

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI FIRENZE

SCUOLA DI AGRARIA

Corso di laurea: Scienze vivaistiche, ambiente e gestione del verde

Meccanizzazione ed automazione nella filiera del verde ornamentale

Dr. Piernicola Masella



LEZIONE 1 - MISURE

➡ La fisica si basa sulle misure delle grandezze fisiche. Alcune di queste grandezze sono state scelte come grandezze fondamentali: lunghezza, tempo, massa.

Queste grandezze fondamentali sono state definite mediante un campione e vi sono state associate delle unità di misura.

➡ METRO – SECONDO - KILOGRAMMO

➡ Altre grandezze fisiche sono invece definite attraverso le grandezze fondamentali, i loro campioni e le loro unità di misura. Il sistema di unità di misura più utilizzato è il **SISTEMA INTERNAZIONALE**

➡ La velocità è una grandezza fisica derivata dalle due grandezze fondamentali lunghezza e tempo

➡ La misura di ogni grandezza fisica viene espressa nella sua unità, mediante un confronto con un campione di quell'unità. Le grandezze fondamentali sono misurate attraverso le unità fondamentali, definite attraverso i campioni fondamentali che dovrebbero essere accessibili e invariabili.

Grandezza fisica	Simbolo della grandezza	Nome dell'unità di misura	Simbolo dell'unità di misura
lunghezza	l	metro	m
massa	m	kilogrammo	kg
tempo	t	secondo	s
corrente elettrica	I	ampere	A
temperatura	T	kelvin	K
quantità di sostanza	n	mole	mol
intensità luminosa	iv	candela	cd

LEZIONE 1 - MISURE



E' utile ricordare che:

✓ per esprimere numeri molto grandi o molto piccoli viene usata la notazione scientifica, ossia le potenze di 10

$$2\ 650\ 000\ 000\ \text{m} = 2.65 \cdot 10^9$$

$$0.000\ 000\ 265\ \text{m} = 2.65 \cdot 10^{-7}$$

✓ per ulteriore comodità vengono utilizzati dei prefissi, corrispondenti ad un fattore dato da una certa potenza di 10

✓ è possibile cambiare unità di misura mediante fattori di conversione, cioè rapporti unitari tra due identiche quantità

$$60\text{s} / 1\text{min} = 1, \text{ quindi}$$

$$2\text{min} = (2\text{min}) \cdot (1) = (2\text{min})(60\text{s}/1\text{min}) = 120\text{s}$$

potenza del 10	prefisso	simbolo	fattore di moltiplicazione
10^{24}	yotta	Y	1 000 000 000 000 000 000 000 000
10^{21}	zetta	Z	1 000 000 000 000 000 000 000
10^{18}	exa	E	1 000 000 000 000 000 000
10^{15}	peta	P	1 000 000 000 000 000
10^{12}	tera	T	1 000 000 000 000
10^9	giga	G	1 000 000 000
10^6	mega	M	1 000 000
10^3	chilo	k	1 000
10^2	etto	h	100
10^1	deca	da	10
10^{-1}	deci	d	0.1
10^{-2}	centi	c	0.01
10^{-3}	milli	m	0.001
10^{-6}	micro	μ	0.000 001
10^{-9}	nano	n	0.000 000 001
10^{-12}	pico	p	0.000 000 000 001
10^{-15}	femto	f	0.000 000 000 000 001
10^{-18}	atto	a	0.000 000 000 000 000 001
10^{-21}	zepto	z	0.000 000 000 000 000 000 001
10^{-24}	yocto	y	0.000 000 000 000 000 000 000 001

LEZIONE 1 - MISURE



Le unità di misura SI delle tre grandezze fondamentali:

- ✓ **il metro (m)** è la **LUNGHEZZA** che la luce percorre nel vuoto in un dato intervallo di tempo (1/299792458s)
- ✓ **un secondo** è il **TEMPO** necessario alla luce (di specifica lunghezza d'onda) emessa da un atomo di cesio-133 per effettuare un determinato numero di oscillazioni (9192631770)
- ✓ **un kilogrammo** è la **MASSA** di un cilindro di platino-iridio conservato in Francia presso l'Ufficio Internazionale dei Pesi e delle Misure; nel caso degli atomi è stato definito un secondo campione per l'unità di misura della massa, ossia l'atomo del carbonio-12 cui è stata assegnata la massa di 12 unità di massa atomica (u), dove

$$1u = 1.66053886 \cdot 10^{-27}\text{kg}$$

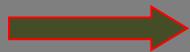
LEZIONE 1 – GRANDEZZE VETTORIALI E SCALARI



Le **GRANDEZZE SCALARI** risultano completamente descritte da un numero, che ne rappresenta il valore. Per definire univocamente una grandezza scalare è quindi sufficiente indicare un valore numerico accompagnato dalla relativa unità di misura.

Il numero che definisce la misura di uno scalare viene indicato con il termine di modulo, o più frequentemente intensità.

