrebbe assegnare un'unità di misura per ogni grandezza (estensiva e intensiva).
- Questa scelta non è conveniente (Esempi: unità di velocità il km/h. o il Mach aeronautico)

$$v_{km/h} = 0.2778 \frac{\Delta s_m}{\Delta t_s}$$

Velocità in Km/h

Coefficiente di proporzionalità

Spazio in metri

Tempo in secondi

# Costruzione di un Sistema di Unità di Misura: Grandezze di Base e Derivate

- Per semplificare le relazioni (ovvero ridurre il numero dei fattori di proporzionalità) è conveniente scegliere (arbitrariamente) le unità di un limitato numero di grandezze dette di *base* ;
- Le unità delle altre grandezze, dette *derivate*, si derivano dalle relazioni matematiche che le definiscono
- In linea di principio **bastano 4 grandezze di base per descrivere tutte le grandezze fisiche** (3 sono sufficienti per la meccanica).

# Grandezze Derivate. Esempi

Esempio 1. La velocità è una grandezza derivata. E' definita, in modulo, dalla relazione:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Scegliendo come grandezze di base lo spazio misurato in metri e il tempo misurato in secondi, il valore unitario della velocità è un metro al secondo (non ha un nome specifico).

# Grandezze Derivate. Esempi

Esempio 2. La forza è una grandezza derivata. E' definita, in modulo, dalla relazione:

$$F = m a \quad \left[ a = \frac{dv}{dt} \right]$$

Scegliendo come grandezze di base lo spazio misurato in metri, il tempo misurato in secondi e la massa misurata in chilogrammi il valore unitario della forza è:

**1 chilogrammo X 1 metro / 1 secondo quadro**

In questo sistema l'unità di forza è detta newton (simbolo: N)

# Costruzione di un Sistemi di unità di Misura

Si costruisce un sistema di unità di misura

- 1) scegliendo in modo arbitrario le *grandezze di base (almeno 4)*
- 2) definendo le unità di misura delle grandezze di base

L'uso e la diffusione di un sistema di unità di misura dipende da un insieme di esigenze che per molti aspetti travalicano quelle puramente scientifiche, ad esempio come quelle commerciali e politiche nelle unità di lunghezza e massa.

# Caratteristiche dei Sistemi di unità di Misura

Un sistema di unità di Misura è detto

- **Completo**, quando tutte le grandezze possono essere dedotte da quelle di base
- **Coerente**, quando tutte le relazioni matematiche che definiscono le grandezze derivate non contengono fattori di proporzionalità differenti dall'unità.
- **Decimale**, quando tutti i multipli e sottomultipli delle unità sono potenze di 10.



# Scelta delle unità di base

La scelta delle unità di base essendo arbitraria è legata ad esigenze contingenti come:

- 1) Precisione della misurazione
- 2) Costanza nel tempo
- 3) Accessibilità
- 4) Riproducibilità

Esempio del metro.

# Il metro come unità di lunghezza

Breve storia:

1795 –  $1/10^7$  del meridiano Polo-Equatore (Naturale)

1799 – barra di platino – precisione 20 mm

1889 – barra di una lega - precisione 0.2 mm

1960 – multiplo di  $\lambda$  (rosso) del  $^{86}\text{Kr}$  - precisione 0.01 mm Nat.

1983 – prodotto fra  $c$  e  $\Delta t$  - precisione 0.1 nm (Naturale)

Le unità naturali garantiscono maggiormente riproducibilità e costanza spesso a spese della accessibilità.

# Il Sistema Internazionale (SI)

Nel SI sono state scelte, in modo logico ma arbitrario, 7 grandezze fisiche di base:

Grandezza fisica	Unità di misura	Simbolo
Intervallo di tempo	secondo	s
Lunghezza	metro	m
Massa	chilogrammo	kg
Temperatura	kelvin	K
Quantità di materia	mole	mol
Corrente elettrica	ampere	A
Intensità luminosa	candela	cd

Tutte le altre grandezze, quelle derivate, si definiscono tramite le 7 grandezze di base.

# SI - Definizioni delle grandezze di base (1)

- **metro (m)** – è la distanza percorsa dalla luce nel vuoto in un intervallo di tempo pari a  $1/299792458$  di un secondo
- **kilogrammo (kg)** – è pari alla massa del prototipo realizzato secondo le prescrizioni del CGPM e conservato presso il museo di Sevre. Il kg è l'unica unità di misura del SI basata su un manufatto.
- **secondo (s)** – è la durata di 9,192,631,770 periodi della radiazione emessa nella transizione tra i due livelli iperfini dello stato fondamentale del  $^{133}\text{Cs}$
- **kelvin (K)** – è la frazione  $1/273.16$  della temperatura termodinamica del punti triplo dell'acqua.

