

# Esempi di leggi fisiche

- La fisica descrive fenomeni naturali stabilendo delle relazioni (matematiche) tra le grandezze fisiche

$$\text{Legge di Newton : } F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

$$\text{Rendimento teorico di una macchina termica : } \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

- Per confrontare i due membri delle relazioni occorre misurare le grandezze fisiche

# Misura di una grandezza fisica

- Una grandezza ha significato in fisica se, e solo se, è possibile misurarla.
  - Per misurarla occorre
    - Definire un campione
    - Definire una procedura per confrontare la grandezza con il campione
  - Risultato della misura:
    - Un numero e un'unità di misura

$L_{AB} = 3,6$  campioni

numero

unità di misura

# Notazione esponenziale

- In fisica, come in altre scienze, si usano spesso numeri molto grandi (grandezze astronomiche, distanza Terra-Sole, ecc) o molto piccoli (grandezze molecolari, atomiche, ecc)
- Per brevità e semplicità si usano, perciò, le potenze di 10  
 $1000=10^3$  -  $1000000=10^6$   
 $0,01=10^{-2}$  -  $0,0001=10^{-4}$
- Es.: Carica elettrone =  $-1.60218 \cdot 10^{-19}$  coulomb

# Sistemi di unità di misura

- Un stessa grandezza può essere misurata adoperando differenti campioni

La lunghezza si può misurare in:

- metri, centimetri, chilometri
- piedi, pollici, miglia
- anniluce, parsec, unità astronomiche

Il tempo si può misurare in:

- giorni, settimane, mesi, anni, secoli, millenni ...
- ore, minuti, secondi ...

- Esistono, quindi, diversi sistemi di unità di misura tra i quali è opportuno sceglierne uno



# Scelta del campione

- La precisione delle misure dipende dalla definizione del campione
  - La definizione può cambiare nel tempo man mano che si dispone di nuova tecnologia e di nuove conoscenze per migliorare la precisione delle misure
- Un campione deve essere:
  - accessibile e riproducibile
  - invariabile



# Sistema Internazionale – SI

- Sette grandezze fondamentali

- **Lunghezza** [L], si misura in *metri (m)*
- **Massa** [M], si misura in *kilogrammi (kg)*
- **Tempo** [T], si misura in *secondi (s)*
- **Corrente elettrica**, si misura in *ampere (A)*
- **Temperatura**, si misura in *kelvin (K)*
- **Intensità luminosa**, si misura in *candele (cd)*
- **Quantità di materia**, si misura in *moli (mol)*

- Più due supplementari

- **Angolo**: è un numero ma si parla di *radianti (rad)*
- **Angolo solido**: è un numero ma si parla di *steradiani (sr)*

# Sistema Internazionale – SI

- Il SI è un sistema metrico decimale: i multipli e i sottomultipli si ottengono moltiplicando per potenze positive o negative di 10.

• deca	$10^1$	da
• hetto	$10^2$	h
• kilo	$10^3$	k
• Mega	$10^6$	M
• Giga	$10^9$	G
• Tera	$10^{12}$	T
• Peta	$10^{15}$	P
• Esa	$10^{18}$	E

• deci	$10^{-1}$	d
• centi	$10^{-2}$	c
• milli	$10^{-3}$	m
• micro	$10^{-6}$	$\mu$
• nano	$10^{-9}$	n
• pico	$10^{-12}$	p
• femto	$10^{-15}$	f
• atto	$10^{-18}$	a

# Errori di misura

- Ogni volta che si effettua una misuri si incorre in due possibilità di errore:
- Errore casuale
- L'errore casuale è un errore di misurazione che può incidere con stessa probabilità (in aumento o in diminuzione) sul valore misurato; una serie ripetuta di misurazioni comporta la progressiva riduzione dell'errore casuale, poiché i singoli scostamenti si annullano reciprocamente; questo errore è prodotto da fenomeni aleatori derivati da errori di lettura degli strumenti o variazioni dovute a fenomeni esterni
- Errore sistematico  
È detto sistematico perché è costante al ripetersi della misura, e per questo non può essere eliminato con la ripetizione della misurazione