ESEMPIO: temperatura o il tempo



Sono dette grandezze vettoriali quelle che per essere definite necessitano, **oltre che di un'intensità, anche di una direzione e di un verso.**

Sono rappresentate per mezzo di figure geometriche, ossia segmenti orientati, simboleggiati tramite una freccia, dove il modulo (l'intensità) corrisponde alla lunghezza del segmento di freccia, la direzione corrisponde alla retta sulla quale giace il segmento, il verso corrisponde alla punta della freccia. Il punto da cui origina il segmento orientato è detto origine.

TALI FIGURE SONO DETTE VETTORI



LEZIONE 1 – POSIZIONE, SPOSTAMENTO E VELOCITA'



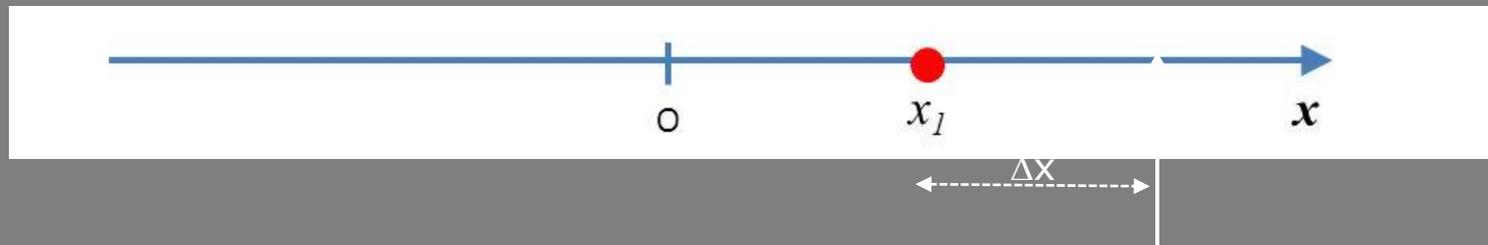
Tutto ciò che ci circonda, noi compresi, è in movimento (**moto**) rispetto al resto dell'Universo.

✓ la **CINEMATICA** studia il confronto e la classificazione dei moti

Nel MOTO RETTILINEO assumiamo che il moto di un corpo avvenga esclusivamente lungo una linea retta, sia essa orizzontale o verticale



Localizzare un oggetto (x_1) significa trovare la sua posizione rispetto ad un punto di riferimento, che generalmente è l'origine di un asse. Il cambiamento di posizione da un punto x_1 a x_2 è chiamato spostamento Δx



LEZIONE 1 – POSIZIONE E SPOSTAMENTO



$$\Delta x = x_2 - x_1$$

U.M. = m

Lo spostamento è un esempio di grandezza vettoriale, cioè caratterizzata da:

- ✓ una direzione (la retta lungo cui si muove il corpo)
- ✓ un verso (di segno positivo se lo spostamento avviene nel verso di valori crescenti dell'asse di riferimento, viceversa negativi)
- ✓ modulo (intensità dello spostamento, ossia il valore assoluto dello spostamento effettuato)



Lo spostamento è una grandezza che dipende solo dalla posizione iniziale e finale

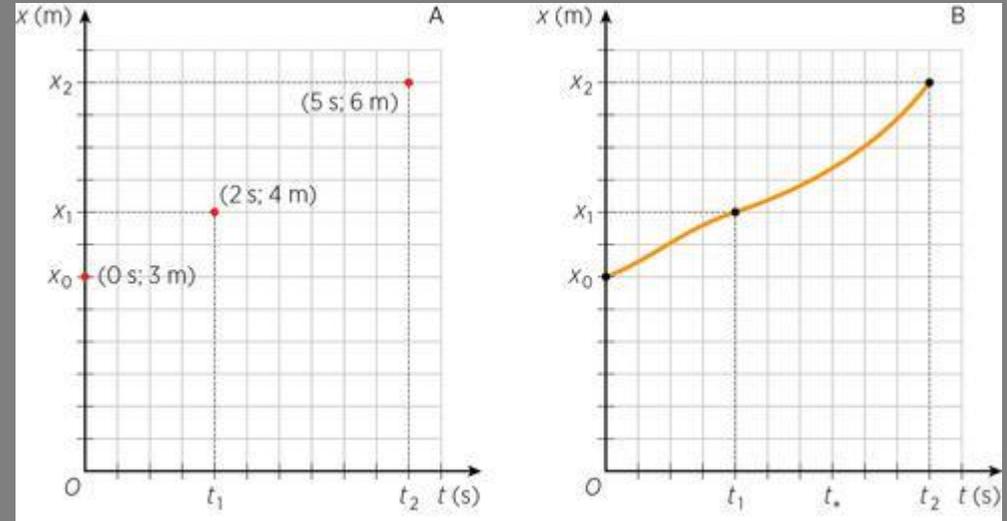
LEZIONE 1 –VELOCITA' MEDIA



E' possibile esprimere la posizione in funzione del tempo. La variazione di posizione (spostamento) in funzione del tempo definisce una nuova grandezza, la **VELOCITA'**

