

Biomeccanica del Movimento

Nozioni di base

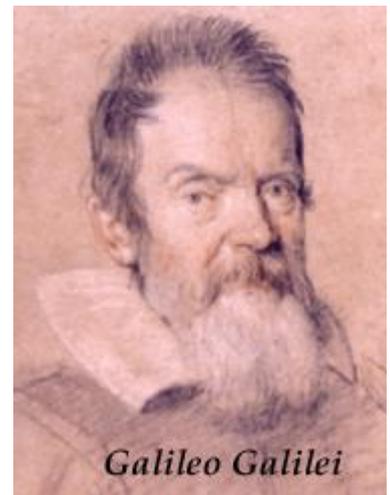
per iniziare bene

*Nessun atleta ha mai rimpianto di aver
studiato fisica e nessun fisico di aver
praticato dello sport*

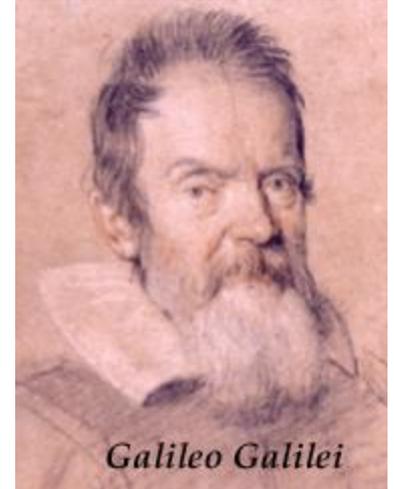
K. Ernst

Non si può intendere il grandissimo libro che ci sta aperto dinnanzi agli occhi - la Natura - se prima non si impara ad intendere la lingua o a conoscere i caratteri nei quali è scritta. Egli è scritto in lingua matematica e i caratteri sono triangoli, cerchi ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile intendere umanamente parola: senza questi è un aggirarsi vanamente in un oscuro labirinto.

G. Galilei



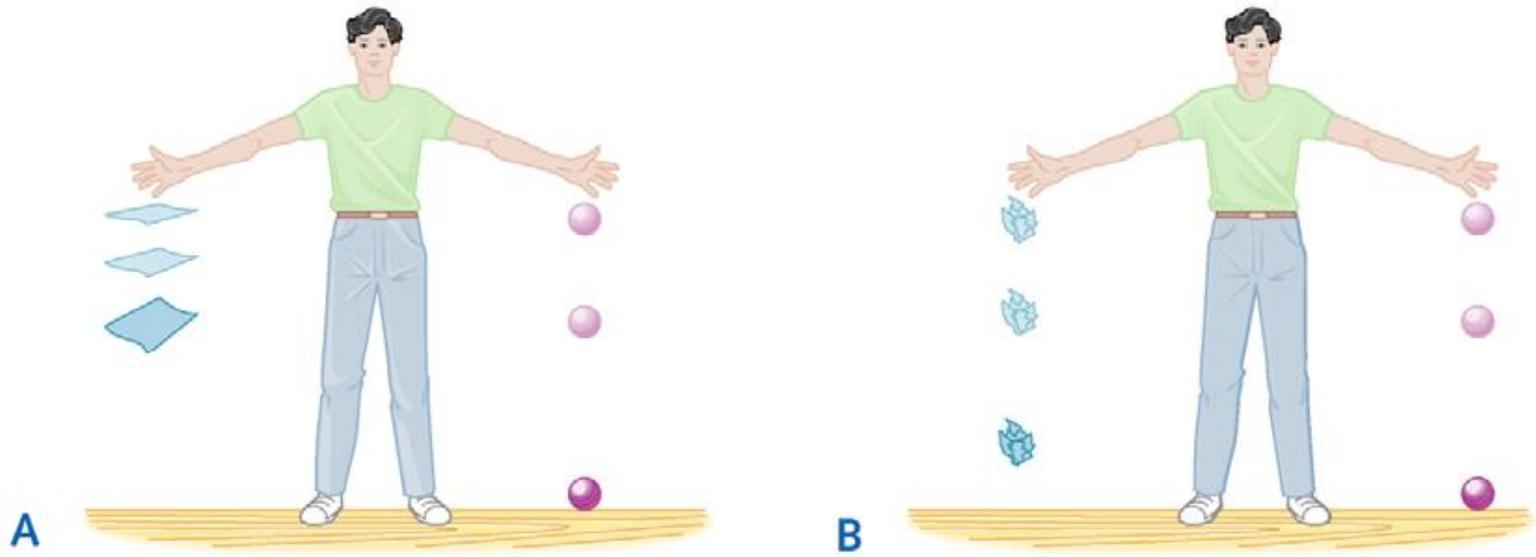
Metodo sperimentale



.....qualsiasi aspetto abbia il movimento umano, vogliamo analizzarlo, quindi prima di tutto dobbiamo osservarlo.....

