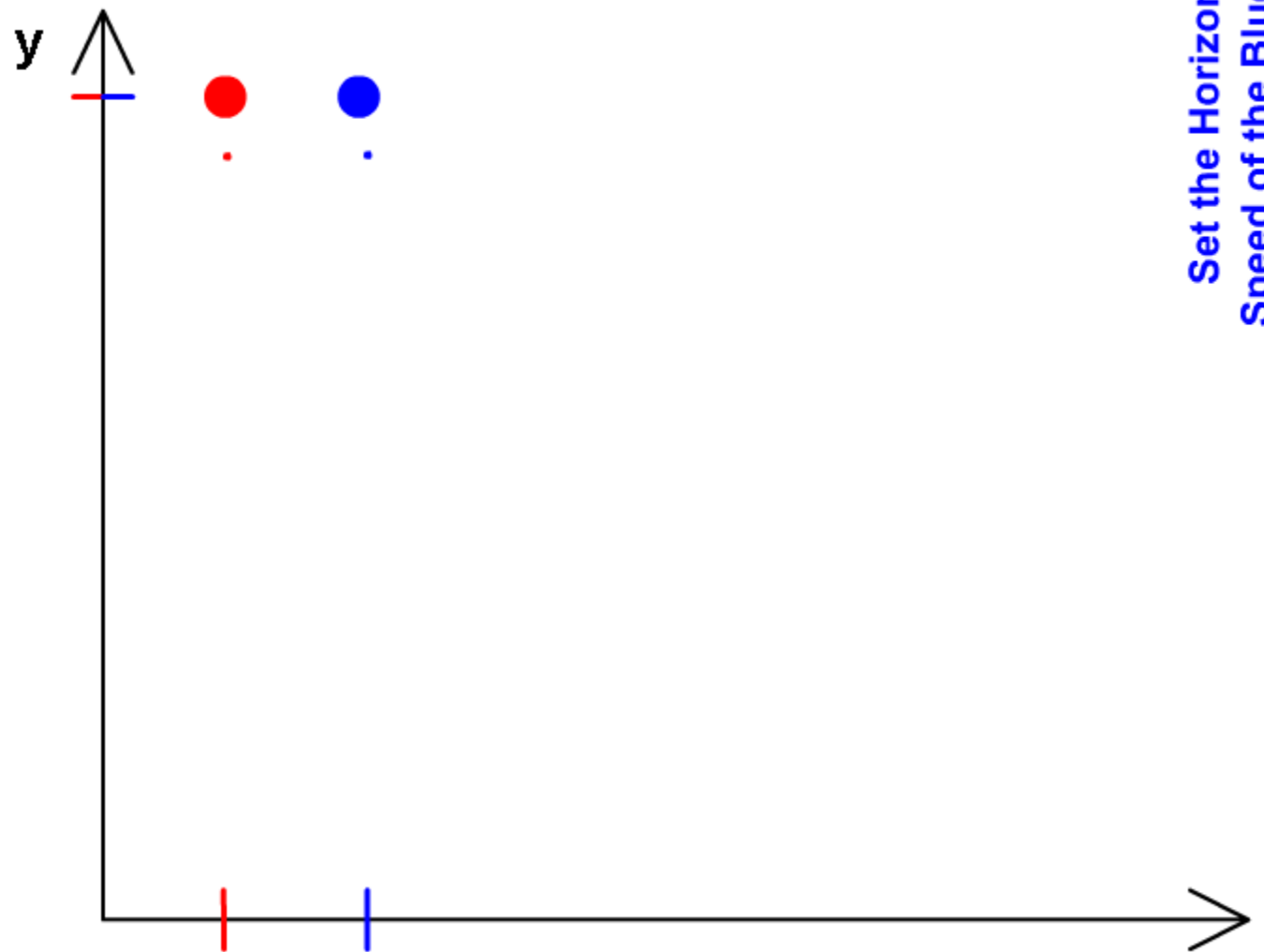


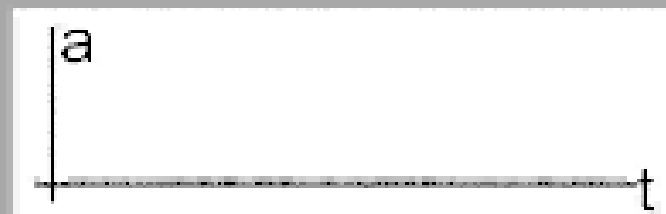
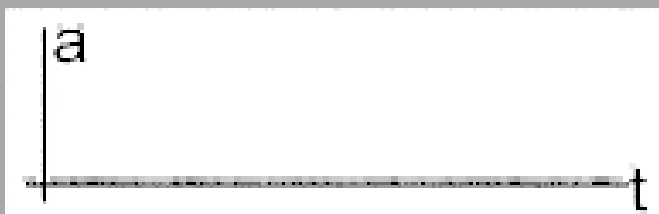
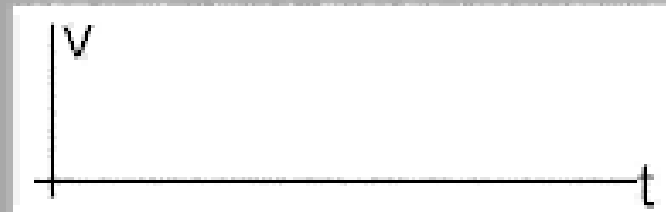
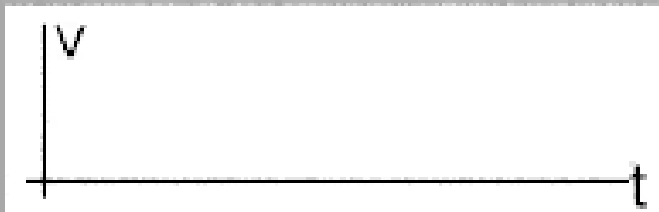
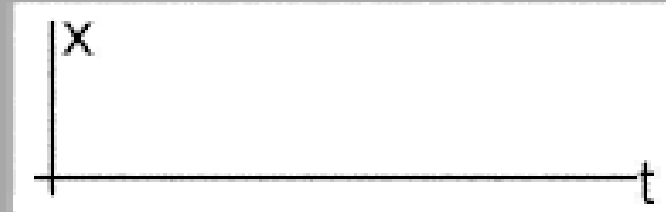
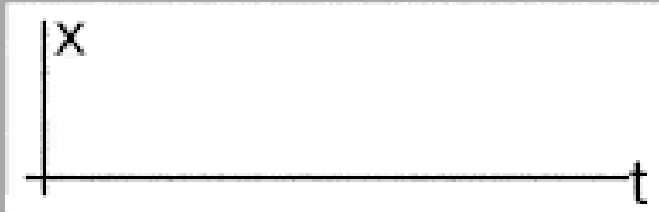
# Dropping Two Balls Near the Earth's Surface