La velocità vettoriale media è il rapporto tra lo spostamento Δx che si verifica in un intervallo Δt e l'intervallo stesso:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$



✓ graficamente corrisponde alla pendenza della retta che unisce i due punti di coordinate $(x_2; t_2)$ e $(x_1; t_1)$

✓ anche in questo caso si tratta di una grandezza vettoriale, quindi caratterizzata da un **modulo** (valore assoluto della pendenza della retta), una **direzione** (la retta pendente) ed un **verso** (pendenza positiva corrisponde a velocità positiva, e viceversa)

La velocità scalare media considera la lunghezza totale effettivamente percorsa, indipendentemente dalla direzione. Non ha verso.

$$\bar{u} = \frac{\text{dist. totale}}{\Delta t}$$

LEZIONE 1 – VELOCITA' ISTANTANEA



La velocità vettoriale in qualunque istante si ottiene restringendo l'intervallo di tempo Δt in modo tale che si avvicini sempre più allo zero. In questo modo la velocità vettoriale media tende ad un valore limite che corrisponde alla **VELOCITA' VETTORIALE ISTANTANEA**

possiamo scrivere,

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

$$U.M. = \frac{m}{s}$$

- ✓ quindi v è la derivata prima della posizione (spostamento) rispetto al tempo, ossia la velocità con cui una particella varia la posizione x in funzione del tempo ad un istante dato
- ✓ graficamente corrisponde alla pendenza della retta tangente alla curva di posizione-tempo all'istante dato t
- ✓ anche in questo caso si tratta di un vettore con modulo, direzione e verso
- ✓ la velocità scalare istantanea corrisponde al modulo della velocità istantanea vettoriale, non ha quindi verso e direzione

LEZIONE 1 – ACCELERAZIONE



Una particella in moto è sottoposta ad un'ACCELERAZIONE quando la sua velocità varia, quindi

$$\text{ACCELERAZIONE MEDIA } \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

$$U.M. = \frac{m}{s^2}$$

$$\text{ACCELERAZIONE ISTANTANEA } \bar{a} = \frac{dv}{dt}$$

- ✓ l'accelerazione di una particella in un dato istante corrisponde alla rapidità di variazione della sua velocità in quell'istante
- ✓ graficamente l'accelerazione è la pendenza della retta tangente alla curva velocità-tempo
- ✓ analiticamente si tratta della derivata seconda della posizione rispetto al tempo
- ✓ è una grandezza vettoriale

QUESTIONE DI SEGNI:

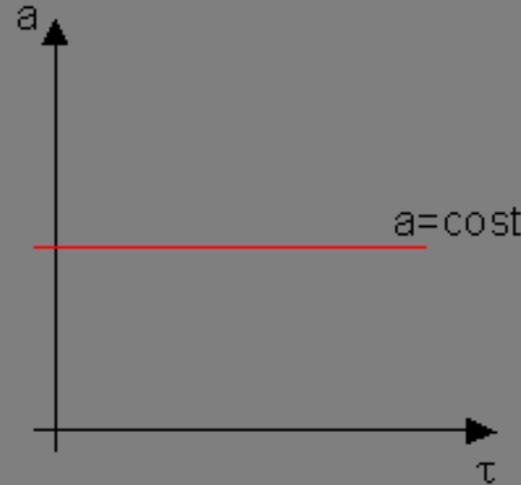
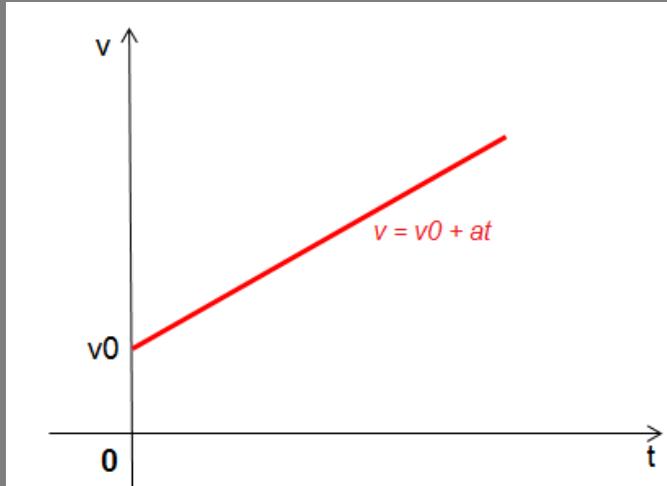
- se v è costante, la derivata vale 0, quindi $a=0$
- se i segni di velocità e accelerazione sono gli stessi, la particella aumenta la sua velocità;
- se i segni sono opposti, la particella sta rallentando