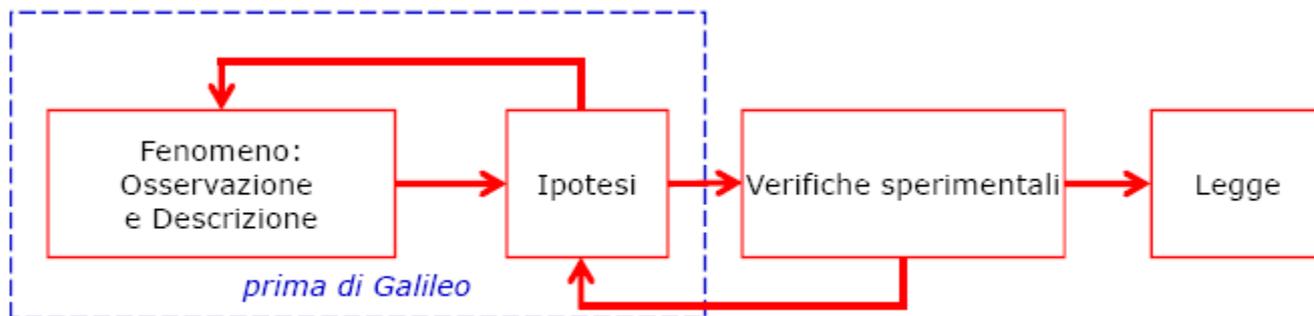
- L'osservazione dell'ambiente che ci circonda ci dice che la Natura fornisce spontaneamente informazioni complesse, a volte confuse e perfino contraddittorie, dalle quali è difficile ricavare le leggi fondamentali che la governano. È merito di Galileo aver intuito la necessità di rivolgere alla Natura domande mirate, particolarmente semplici, che comportino a loro volta risposte semplici e (relativamente) oggettive.

Caduta libera e resistenza dell'aria



Oggi sappiamo che il moto dei corpi verso terra dipende dalla presenza di due effetti concomitanti: l'attrazione gravitazionale della Terra, che provoca effettivamente la caduta, e una resistenza al moto dovuta all'aria

- *Per eseguire osservazioni scientifiche che abbiano carattere di verità universale, è necessario applicare le seguenti regole:*
 1. osservare e descrivere un dato fenomeno
 2. formulare un'ipotesi che lo possa spiegare
 3. prevedere una o più conseguenze dipendenti da quest'ipotesi
 4. verificare in modo sperimentale le conseguenze
 5. concludere (valutare): confermare o confutare l'ipotesi iniziale
- *Quando le conseguenze confermano le ipotesi, si parla di oggettività delle osservazioni e si costruisce una legge; (insieme di leggi \Rightarrow teoria)*



alla base del metodo scientifico sta l'**esperimento**

Le leggi della fisica sono espresse sotto forma di equazioni matematiche che rappresentano relazioni tra grandezze.

Ad esempio il secondo principio della dinamica

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

mette in relazione massa, accelerazione e forza.

Grandezza fisica

- Si dice che si è definita una **grandezza fisica** quando si è stabilito un procedimento, o un insieme di norme, atto a **misurare** tale grandezza e ad assegnarle **un'unità di misura**
- Nel 1960 la II Conferenza Generale di Pesi e Misure stabilì il **SISTEMA INTERNAZIONALE (SI o mks)** di Unità di Misura basato su 7 grandezze Fondamentali
- Le grandezze fisiche vengono classificate in **FONDAMENTALI o DERIVATE; SCALARI o VETTORIALI**
- Lunghezza, massa e tempo sono le grandezze che in meccanica sono assunte come fondamentali da cui si possono derivare tutte le altre

Lunghezza

- Le prime unità di misura di lunghezza furono spesso associate al corpo umano. Gli egiziani definirono il *cubito* come la distanza fra il gomito e l'estremità del dito medio. In modo simile *il piede* fu definito originalmente come la lunghezza del piede reale di re Luigi XIV. Per quanto colorite, queste unità di misura non erano riproducibili con grande precisione.
- Nel 1793, l'Accademia Francese delle Scienze, cercando uno standard più oggettivo e riproducibile, decise di definire l'unità di lunghezza uguale a un decimilionesimo della distanza fra il Polo nord e l'equatore e fu detto metro.
- Nel 1799 fu prodotto un metro standard, costituito da una barra di una lega di platino-iridio con due tacche distanti un metro l'una dall'altra.
- Dal 1983 usiamo una definizione di metro molto più precisa:
Un metro è definito come la distanza percorsa dalla luce nel vuoto in $1/299\,792\,458$ di secondo

Massa

- In unità SI, la massa è misurata in kilogrammi (kg). Diversamente dal metro, il kilogrammo non è basato su una quantità fisica naturale.
- Per convenzione, il kilogrammo è stato definito la massa di un particolare cilindro di una lega di platino-iridio depositato presso l'Ufficio Internazionale dei Pesi e delle Misure a Sèvres, in Francia.