# Errori di misura-Cifre significative

- Supponiamo di effettuare la misurazione della lunghezza di un tavolo adoperando, come campione, un metro graduato fino al millimetro
- Il risultato della misura è:  $L=72,4$  cm
- In questo caso abbiamo tre cifre significative: 7,2 e 4
- L'errore della misura è implicitamente espresso dall'ultima cifra della misura ovvero  $0,1$  cm = 1 mm
- Per rendere esplicito l'errore, la misura precedente potrebbe essere scritta nella forma:  $L=72,4 \pm 0,1$  cm



# Errori di misura-Cifre significative

- La misura (dell'esempio)  $L=72,4$  cm può essere scritta come  $L=72,40$  cm?
- In matematica è possibile ma in fisica no!
- Vorrebbe implicitamente dire che abbiamo effettuato la misura con la precisione del decimo di millimetro (0,01 cm) adoperando, quindi, uno strumento di misura che garantisce questa accuratezza



# Errori di misura-Cifre significative

- Supponiamo, adesso, di effettuare la misurazione anche della larghezza dello stesso tavolo adoperando, come campione, lo stesso metro graduato fino al millimetro
- La misura ottenuta è  $L=52,3$  cm
- Se calcolassimo l'area della superficie del tavolo avremmo:  $S=72,4 \times 52,3=3786,52$  cm<sup>2</sup>
- Tale misura, però, non è fisicamente corretta avendo le misure di partenza una precisione al millimetro (0,1 cm)
- La misura fisicamente corretta della superficie deve avere la stessa precisione e sarebbe, quindi:  $S=3786,5$  cm<sup>2</sup>



# Grandezze derivate - Dimensioni

- Le unità di misura di tutte le grandezze fisiche sono derivate da quelle fondamentali attraverso le relazioni che legano ciascuna grandezza a quelle fondamentali
- Per “dimensioni” si intendono gli esponenti a cui bisogna elevare le grandezze fondamentali per ottenere la grandezza in esame
- NB: la distinzione tra grandezze fondamentali e grandezze derivate è del tutto arbitraria, è solo una questione di scelta.

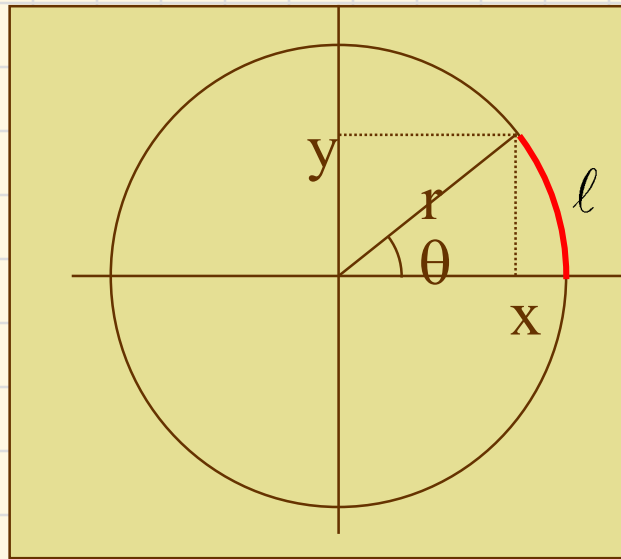
# Area (Lunghezza)

- Aree
  - Triangolo:  $\frac{1}{2}$  base x altezza
  - Parallelogramma: base x altezza
  - Cerchio:  $\pi$  x raggio al quadrato
- Dimensioni:  $[S]=[L]^2$
- Unità di misura:  $m^2$
- Campione: un quadrato di lato 1m

# Volume (Lunghezza)

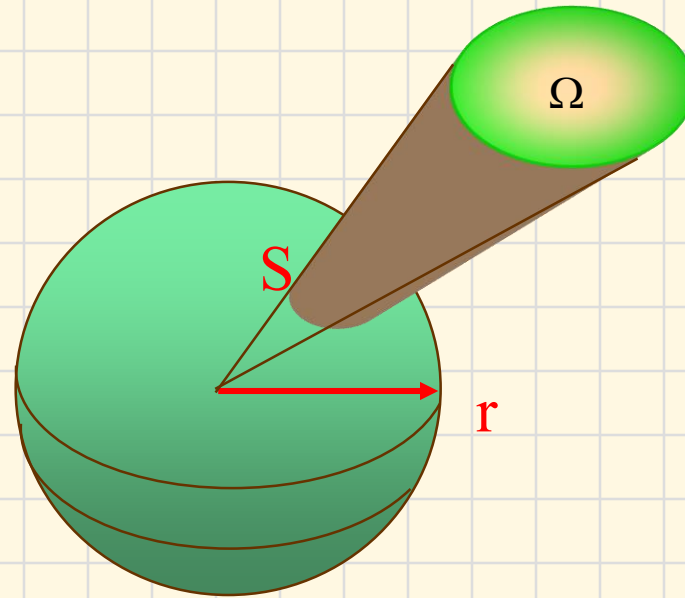
- Volumi
  - Parallelepipedo: area di base x altezza
  - Sfera  $\frac{4}{3} \pi \times$  raggio al cubo
- Dimensioni:  $[V]=[L]^3$
- Unità di misura:  $m^3$
- Campione: un cubo di spigolo 1m