# SI - Definizioni delle grandezze di base (2)

- **mole (mol)** – è la quantità di sostanza che contiene tante entità elementari, atomi o molecole, quanti sono gli atomi presenti in 12 g di  $^{12}\text{C}$ .
- **ampere (A)** – è l'intensità di corrente elettrica che, se mantenuta in due conduttori lineari paralleli, di lunghezza infinita e sezione trasversale trascurabile, posti a un metro di distanza l'uno dall'altro nel vuoto, produce tra questi una forza pari a  $2 \times 10^{-7}$  N per metro di lunghezza.
- **candela (cd)** – è l'intensità luminosa, in una data direzione, di una sorgente che emette radiazione monocromatica di frequenza  $540 \times 10^{12}$  Hz e che ha un'intensità radiante in quella direzione pari a  $1/683$  W per steradiante.

# Caratteristiche del Sistema Internazionale

Il Sistema Internazionale (SI) delle unità di misura, definito dalla CGPM, è :

- Completo tutte le grandezze fisiche derivate note hanno una unità di misura nel SI
- Coerente tutte le relazioni di definizione delle grandezze fisiche hanno coefficienti unitari.
- ma non è decimale: per la grandezza tempo secondi, minuti e ore non sono multipli di 10.

# Multipli e Sottomultipli del SI

Multiplo	Prefisso	Simbolo	Sottomultiplo	Prefisso	Simbolo
$10^{18}$	exa	E	$10^{-1}$	deci	d
$10^{15}$	peta	P	$10^{-2}$	centi	c
$10^{12}$	tera	T	$10^{-3}$	milli	m
$10^9$	giga	G	$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^6$	mega	M	$10^{-9}$	nano	n
$10^3$	kilo	k	$10^{-12}$	pico	p
$10^2$	hecto	h	$10^{-15}$	femto	f
$10^1$	deca	da	$10^{-18}$	atto	a



# Altri Sistemi – I sistemi **cgs**

Oltre il SI, riconosciuto anche a livello governativo, sono utilizzati altri sistemi tra questi i sistemi **cgs**.

**cgs** elettrostatico. Unità di carica statcoulomb

**cgs** elettromagnetico. Unità di corrente abampere .

**Sistema di Gauss**. Ingloba i due precedenti. Ancora molto utilizzato soprattutto in fisica teorica.

<b>Sistemi cgs</b>		
<b>Grandezze di Base</b>	<b>Nome</b>	<b>Simbolo</b>
Lunghezza	centimetro	cm
Massa	grammo	g
Tempo	secondo	s
Temperatura	kelvin	K
Quantità di materia	mole	mol
Intensità luminosa	candela	cd

# Sistemi Pratici

Molte altre unità di misura «pratiche» sono ancora in uso nei diversi campi della fisica e della tecnica.

Tra quelli più usati:

- Unità di massa atomica (**u**) è 1/12 della massa dell'atomo di carbonio.  
 $1u = 1.661 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
- L'elettronvolt (**eV**) è l'energia cinetica acquisita da un elettrone accelerato da una ddp di 1V.  $1eV = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
- L'unità astronomica (**au**) è pari circa alla distanza terra sole  
 $1au = 1.496 \cdot 10^{11} \text{ m}$
- L'angstrom (**Å**) è utilizzato nella fisica atomica.  $1\text{Å} = 10^{-10} \text{ m}$

# Sistemi di unità naturali

I sistemi di unità naturali sono basati unicamente su costanti fisiche universali.

Ad esempio: **la carica elementare “e”** è un'unità naturale di carica elettrica, e **la velocità della luce “c”** è un'unità naturale di velocità.

Un sistema *puramente naturale* di unità è definito in modo tale che ad alcune costanti fisiche universali è assegnato il valore unitario.

Esempio: Velocità (in modulo) in unità naturali  $0 < \beta < 1$

- PRO. Semplifica le espressioni matematiche delle leggi fisiche.
- CONTRO. Si perde chiarezza e comprensione, poiché queste costanti vengono omesse nelle espressioni delle leggi fisiche.

# Cambiamento di unità di misura

## Fattori di conversione

Nella pratica accade che il valore di una grandezza fisica sia espresso in una unità di misura non coerente con le necessità del calcolo.

Per ottenere il valore espresso nell'unità A nell'unità B occorre il fattore di conversione che indichiamo con  $C_{A \rightarrow B}$  ( $1 \cdot A = C_{A \rightarrow B} \cdot B$ ).

Esempio. Convertiamo una velocità di **50 miglia/ora** in **metri/secondo**

$$C_{mi \rightarrow m} = 1609 \frac{m}{mi} \quad C_{h \rightarrow s} = 3600 \frac{s}{h}$$

$$50 \frac{mi}{h} = 50 \frac{C_{mi \rightarrow m}}{C_{h \rightarrow s}} = 50 \frac{mi}{h} \times 1609 \frac{m}{mi} \times \frac{1}{3600} \frac{h}{s} = 22.35 \frac{m}{s}$$