Tempo

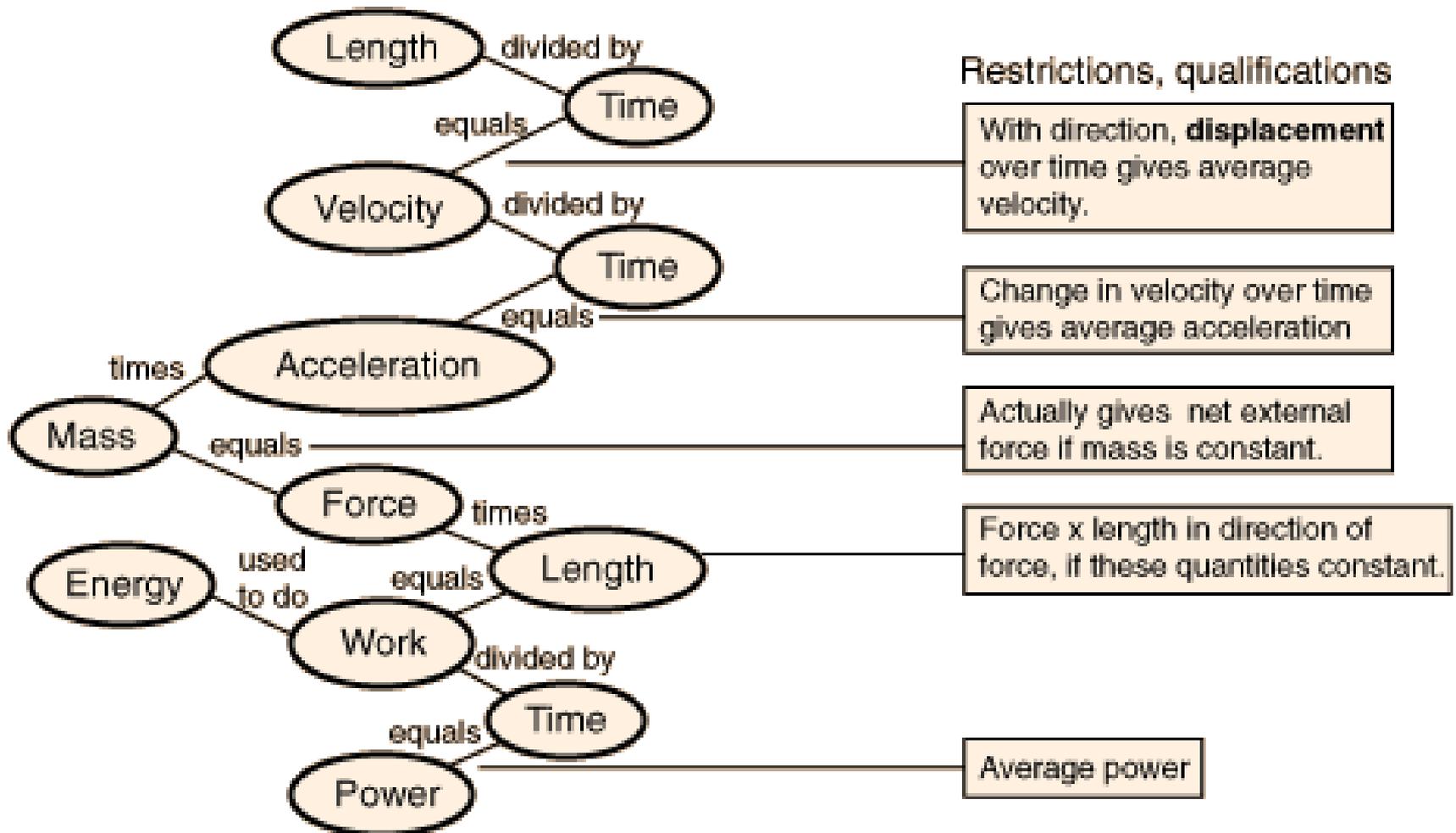
- La natura ci ha fornito un orologio abbastanza accurato: il moto di rotazione della Terra. Fino al 1956, era stato definito che il giorno solare medio consisteva di 24 ore, con 60 minuti per ogni ora e 60 secondi per ogni minuto, per un totale di $24 \times 60 \times 60 = 86400$ secondi.
- Al giorno d'oggi i più accurati cronometri conosciuti sono gli "orologi atomici", che sono basati sulle frequenze caratteristiche della radiazione emessa da certi atomi. Questi orologi hanno una precisione di circa un secondo in 300 000 anni.
- **Un secondo è definito come il tempo occorrente alla radiazione emessa da un atomo di cesio-133 per completare 9 192 631 770 oscillazioni.**