LEZIONE 1 – ACCELERAZIONE ED EQUAZIONI DEL MOTO



Uno dei più comuni tipi di moto è il **MOTO RETTILINEO UNIFORMEMENTE ACCELERATO**, dove l'accelerazione è costante

$$a = \text{costante}$$



1° equazione del MOTO RETTILINEO UNIFORMEMENTE ACCELERATO

$$v = v_0 + at$$

2° equazione del MOTO RETTILINEO UNIFORMEMENTE ACCELERATO

$$x - x_0 = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

3° equazione del MOTO RETTILINEO UNIFORMEMENTE ACCELERATO

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$$

LEZIONE 1 – ACCELERAZIONE DEL MOTO IN CADUTA LIBERA



Un esempio importante di **MOTO RETTILINEO UNIFORMEMENTE ACCELERATO** è dato da un oggetto che sale o scende in moto verticale libero presso la superficie terrestre, allora

$$a = -g = -9.8 \frac{m}{s^2}$$

- ✓ assumiamo come riferimento un asse y verticale e verso positivo verso l'alto;
- ✓ il corpo subisce un'accelerazione costante verso il basso detta **ACCELERAZIONE DI GRAVITA' (g)**
- ✓ g è negativa
- ✓ g è indipendente dalle caratteristiche dell'oggetto, quali massa, forma o densità

LEZIONE 1 – VETTORI



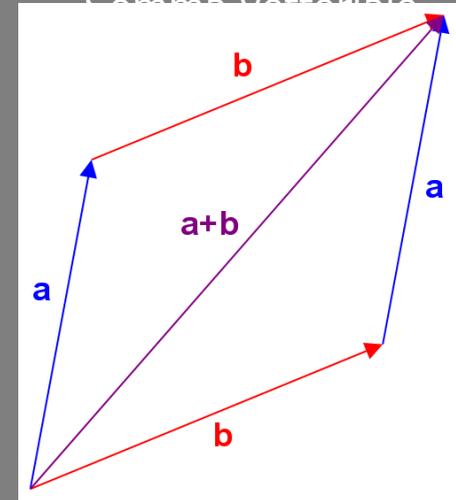
SONO ENTITA' INDIVIDUATE DA:

- ✓ intensità (ampiezza o modulo)
- ✓ direzione (linea retta lungo la quale agiscono)
- ✓ verso (uno dei due sensi lungo la retta)

Il vettore somma (s) è dato da:

$$\mathbf{s} = \mathbf{a} + \mathbf{b}$$

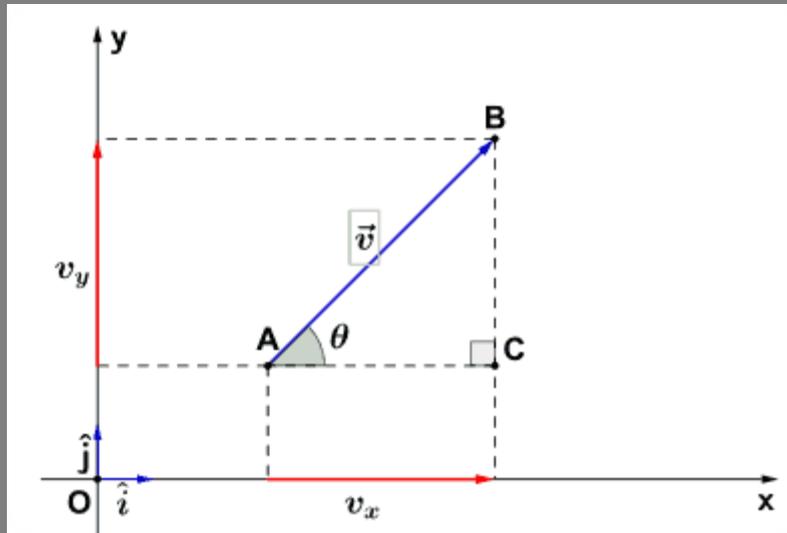
- ✓ proprietà commutativa $\mathbf{a} + \mathbf{b} = \mathbf{b} + \mathbf{a}$ (l'ordine degli addendi non è rilevante)
- ✓ proprietà associativa $(\mathbf{a} + \mathbf{b}) + \mathbf{c} = \mathbf{a} + (\mathbf{b} + \mathbf{c})$ (se ci sono due o più vettori, il modo in cui vengono raggruppati non è rilevante)
- ✓ sommare $-\mathbf{b}$ equivale a sottrarre \mathbf{b} , $\mathbf{d} = \mathbf{a} - \mathbf{b} = \mathbf{a} + (-\mathbf{b})$ (sottrazione di vettori)
- ✓ ha senso sommare solo vettori dello stesso tipo



LEZIONE 1 – VETTORI



È possibile scomporre un vettore nelle sue componenti orizzontali e verticali tracciate lungo un sistema di coordinate ortogonali



✓ è possibile sommare i vettori sommando le rispettive componenti

✓ in questo caso il segmento $AC=v_x$ è la componente orizzontale lungo l'asse x, il segmento $BC=v_y$ è la componente verticale lungo l'asse y

✓ le componenti sono grandezze scalari con segno concorde con il verso del vettore