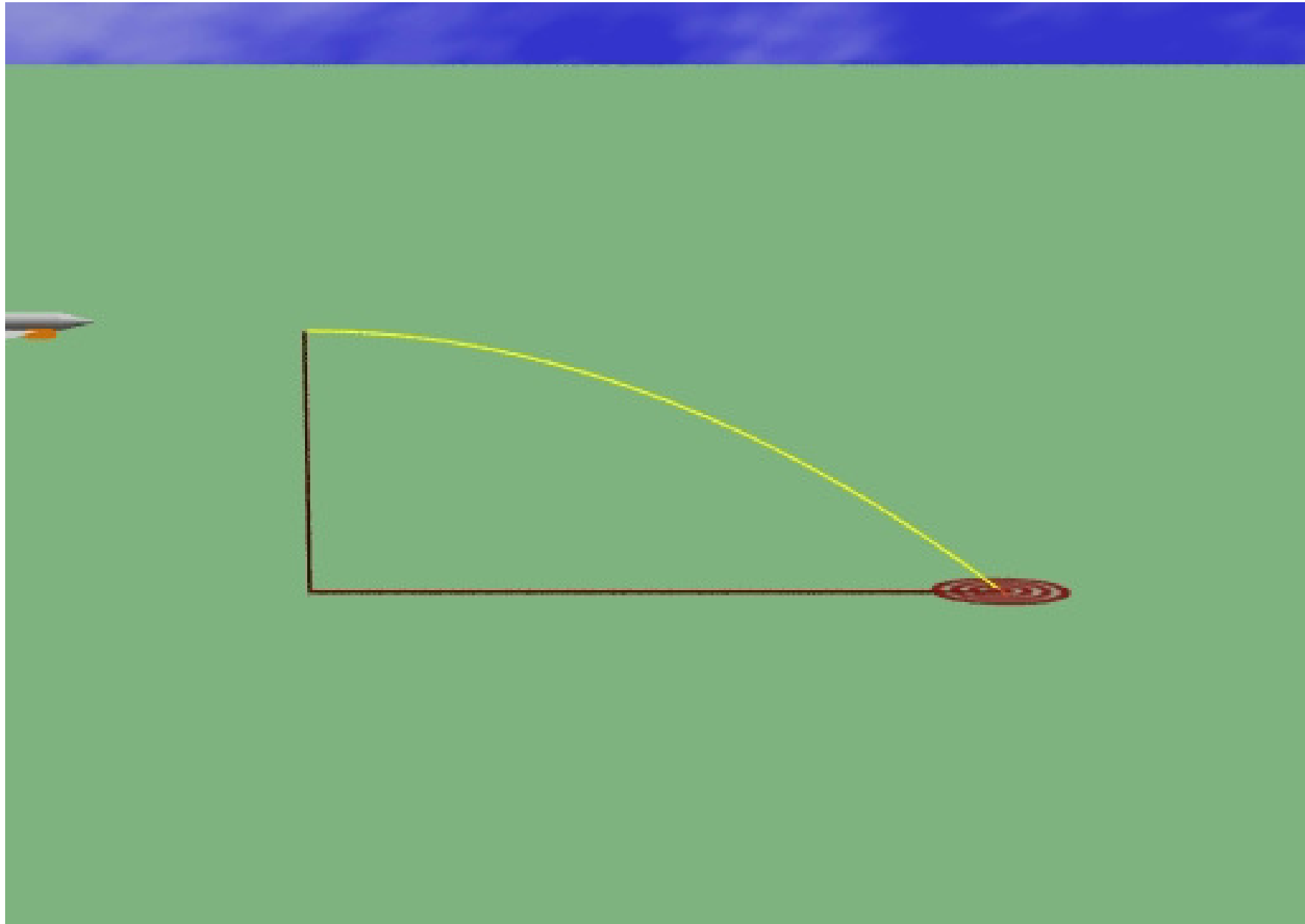


Set the Horizontal Speed of the Blue Ball



Air resistance is ignored. Units are arbitrary. Copyright © 2003 David M. Harrison

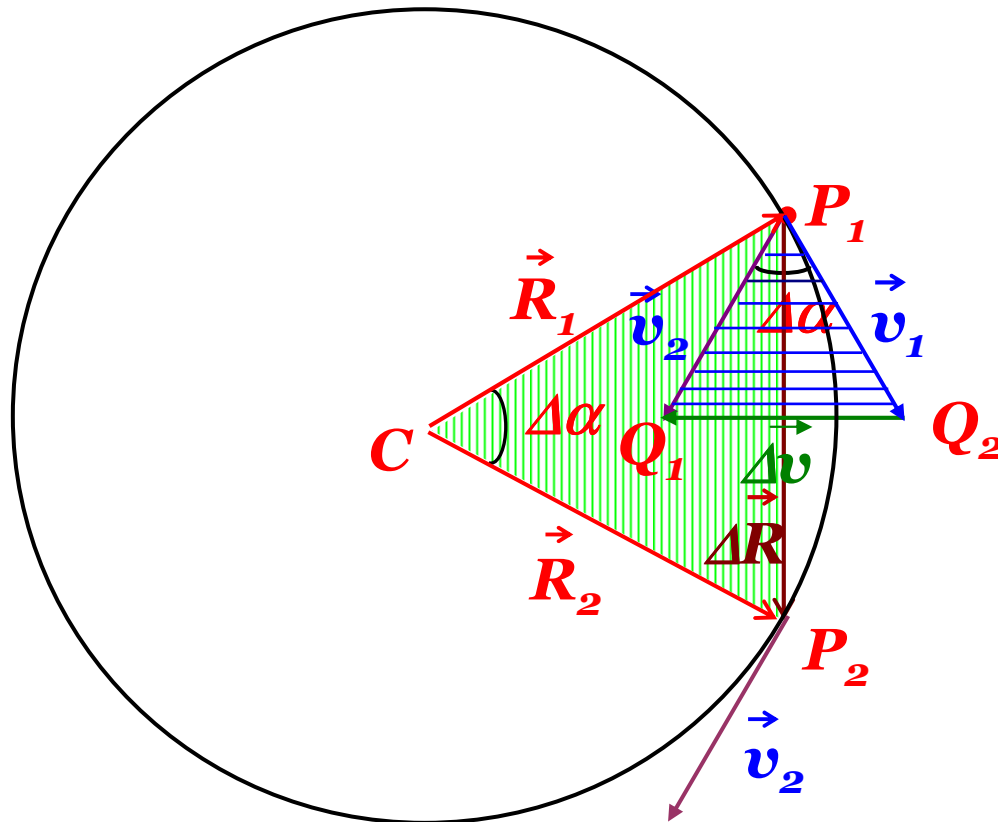




**Esercizio:** Determinare dopo quanto tempo dal lancio si sente il tonfo di una moneta che cade verticalmente in un pozzo di profondità  $h = 25$  m. Si conosce la velocità del suono:  $v_s = 350$  m/s.