Basic Mechanical Units

	SI Units (MKS)	(CGS)	U.S. Common
Length (L)	meter (m)	centimeter (cm)	foot (ft)
Time (T)	second (s)	second (s)	second (s)
Mass (M)	kilogram (kg)	gram (gm)	slug
Velocity (L/T)	m/s	cm/s	ft/s
Acceleration (L/T ²)	m/s ²	cm/s ²	ft/s ²
Force (ML/T ²)	kg m/s ² =Newton(N)	gm cm/s ² = dyne	slug ft/s ² =pound(lb)
Work (ML ² /T ²)	N m = joule (j)	dyne cm = erg	lb ft = ft lb
Energy (ML ² /T ²)	joule	erg	ft lb
Power (ML ² /T ³)	j/s = watt (W)	erg/s	ft lb/s

Unit
Conversions

The Chain of Mechanical Quantities



Grandezze scalari e vettoriali

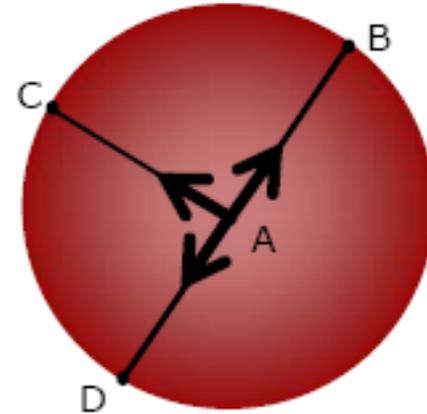
- Le grandezze SCALARI sono determinate da un numero e un'unità di misura (ad esempio: massa, lunghezza, tempo, densità, energia, temperatura).
- Seguono le leggi dell'algebra ordinaria

- Le grandezze VETTORIALI sono determinate da un intensità (o modulo), direzione, verso (ad es. forza, velocità, accelerazione).
- Seguono le leggi dell'algebra vettoriale

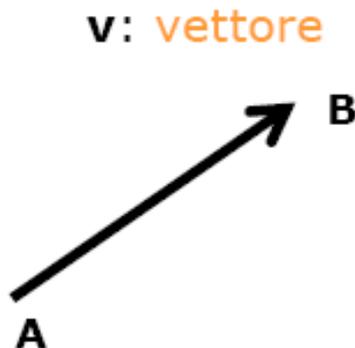
Grandezze vettoriali

spostamento

Se diciamo che un corpo si sposta di 50 m, non individuiamo in modo univoco la sua nuova posizione

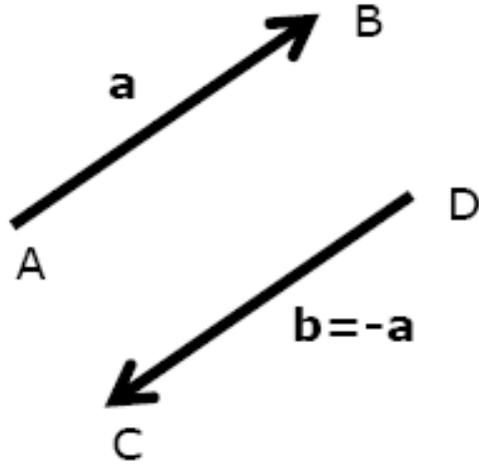


- Spostamento: cambiamento di posizione di una particella
- Vettore: segmento orientato



grandezza definita da un *modulo*,
direzione, *verso*
(A origine, B estremo libero)
es. *velocità*, *accelerazione*, *forza*,...

Definizioni vettoriali



Le grandezze vettoriali vengono indicate:

con una lettera in grassetto \mathbf{v} , \vec{v} , \mathbf{AB}

il modulo in corsivo oppure $|AB|$

Per definizione due vettori sono **uguali** se hanno stesso modulo, direzione e verso.

Due vettori sono **opposti** se hanno stesso modulo, direzione e verso opposto.

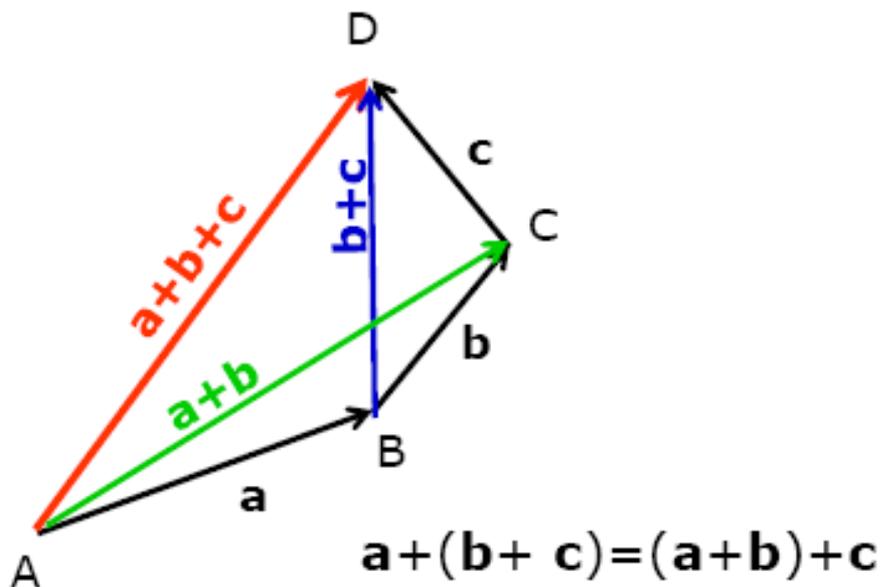
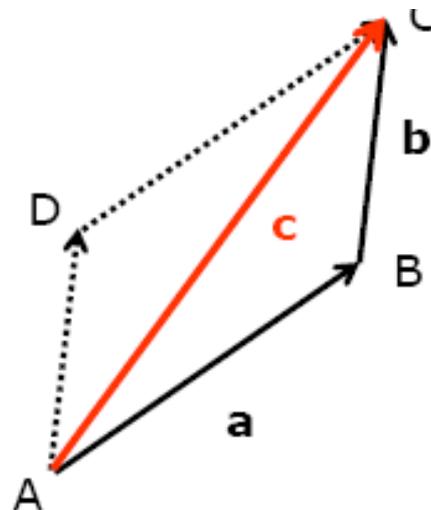
Somma e differenza di vettori