Valgono le seguenti relazioni:

$$AC = v_x = v \cos \theta$$

$$BC = v_y = v \sin \theta$$

$$a = \sqrt{v_x^2 + v_y^2};$$

$$\tan \theta = \frac{a_y}{a_x}$$

FACCIAMO IL PUNTO

Abbiamo visto che:

1. in FISICA sono definite **7 unità fondamentali**, dalle quali sono derivate le altre grandezze
2. le grandezze possono essere **scalari** (definite solo da un numero, es. temperatura) o **vettoriali** (quando definite da direzione, verso ed intensità)
3. notazione scientifica (potenze del 10) e prefissi moltiplicativi semplificano l'espressione di numeri molto grandi o molto piccoli
4. le unità di misura e la loro conversione sono un aspetto cruciale delle grandezze fisiche e dei problemi di fisica
5. il vettore spostamento corrisponde alla **variazione di posizione di un corpo rispetto ad un sistema di riferimento (U.M.=m)**; dipende solo dalla posizione iniziale e finale e non dal percorso;
6. la **variazione di posizione in funzione del tempo esprime la velocità vettoriale** media o istantanea (U.M.=m/s)
7. la **variazione di velocità in funzione del tempo esprime l'accelerazione** media o istantanea (U.M.=m/s²)
8. nel moto rettilineo uniformemente accelerato, la velocità cresce linearmente nel tempo con **pendenza costante, l'accelerazione è quindi costante**; in questo caso è possibile applicare un set di 5 equazioni che combinano in modo diverso le variabili in gioco e che permettono di risolvere un gran numero di quesiti fisici
9. per un corpo **in caduta libera** in prossimità delle superficie terrestre (caso di moto rettilineo uniformemente accelerato) **l'accelerazione vale -9.8m/s² ed è detta accelerazione di gravità**
10. le grandezze vettoriali sono rappresentate da figure geometriche dette vettori, ossia segmenti di freccia caratterizzati da intensità, direzione e verso; le operazioni sui vettori (somma, prodotto, etc) seguono regole particolari

FACCIAMO IL PUNTO

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

Spostamento, u.m. metro (m)

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

Velocità media vettoriale, u.m. metro/secondo (m/s)

$$\bar{u} = \frac{\text{dist. totale}}{\Delta t}$$

Velocità media scalare, u.m. metro/secondo (m/s)

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

Accelerazione media, u.m. metro/secondo quadro (m/s²)

$$v = v_0 + at;$$

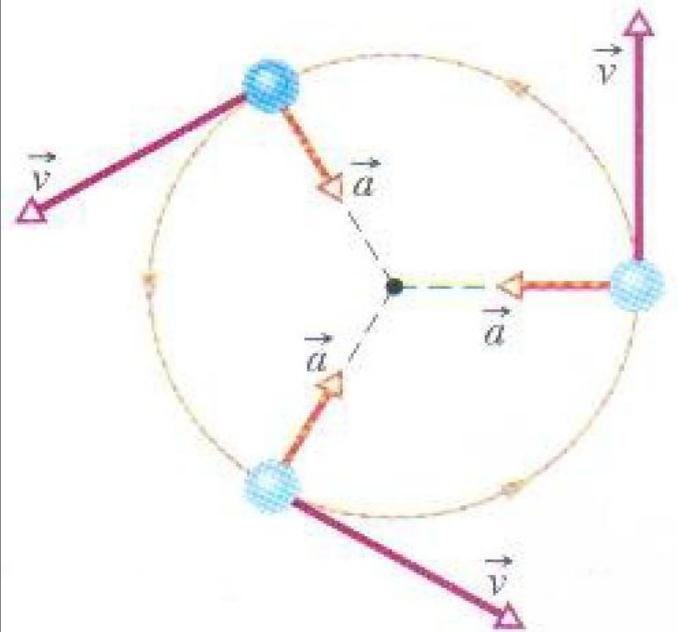
$$x - x_0 = v_0 t + \frac{1}{2} at^2;$$

Equazioni del moto rettilineo uniformemente accelerato

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$$

LEZIONE 1 – MOTO CIRCOLARE UNIFORME

Una particella si definisce in moto circolare uniforme se si muove su una circonferenza o su un arco di questa a velocità di modulo costante (uniforme). In queste condizioni, la velocità scalare non cambia, ma cambiano in modo continuo la direzione ed il verso del vettore velocità. **Ne consegue una variazione di velocità, quindi un'accelerazione.**



Al procedere del moto, i due vettori velocità ed accelerazione rimangono costanti in modulo, ma la loro direzione cambia continuamente:

✓ il vettore velocità è sempre diretto lungo la tangente alla traiettoria del moto (circonferenza) e verso concorde al verso del moto;

✓ il vettore accelerazione è sempre diretto radialmente verso il centro (accelerazione centripeta)

✓ si può dimostrare che il modulo dell'accelerazione centripeta vale

$$a = \frac{v^2}{r}$$

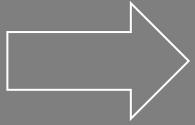
✓ durante il moto a velocità scalare costante, la particella percorre una circonferenza di lunghezza pari $2\pi r$ in un periodo di tempo pari T che definiremo periodo di rivoluzione:

$$T = \frac{2\pi r}{v}$$

✓ in generale il periodo è il tempo necessario ad una particella per percorrere un cammino chiuso esattamente una volta

LEZIONE 1 – FORZA E PRIMA LEGGE DI NEWTON

L'accelerazione non è altro che un cambiamento di velocità nel tempo. Possiamo definire "FORZA" l'agente capace di provocare un'accelerazione. La forza agisce sul corpo e ne modifica la velocità.