## Moto circolare uniforme:



*I triangoli  $P_1CP_2$  e  $Q_1P_1Q_2$  sono triangoli simili:*

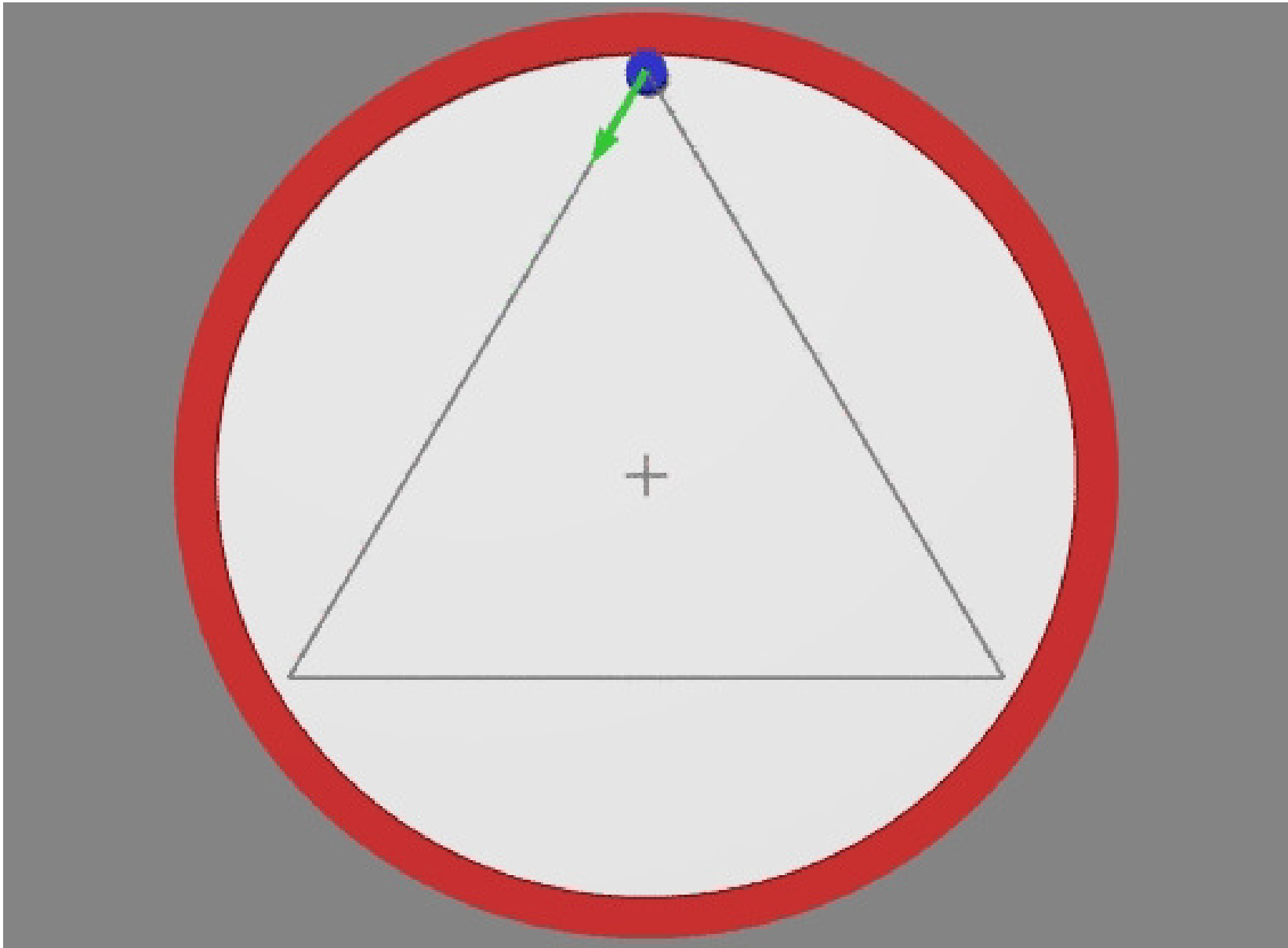
$$\frac{Q_1Q_2}{P_1Q_1} = \frac{P_1P_2}{CP_2} \quad \frac{|\Delta\vec{v}|}{v} = \frac{|\Delta\vec{R}|}{R}$$