Somma

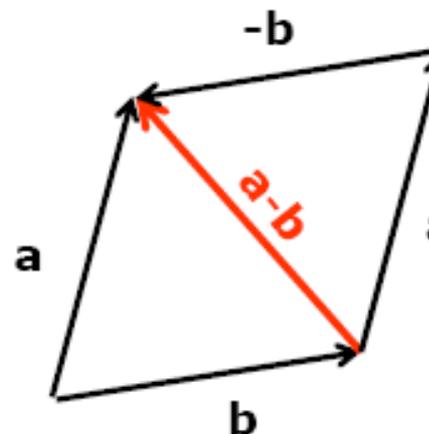
Regola del parallelogramma

$$c = a + b$$

gode della regola commutativa e della regola associativa



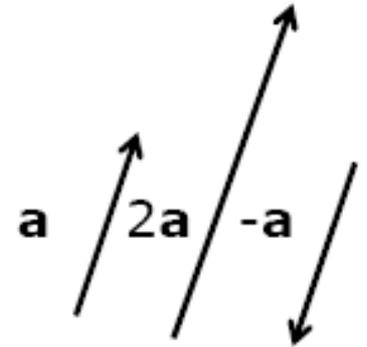
Differenza



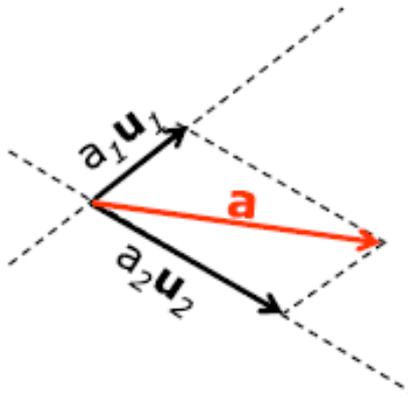
Prodotto di uno scalare per un vettore

$$\mathbf{a} = k\mathbf{v}$$

Stessa direzione, modulo pari a $k \cdot |\mathbf{v}|$ e stesso verso se k è positivo



Scomposizione di vettore



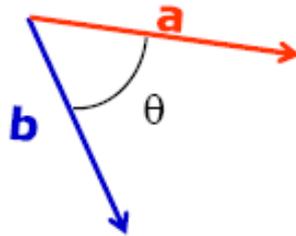
Consideriamo due rette orientate (di versori \mathbf{u}_1 e \mathbf{u}_2) aventi un punto in comune. Un qualsiasi vettore \mathbf{a} , complanare con il piano identificato dalle due rette, può essere espresso come somma di due vettori componenti, diretti come le due rette date

$$\mathbf{a} = a_1\mathbf{u}_1 + a_2\mathbf{u}_2$$

N.B. **il** componente è un vettore, mentre **la** componente è una grandezza scalare (che moltiplicata per il corrispondente versore, dà come risultato il componente)

Quando i versori \mathbf{u}_1 e \mathbf{u}_2 sono perpendicolari fra loro, le loro componenti sono chiamate ortogonali

Prodotto scalare



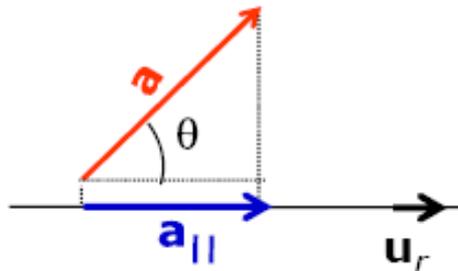
Si definisce prodotto scalare di due vettori, \mathbf{a} e \mathbf{b} , la grandezza scalare che si ottiene *moltiplicando fra loro i moduli dei due vettori e il coseno dell'angolo compreso* (θ)

$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = a b \cos\theta$$

Osserviamo che il risultato del prodotto scalare è una *grandezza scalare* e che il prodotto scalare di un vettore con se stesso è uguale al quadrato del suo modulo