# Angolo piano (Lunghezza)



- Angolo:  $\theta = \frac{\text{lunghezza dell' arco}}{\text{raggio della circonferenza}} = \frac{l}{r}$
- Dimensioni:  $[\theta] = \frac{[l]}{[r]} = [L] \cdot [L]^{-1} = [L]^0$
- Unità di misura: numero puro (radiante - rad)

# Angolo solido (Lunghezza)



- Angolo:  $\Omega = \frac{\text{area della calotta}}{\text{raggio della sfera al quadrato}} = \frac{S}{r^2}$
- Dimensioni:  $[\Omega] = \frac{[S]}{[r^2]} = [L]^2 \cdot [L]^{-2} = [L]^0$
- Unità di misura: numero puro (steradiano - sr)



# Frequenza (Tempo)

- La frequenza si riferisce ad un fenomeno periodico e si definisce come

$$f = \frac{\text{numero di cicli}}{\Delta t}$$

- Poiché il numero di cicli è un numero privo di dimensioni, si dirà che la frequenza ha le dimensioni di un tempo alla meno uno ( $[f]=[T]^{-1}$ ) e si misurerà in cicli al secondo ( $s^{-1}$ )
- Unità di misura: hertz (Hz)

# Velocità (Lunghezza e tempo)

- Per esempio la relazione che lega la velocità allo spazio percorso ed al tempo impiegato è data da

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

- Dimensioni:  $[v]=[d][\Delta t]^{-1}=[L][T]^{-1}$
- Unità di misura: m/s (metri al secondo)
- Il campione della velocità è la velocità di quell'oggetto che percorre un metro in un secondo

# Accelerazione (Lunghezza e tempo)

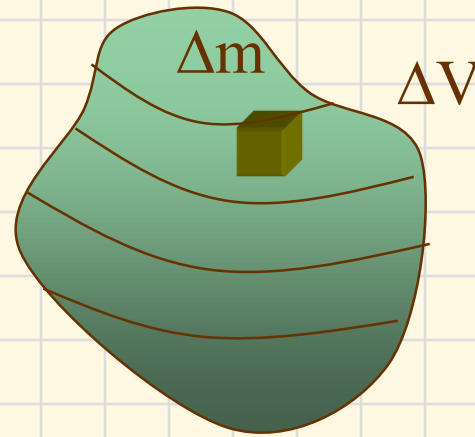
- L'accelerazione è una misura della rapidità con cui cambia la velocità. Essa è definita come:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

- Dimensioni:  $[a] = [v] [T]^{-1} = [L][T]^{-2}$
- Unità di misura:  $m/s^2$  (metri al secondo quadrato)
- Nel caso di una automobile che passa da 0 a 100 Km/h in 10 s, l'accelerazione media è:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\left( \frac{100 \text{ km}}{1 \text{ h}} \right)}{10 \text{ s}} = \frac{\left( \frac{100 \times 1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} \right)}{10 \text{ s}} = 2.78 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

# Densità o massa volumica (Massa e lunghezza)



- Si definisce densità di un corpo il rapporto

$$\rho = \frac{m}{V}$$

- Dimensioni:  $[\rho] = [M] \times [L]^{-3}$
- Unità di misura:  $\text{kg/m}^3$