La meccanica newtoniana studia la relazione concettuale tra forza e accelerazione.

PRIMA LEGGE DI NEWTON: *Se su un corpo non agisce alcuna forza, la velocità del corpo non può cambiare, ossia il corpo non può accelerare. Quindi se il corpo è in stato di quiete resterà in stato di quiete. Se si sta muovendo, continuerà a muoversi alla stessa velocità.*

Due notazioni importanti sulle forze:

✓ l'unità di misura delle forze è il **NEWTON (simbolo N)**, ed è definita in funzione dell'accelerazione che una forza è in grado di imprimere a un corpo campione di riferimento. Per definizione esercitiamo una forza di 1N quando il corpo campione di massa pari a 1kg subisce un'accelerazione di 1m/s^2

✓ La forza è un vettore, quindi è dotata di ampiezza, direzione e verso. Tramite l'addizione vettoriale è possibile comporre due o più forze che agiscono su un corpo ottenendo una forza netta o forza risultante. Secondo il principio di sovrapposizione delle forze, una singola forza che abbia modulo, direzione e verso della risultante della somma vettoriale di tutte le forze che agiscono sul corpo, produce sul corpo lo stesso effetto che verrebbe prodotto da tutte le forze componenti agenti insieme su di esso

✓ La somma vettoriale delle forze agenti sul corpo prende il nome di risultante o meglio **forza netta** (F_{net})

In riferimento alla forza netta, la prima legge di Newton diventa: *Quando la forza netta agente su un corpo è nulla, la velocità del corpo non può cambiare, ossia il corpo non può accelerare.*

La meccanica Newtoniana è valida solo nei sistemi di riferimento inerziali: *Un sistema di riferimento è inerziale quando in esso vale la prima legge di Newton.*

LEZIONE 1 – FORZA E MOTO

COSA E' LA MASSA DI UN CORPO?

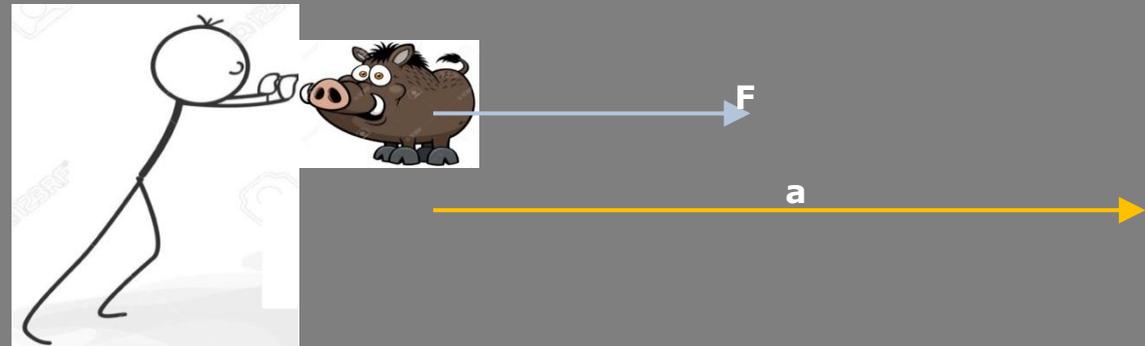
E' quella caratteristica intrinseca del corpo che mette in relazione la forza applicata al corpo con l'accelerazione che ne risulta.

La massa è una grandezza scalare.

INTUITIVAMENTE:

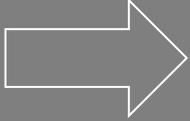
se spingo con la medesima forza un cinghiale adulto ed un cinghialeto, l'accelerazione impressa al primo risulterà molto inferiore rispetto al secondo.

Subisce un'accelerazione minore il corpo di massa maggiore, secondo una relazione di proporzionalità inversa. Questa è una verifica pratica del senso che possiamo dare alla massa di un corpo, che nel contempo ci porta a definire la seconda legge di Newton.



LEZIONE 1 – FORZA E SECONDA LEGGE DI NEWTON

SECONDA LEGGE DI NEWTON: *La forza netta agente su un corpo è uguale al prodotto della sua massa per l'accelerazione assunta dal corpo.*


$$\mathbf{F}_{net} = m\mathbf{a}$$

SECONDA LEGGE DI NEWTON

✓ \mathbf{F}_{net} è la somma vettoriale di tutte le forze che agiscono sul corpo

✓ \mathbf{F}_{net} ha tre componenti scalari lungo i tre assi x, y, z che risulteranno in relazione con le tre rispettive componenti dell'accelerazione secondo le tre equazioni scalari \Rightarrow

$$F_{net,x} = ma_x \qquad F_{net,y} = ma_y \qquad F_{net,z} = ma_z$$

da cui,

la componente dell'accelerazione lungo un asse è dovuta solo alla somma delle componenti delle forze lungo quell'asse, e non a componenti lungo altri assi.