Significato geometrico

Strettamente collegato con l'operazione di proiezione (ortogonale) di un vettore su una retta orientata di versore \mathbf{u}_r . Si tracciano le perpendicolari dagli estremi del vettore sulla retta data, si costruisce così un vettore $\mathbf{a}_{||}$, parallelo a \mathbf{u}_r avente parte scalare ($a \cos\theta$)



$$\mathbf{a}_{||} = a_u \mathbf{u}_r \text{ dove } a_u = a \cos\theta$$

Prodotto vettoriale

Dati i vettori **a** e **b**, si definisce **prodotto vettoriale**

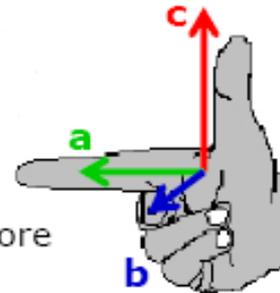
il vettore **c** così individuato: **$\mathbf{a} \times \mathbf{b}$**

- Il modulo del vettore **c** è dato da: $c = ab \sin \phi$
dove l'angolo ϕ è l'angolo minore di 180°
compreso tra i due vettori

- La direzione è perpendicolare al piano individuato dai vettori **a** e **b**.
- Il verso è determinato con la regola della mano destra:

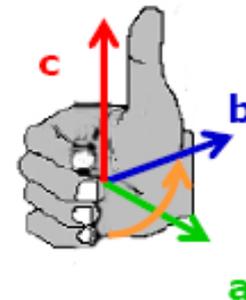
I formulazione:

- Si dispone l'indice della mano destra lungo il primo vettore
- Si dispone il medio della mano destra secondo il secondo vettore
- Il verso del pollice individua il verso del prodotto vettoriale



II formulazione

- Si chiude a pugno la mano destra mantenendo sollevato il pollice
- Si dispone la mano destra in maniera che le dita chiuse a pugno indichino il verso in cui bisogna far ruotare il primo vettore per sovrapporlo al secondo percorrendo l'angolo ϕ minore di 180°
- Il verso del pollice individua il verso del prodotto vettoriale.

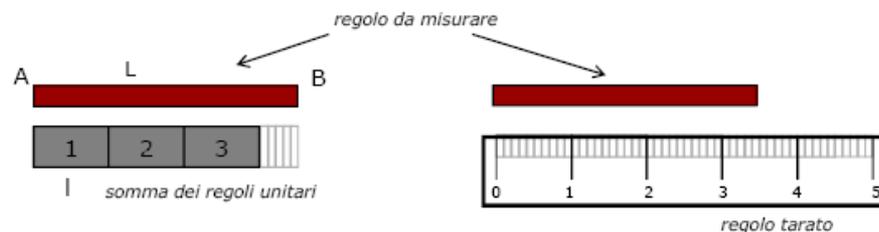


Misura

- Gli esperimenti si realizzano attraverso la **misurazione** di grandezze fisiche: processo che ha come risultato l'associazione di un numero a ciascuna grandezza; e, per ogni numero (misura), la sua attendibilità, cioè quello che viene chiamato l'errore.
- Alla base di questo ruolo centrale delle misurazioni sta l'idea della riproducibilità delle misure: l'assunto è che, misurando più volte una grandezza, nelle stesse condizioni sperimentali, si debbano ottenere sempre risultati compatibili fra loro.

La misurazione

- Tutte le misurazioni hanno una matrice comune: consentono di ottenere il rapporto fra la grandezza da misurare e un'altra, ad essa omogenea, scelta come unità di misura.
- La scelta dell'unità di misura di ciascuna grandezza è del tutto arbitraria, almeno in linea di principio.
- Solo dopo la Rivoluzione francese si è avviato un processo di unificazione delle unità di misura.
- Misura diretta (confronto diretto con la sua unità di misura) e misura indiretta



Caratteristiche dello strumento

- **Ripetibilità:** la capacità dello strumento di fornire misure uguali della stessa grandezza entro la sua risoluzione, anche in condizioni di lavoro difficili o variabili (vibrazioni, sbalzi di temperatura, ...).
Lo strumento deve risultare ben isolato rispetto agli effetti dell'ambiente esterno, escluso ovviamente l'effetto dovuto alla grandezza in esame.
- **Prontezza:** rapidità con cui lo strumento è in grado di fornire il risultato di una misura
- **Sensibilità** la più piccola grandezza in grado di generare uno spostamento apprezzabile rispetto all'inizio della scala dello strumento

Caratteristiche dello strumento

- **Risoluzione:** la minima variazione apprezzabile della grandezza in esame attraverso tutto il campo di misura: essa rappresenta il valore dell'ultima cifra significativa ottenibile.
- **Fondo scala:** il limite superiore del campo di misura
- **Precisione:** ad ogni misura è associata inevitabilmente una incertezza. Più piccola è l'incertezza associata alla misura, migliore sarà la misura.