# Alcune grandezze fisiche

Grandezza	Definizione	Unità di misura	
Area	$A = \text{base per altezza}$	metri quadri	$\text{m}^2$
Volume	$V = \text{area di base per altezza}$	metri cubi	$\text{m}^3$
Densità	$\rho = \text{massa diviso volume occupato}$	kilogrammi per metro cubo	$\text{kg}/\text{m}^3$
Velocità	$v = (\text{Distanza percorsa})/(\text{tempo impiegato})$	metri al secondo	$\text{m}/\text{s}$
Accelerazione	$a = (\text{Variazione di velocità})/(\text{tempo impiegato})$	metri al secondo quadrato	$\text{m}/\text{s}^2$
Forza	$F = \text{massa per accelerazione}$	newton	N $\text{kg m}/\text{s}^2$
Pressione	$P = (\text{forza normale})/\text{area}$	pascal	Pa $\text{N}/\text{m}^2$
Lavoro	Lavoro = forza per spostamento	joule	J      Nm
Energia cinetica	$K = 1/2 \text{ massa per velocità al quadrato}$	joule	J      Nm
Potenza	$P = (\text{lavoro effettuato})/(\text{tempo impiegato})$	watt	W      J/s
Quantità di moto	$p = \text{massa per velocità}$	kilogrammi per metri al secondo	$\text{kg m}/\text{s}$
Momento di una forza	$\mathbf{M} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$ (erre vettor F) prodotto vettoriale tra il vettore posizione e la Forza	Nm	

# Relazioni tra le grandezze

- Quando si impostano relazioni tra grandezze fisiche (ovvero qualcosa è uguale a qualcos'altro) devono essere rispettate alcune semplici (ed ovvie) regole:
  1. entrambi i termini della relazione devono avere le stesse dimensioni
  2. se un termine della relazione contiene delle somme, tutti gli addendi devono avere le stesse dimensioni

# Unità di misura nelle relazioni fisiche

- Le unità di misura possono essere usate come un qualsiasi altro termine nell'equazione algebrica
  - Determinare la distanza  $x$  dall'origine al tempo  $t=5s$  sapendo che la distanza dall'origine all'istante iniziale è  $5m$ , la velocità iniziale è  $4m/s$ , l'accelerazione costante è di  $2m/s^2$

$$x = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

$$x_0 = 5m$$

$$v_0 = 4m/s$$

$$a = 2m/s^2$$

$$x = 5m + 4 \frac{m}{s} \cdot 5s + \frac{1}{2} \cdot 2 \frac{m}{s^2} \cdot 25s^2 = 5m + 20m + 25m = 50m$$

# Equazioni dimensionali

- Si tratta di equazioni in cui tutti i termini sono le dimensioni dei termini fisici in gioco
- Velocità=Spazio/Tempo
- Equazione dimensionale: [Velocità]=[metri/secondi]
- Un'equazione dimensionale serve essenzialmente a due cose:
  1. definire le unità di misura delle grandezze derivate
  2. controllare la coerenza dimensionale delle relazioni matematiche



# Regole dell'analisi dimensionale

- Le dimensioni vengono trattate allo stesso modo delle quantità algebriche nel calcolo letterale
- I numeri puri, gli angoli e tutte le grandezze adimensionali, si possono sostituire con 1 nell'analisi dimensionale
- Le grandezze fisiche possono essere sommate o sottratte solo se hanno le stesse dimensioni ovvero se sono omogenee
- I due membri di una uguaglianza devono avere le stesse dimensioni
- Se non vi è possibilità di equivoco possono essere omesse le parentesi quadre per alleggerire la notazione

# Regole dell'analisi dimensionale

- Una relazione tra grandezze fisiche  $A, B, C, \dots$  del tipo  $A=B^p \times C^q$  deve essere sempre tale che le dimensioni del primo membro siano uguali alle dimensioni del secondo membro, in simbolo  $[A]=[B^p \times C^q]$

Esempio:

Se  $A$  è una velocità,  $B$  e  $C$  devono **NECESSARIAMENTE** essere uno spazio ed un tempo e  $p$  deve essere uguale ad 1 e  $q$  deve essere uguale a -1 (o viceversa), per cui:

$$[A]=[L]^1 \times [T]^{-1} = [A]=[B^p \times C^q]$$

# Fini dell'analisi dimensionale

- Il controllo dimensionale è la prima verifica da effettuare sul risultato di un qualunque esercizio o problema di fisica
- Se il controllo ha esito negativo certamente vi è stato un errore procedurale o di calcolo
- Se il controllo ha esito positivo, nulla si può dire circa l'esattezza del risultato
- Ovvero una positiva verifica dimensionale è una condizione necessaria ma non sufficiente al corretto svolgimento dell'esercizio o problema
- Altro fine può essere quello di ricavare una relazione tra grandezze fisiche in modo diretto