✓ se la \mathbf{F}_{net} è nulla, l'accelerazione del corpo è pure nulla. Quindi, se il corpo è in quiete, rimane in tale stato; se si muove, continua a muoversi a velocità costante. In questi casi il corpo è in equilibrio, ossia le eventuali forze agenti sul corpo si compensano.

✓ per analizzare e risolvere i problemi inerenti l'applicazione delle leggi di Newton, generalmente si disegna un diagramma delle forze dove il corpo è rappresentato da un punto e le forze da vettori con origine nel punto; viene anche rappresentato un sistema di assi coordinati e in alcuni casi un vettore che indica l'accelerazione.

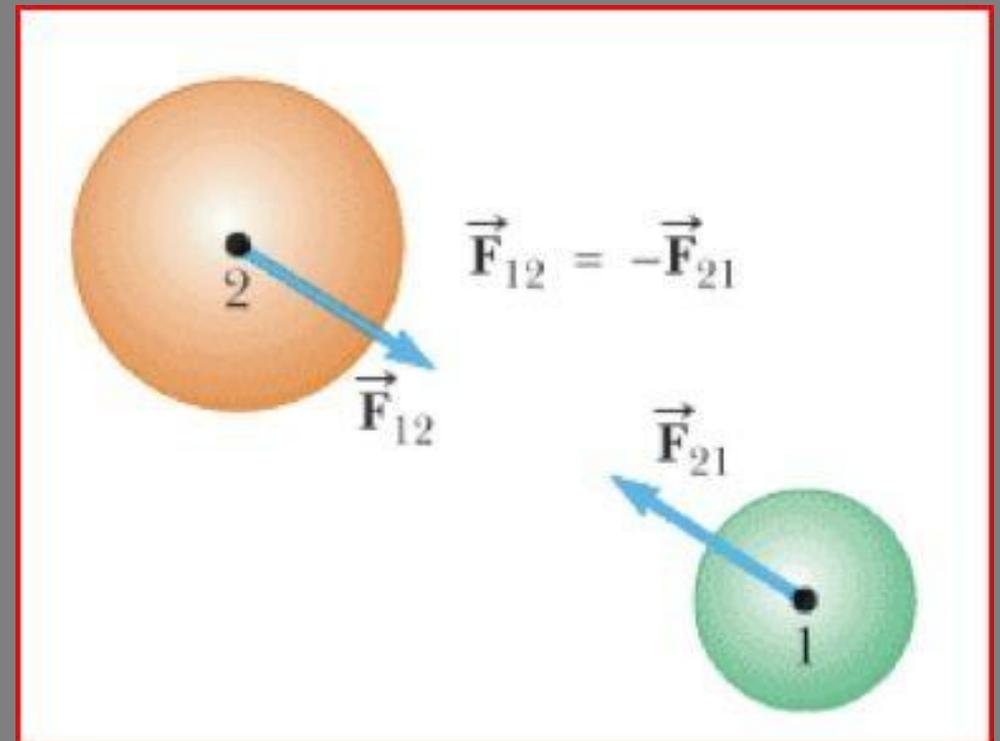
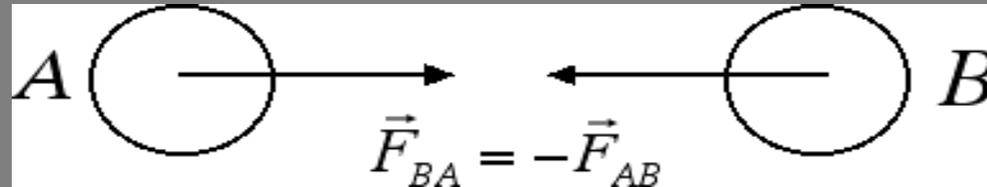
UNITA' DI MISURA: nel sistema SI l'unità di misura della forza è il newton, simbolo N:

$$1\text{N} = (1\text{kg})(1\text{m/s}^2) = 1\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$$



LEZIONE 1 – FORZA E TERZA LEGGE DI NEWTON

TERZA LEGGE DI NEWTON: *Quando due corpi interagiscono, le forze esercitate da un corpo sull'altro sono uguali in modulo e direzione (giacciono sulla stessa retta di azione), ma opposte nel verso.*



LEZIONE 1 – FORZA GRAVITAZIONALE

FORZA GRAVITAZIONALE (F_g): è la forza che agisce su un corpo attraendolo verso un secondo corpo.