Qualità di una misura

- **Errore assoluto:** l'intervallo di indeterminazione entro il quale si suppone che il risultato sia compreso.
- Es. A: 9Kg-11Kg $\rightarrow A=(10\pm 1)\text{Kg}$
- **Precisione o Errore relativo:** il rapporto tra l'errore assoluto e il risultato stesso, è una grandezza adimensionale (un numero, privo cioè di unità di misura), molto utile nell'analisi degli errori. A questo punto appare evidente che la misura con l'errore relativo minore è quella più precisa. Spesso per maggiore chiarezza si utilizza l'errore percentuale che non è altro che l'errore relativo moltiplicato per 100.

- Es. Siano date due misure nel modo seguente
 $A = (10 \pm 1) \text{ Kg}$
 $B = (100 \pm 1) \text{ Kg}$
- Entrambe hanno lo stesso errore assoluto ($\Delta A = \Delta B = 1 \text{ Kg}$), ma hanno differenti errori relativi. Mentre nella prima misura abbiamo un errore di una unità su dieci ($\Delta A/A$), nella seconda abbiamo un errore di una sola unità su cento ($\Delta B/B$): si è allora soliti dire che la prima è una misura precisa al 10%, mentre la seconda precisa all' 1%.

Errore

- Ad ogni misurazione è sempre associato un certo livello d'incertezza. Questo è esemplificato dal fatto che, ripetendo più volte la misurazione della stessa grandezza, si ottengono per lo o più risultati diversi. Se ammettiamo che esista un valore vero della grandezza, vuol dire che i valori misurati differiscono in vario modo da esso. Il modulo di ciascuna differenza è chiamato errore

$$\text{Errore} = |\text{valore misurato} - \text{valore vero}|$$

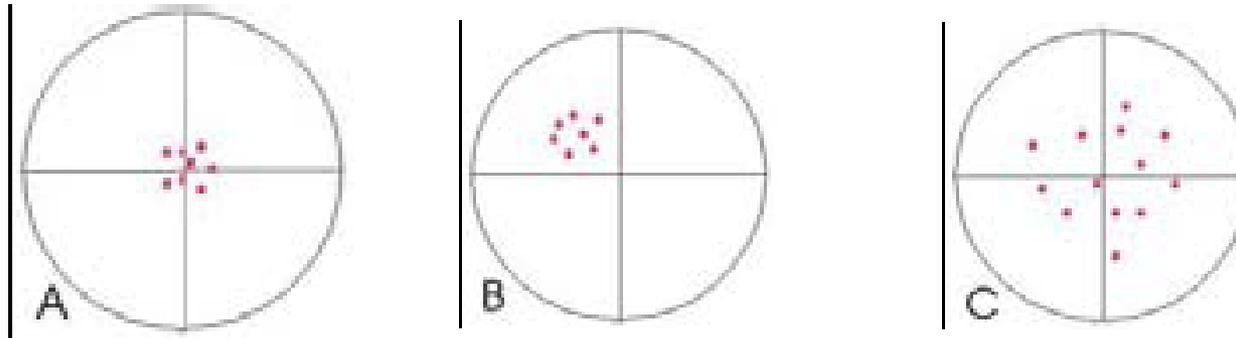
- Ogni volta che eseguiamo la misura di una grandezza fisica dobbiamo tener presente che il risultato risentirà di una certa imprecisione
- **Errore = la differenza fra il valore misurato e il valore vero**

Fondamentalmente due possibili cause:

- 1) Legate al funzionamento errato dello strumento di misura, o ad una taratura errata, o alla posizione errata dello sperimentatore nel momento della lettura (errore parallasse), danno luogo a **errori sistematici** (*se pochi misura accurata*)
- 2) Dovuta al caso, come succede per esempio al cronometrista, che schiaccia il tasto del cronometro un po' in anticipo o un po' in ritardo, dando luogo ai cosiddetti **errori casuali** (*se pochi misura precisa*)
 - I primi possono essere superati solo se viene individuata la causa.
 - I secondi sono sparpagliati e possono essere trattati statisticamente.

- Nella teoria degli errori la **PRECISIONE** è il grado di convergenza di dati rilevati su un valore medio della serie cui appartengono
- **L'ACCURATEZZA** è il grado di corrispondenza del dato teorico, desumibile da una serie di valori misurati, con il dato reale o di riferimento.