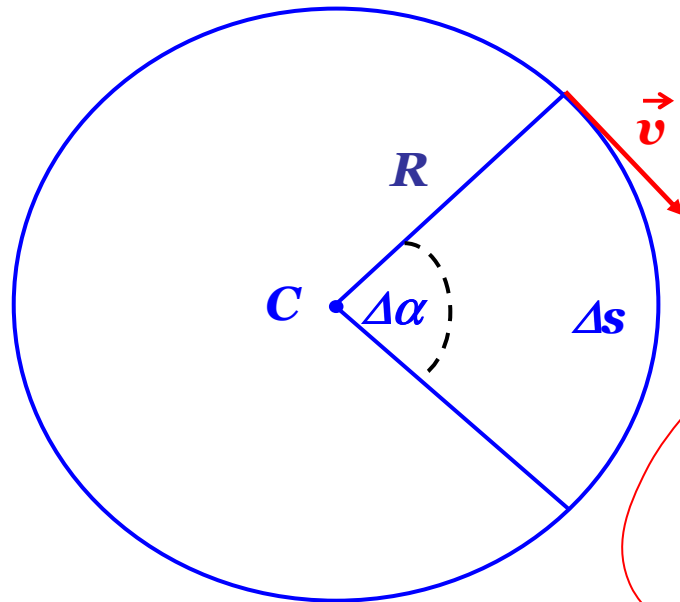
$$|\Delta\vec{v}| = |\Delta\vec{R}| \cdot \frac{v}{R}$$

$$\frac{|\Delta\vec{v}|}{\Delta t} = \frac{|\Delta\vec{R}|}{\Delta t} \cdot \frac{v}{R} \quad \vec{a}_m = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

$$|\vec{a}| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta\vec{v}|}{\Delta t} = \frac{v}{R} \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta\vec{R}|}{\Delta t}$$

$$a_c = \frac{v}{R} v = \frac{v^2}{R}$$





$$\vec{a}_t = 0 \quad \vec{a}_c = \text{cost}$$

$$\Delta s = \Delta \alpha \cdot R$$

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\Delta \alpha}{\Delta t} \cdot R$$

$$\omega = \frac{\Delta \alpha}{\Delta t}$$

Velocità angolare (rad · s<sup>-1</sup>)

$$v = \omega R$$

$$a_c = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$$

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi}{\omega}$$

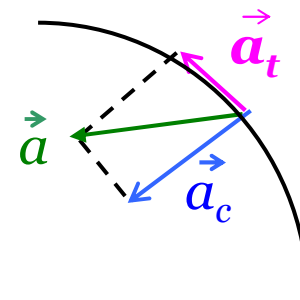
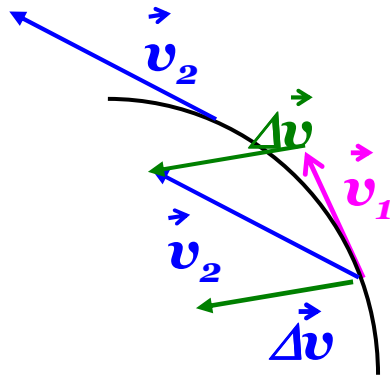
Periodo (s): tempo impiegato a percorrere 1 giro completo

$$f = \frac{1}{T} = \frac{v}{2\pi R} = \frac{\omega}{2\pi}$$

Frequenza (s<sup>-1</sup> = Hertz [Hz]): numero di giri percorsi in un secondo



*Se il vettore velocità varia sia in modulo che in direzione:*



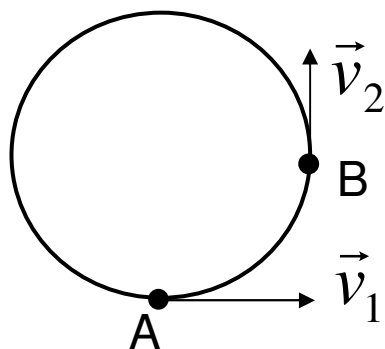
$$\vec{a} = \vec{a}_c + \vec{a}_t$$

*L'accelerazione centripeta fa variare la direzione della velocità, l'accelerazione tangenziale fa variare il modulo della velocità.*