✓ il secondo corpo è assunto sia la terra

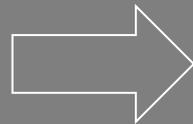
✓ è una forza che attrae il corpo verso il basso, diretta verso il centro della terra, quindi verticalmente contro il terreno, che è assunto come sistema inerziale

Possiamo applicare la seconda legge di newton ($F=ma$) ad un corpo in caduta libera, per il quale l'accelerazione sappiamo essere pari a $-g$ (asse di riferimento y orientato verticalmente e crescente verso l'alto)


$$-F_g = m(-g) \Rightarrow F_g = mg$$

Quindi il modulo della forza gravitazionale è uguale al prodotto della massa (m) del corpo per l'accelerazione di gravità

PESO(P): è il modulo della forza gravitazionale esercitata su un corpo dalla Terra


$$P = F_g = mg \quad (\text{peso})$$

LEZIONE 2 – FORZA E MOTO

FORZA NORMALE (F_N): quando un corpo preme contro una superficie, la superficie si deforma e spinge il corpo con una forza normale F_N , perpendicolare alla superficie stessa

✓ per un corpo appoggiato su un tavolo possiamo applicare la seconda legge di Newton ($F=ma$) limitatamente alla componente verticale lungo l'asse y ($F_{net,y}=ma_y$), considerando che sul corpo agiscono solo due forze, la forza di gravità e la forza normale.

La seconda legge di Newton ci dice che la forza che agisce è il vettore somma di tutte le forze che agiscono sul corpo. In questo caso quindi:

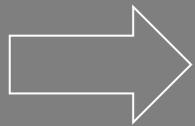
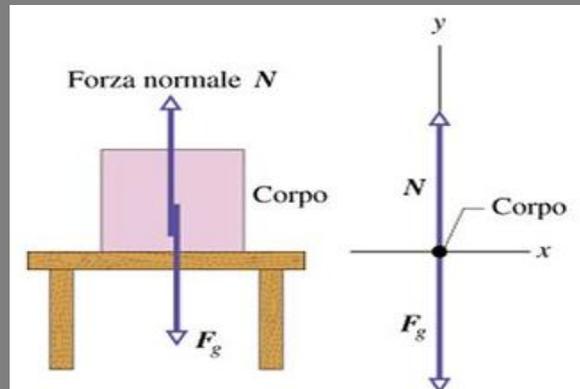
$$F_{net,y} = ma_y, F_g = mg \Rightarrow$$

$$F_{net} = F_N + (-F_g) = F_N - F_g \Rightarrow$$

$$F_N - F_g = ma_y \Rightarrow$$

$$F_N - mg = ma_y \Rightarrow$$

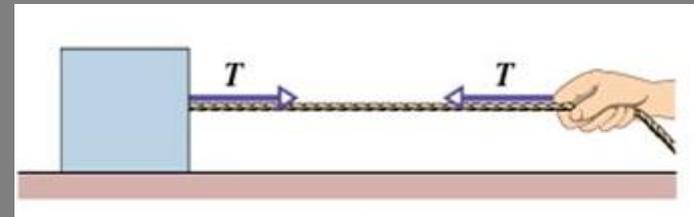
$$F_N = mg + ma_y = m(g + a_y)$$



se il sistema blocco tavolo ha un'accelerazione pari a 0 allora $a_y=0$, quindi

$$F_N = mg$$

TENSIONE (T): una corda che tira un corpo è in tensione ed esercita una forza di trazione (T) sul corpo il cui modulo rappresenta la tensione della corda. La corda è considerata priva di massa, inestensibile ed in realtà esercita una forza di trazione di uguale intensità in ciascuno dei suoi estremi.



LEZIONE 1 – FORZA DI ATTRITO

ATTRITO (f_s , f_k): se una forza F applicata a un corpo tende a farlo scorrere a contatto di una superficie, si manifesta una forza d'attrito esercitata dalla superficie sul corpo stesso. Questa forza ha direzione parallela al piano e verso opposto a quello del moto:

- ✓ trae origine da fenomeni di saldatura microscopica tra il corpo e la superficie di contatto
- ✓ se il corpo non si muove la forza di attrito si dice statica (f_s) ed eguaglia in modulo e direzione, ma con verso opposto, la componente di F parallela alla superficie; il modulo di (f_s) può raggiungere un valore massimo proporzionale alla forza normale tra corpo e superficie:

$$f_{s,\max} = \mu_s F_N$$

- ✓ il corpo si muove quando la componente di F parallela alla superficie eccede il valore massimo di (f_s), da questo momento in poi la forza di attrito si dice dinamica (f_k) e risulta anch'essa proporzionale alla forza normale tra corpo e superficie:

$$f_k = \mu_k F_N$$

- ✓ i coefficienti μ_s e μ_k sono detti coefficienti di attrito statico e dinamico, rispettivamente
- ✓ durante il moto (f_k) è sempre inferiore a (f_s)
- ✓ se il corpo preme maggiormente sulla superficie, per la terza legge di Newton aumenta anche la F_N , quindi sia (f_s) che (f_k)