Precisione e accuratezza



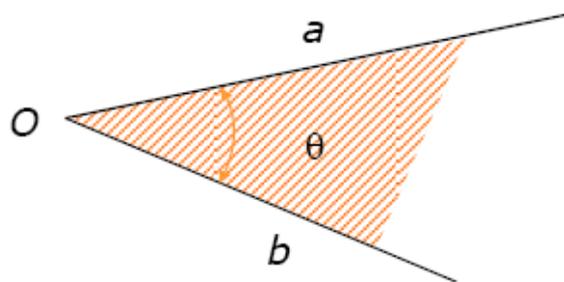
A è una serie di dati precisa e accurata

B è una serie di dati precisa ma non accurata in quanto fornisce un valore medio scostato dal valore atteso

C è una serie di dati poco precisi ma misura accurata

Angolo e la sua misura

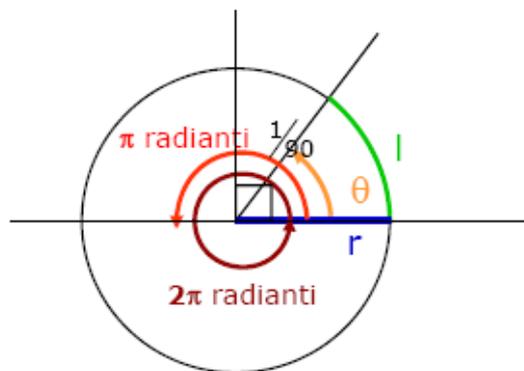
Un angolo θ è una porzione di piano delimitata da due semirette a e b uscenti da uno stesso punto O



Misura di un angolo:

gradi

radiani



$\theta = 1$ radiante
quando $l=r$

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

Formula di trasformazione

$$\theta_g : \theta_r = 360 : 2\pi \longrightarrow \theta_r = \theta_g \cdot \frac{\pi}{180}$$

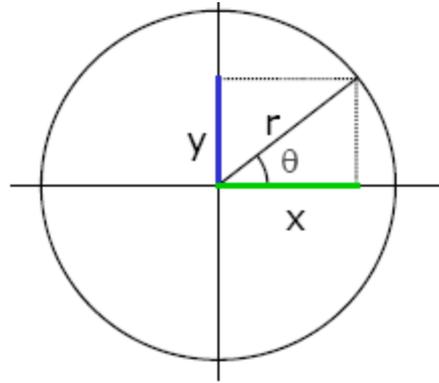
- Radiante= ampiezza dell'arco di circonferenza che rettificato sia uguale al raggio della crf stessa

Elementi di trigonometria

seno

$$\text{sen } \theta = \frac{y}{r}$$

$$y = r \cdot \text{sen } \theta$$



coseno

$$\text{cos } \theta = \frac{x}{r}$$

$$x = r \cdot \text{cos } \theta$$

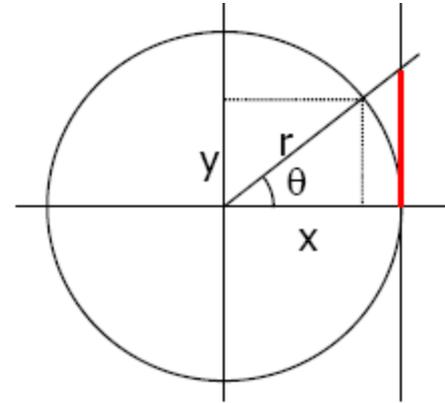
valori notevoli

radianti	0	$\pi/6$	$\pi/4$	$\pi/3$	$\pi/2$	π	2π
gradi	0	30	45	60	90	180	360
seno	0	$1/2$	$\sqrt{2}/2$	$\sqrt{3}/2$	1	0	0
coseno	1	$\sqrt{3}/2$	$\sqrt{2}/2$	$1/2$	0	-1	1

tangente

$$\tan \theta = \frac{y}{x} = \frac{\text{sen } \theta}{\text{cos } \theta}$$

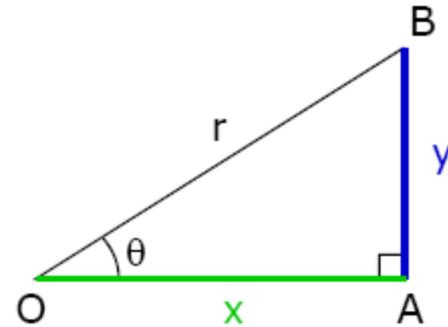
$$y = x \cdot \tan \theta$$



Triangolo rettangolo

Teorema di Pitagora $\overline{OA}^2 + \overline{AB}^2 = \overline{OB}^2$

$$\overline{OA} = \overline{OB} \cdot \cos \theta$$
$$\overline{AB} = \overline{OB} \cdot \text{sen} \theta$$
$$\overline{AB} = \overline{OA} \cdot \tan \theta$$



$$\cos \theta = \frac{\text{Cateto adiacente}}{\text{ipotenusa}}$$

$$\text{sen} \theta = \frac{\text{Cateto opposto}}{\text{ipotenusa}}$$

$$\tan \theta = \frac{\text{Cateto opposto}}{\text{Cateto adiacente}}$$

RICERCA SPERIMENTALE

•PIANIFICAZIONE

- Cosa cerco?
- Quali strumenti e mezzi mi servono per raggiungere lo scopo?
- Come posso completare ciò che è stato fatto in precedenza e trarne vantaggio?

•PREPARAZIONE

- Esperienza e capacità dell'operatore
- Scelta del campione
- Scelta dei caratteri
- Scelta degli strumenti

•ELABORAZIONE SCHEDA RACCOLTA DATI