## Esercizi:

1. Un corpo si muove su una circonferenza di raggio  $R = 60\text{cm}$  con una velocità di modulo costante  $v = 10\text{m/s}$ . Determinare il periodo, la frequenza, la velocità angolare e l'accelerazione centripeta.
2. Due corpi si muovono come in figura. Il primo corpo parte dal punto A con una velocità costante  $v_1 = 3\text{m/s}$  mentre il corpo due parte dal punto B con una velocità  $v_2 = 2\text{m/s}$ . Sapendo che il raggio della traiettoria è  $R = 100\text{m}$ , determinare dopo quanto tempo e in quale punto si incontrano per la prima volta i due corpi.





## **Forze. Leggi di Newton.**

**Proprio come la vita umana sarebbe piatta senza interazioni con gli altri, così l'Universo fisico sarebbe piatto senza interazioni fisiche.**

**Un'interazione fra due corpi può essere descritta in termini di due forze, ognuna esercitata su ciascuno dei due corpi interagenti.**

**Es.: un giocatore colpisce di testa un pallone da calcio**

**- Forze a lungo raggio: nessun contatto fisico tra i due corpi interagenti**

**Es.: forza di gravità (Sole – Terra), forza elettrica, forza magnetica**

**- Forze a corto raggio: i corpi sono a contatto**

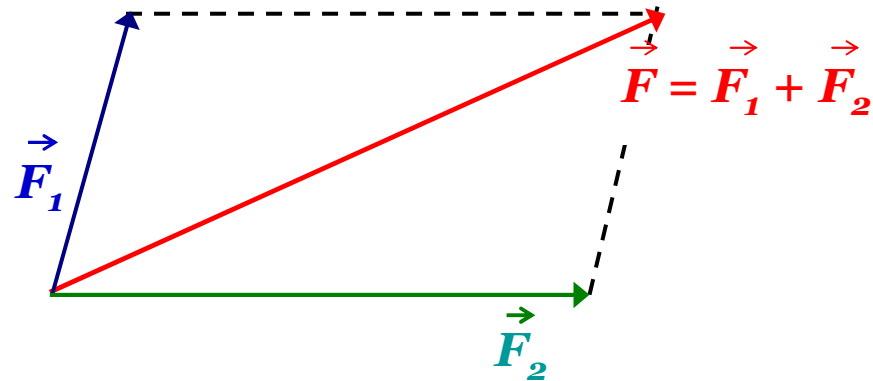
**Es.: forza d'attrito, forza normale (vincolare)**



## La forza è una grandezza vettoriale: $\vec{F}$

- intensità (modulo) – si misura in N (newton)
- direzione
- verso

Somma o risultante  
di due forze



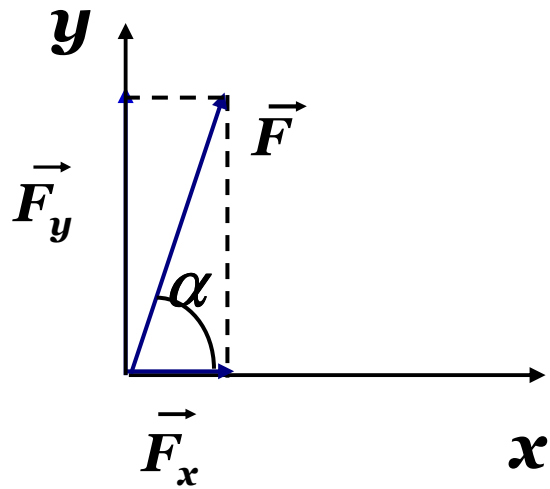
Forza totale (risultante delle forze) è il vettore ottenuto sommando tutte le “n” forze che agiscono su un corpo.

$$\vec{F}_{tot} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$



## **La somma di due forze che si trovano lungo la stessa direzione:**

- se le forze hanno lo stesso verso, anche la somma ha quel verso e la sua intensità sarà la somma delle intensità delle due forze;
- se le forze hanno versi opposti, l'intensità della loro somma sarà la differenza tra l'intensità della forza maggiore e l'intensità della forza minore e il verso è quello della forza maggiore;
- se vengono applicate due forze, la loro somma è nulla solo se le forze hanno versi opposti e la stessa intensità.

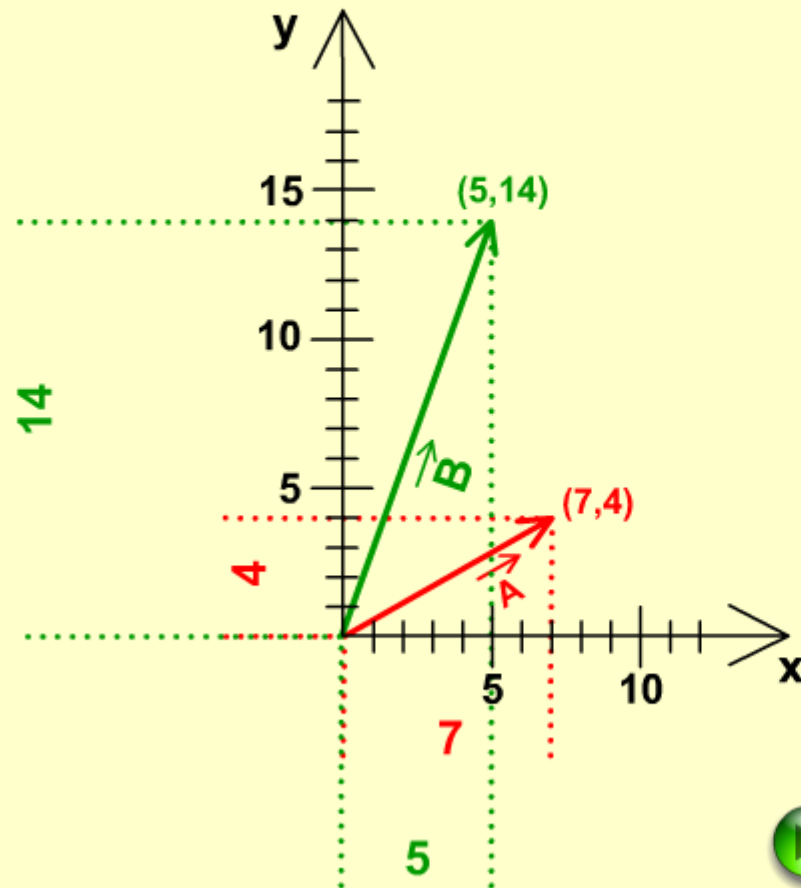


$$\vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F}_y$$

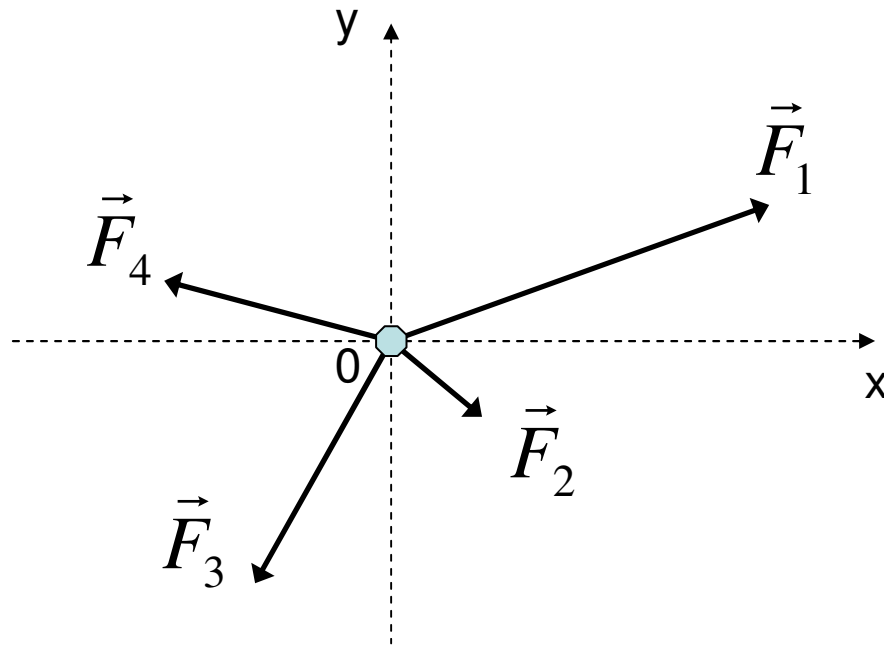
$$\begin{cases} F_x = F \cdot \cos \alpha \\ F_y = F \cdot \sin \alpha \end{cases}$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

## To Add 2 Vectors Numerically ...



**Es.: Trovare la forza risultante delle quattro forze che agiscono su un corpo:**



$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4$$



## Le leggi di Newton sul moto:

Nel 1687 Isaac Newton pubblicò uno dei lavori scientifici più importanti di tutti i tempi: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (I principi matematici della fisica) e formulò le tre leggi della dinamica che formano le basi della meccanica classica.



**Isaac Newton**  
(1642 – 1727)  
fisico e matematico inglese

### Prima legge della dinamica:

Un oggetto su cui non agiscono forze o su cui la risultante delle forze applicate è nulla, ha un moto rettilineo uniforme o, se è fermo, rimane fermo nel tempo.

Quando, e solo quando, la forza risultante che agisce su un corpo è nulla, la velocità di quel corpo non cambia nel tempo.

**Es: libro fermo sul tavolo, disco da hockey sul ghiaccio**



La prima legge di Newton sul moto è anche chiamata ***principio di inerzia***.

In fisica ***inerzia*** significa resistenza ai cambiamenti di velocità.

Es.: - la forza d'attrito tra la moneta e la tessera è molto piccola e quindi la moneta, per inerzia, tende a restare ferma.

- spalare la neve, inerzia nell'autobus

## Sistemi di riferimento inerziali:

- studente A – studente B – riferimento;
- la prima legge di Newton non è valida in tutti i sistemi di riferimento (vedi l'esempio della neve); quelli inerziali sono quelli nei quali le leggi di Newton sono verificate;
- sistema di riferimento fisso e un sistema di riferimento inerziale – definito da 4 stele; muri di una stanza, il terreno – treno/ascensore.



## Seconda legge della dinamica:

La forza risultante agente su un corpo è in relazione con la rapidità con cui quel corpo modifica la propria velocità (l'accelerazione del corpo).

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

Unità di misura:  $\boxed{\text{newton} = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}}$

dove “m” è la massa e “a” è l'accelerazione del corpo

Es. Macchina più pesante come accelera rispetto una meno pesante?



## Terza legge della dinamica:

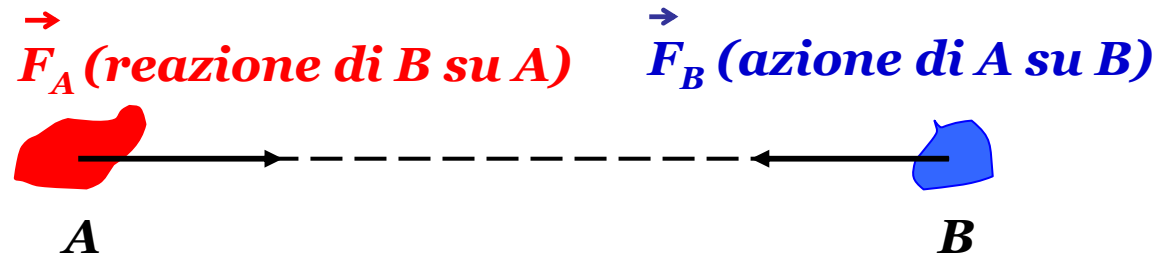
Le forze esistono sempre a coppie. Ogni forza è dovuta all'interazione tra due corpi e ognuno di questi oggetti esercita una forza sull'altro. Possiamo chiamare le due forze una *coppia di forze* (forze di azione e reazione).

Es.: - quando si colpisce con la mano un pezzo sottile di legno, la mano spinge sul legno (e lo può rompere) ma anche il legno spinge a sua volta sulla mano.

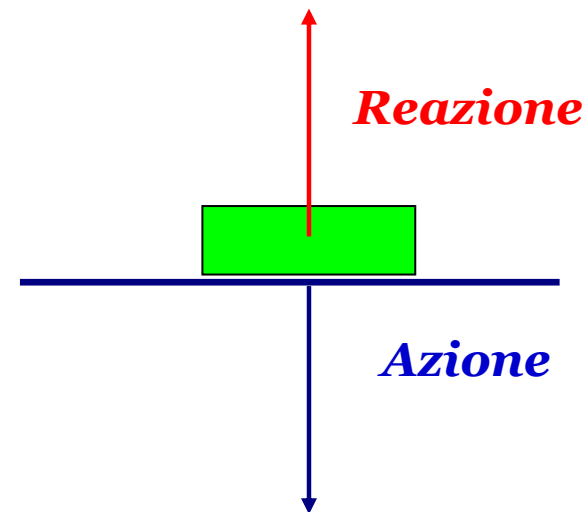
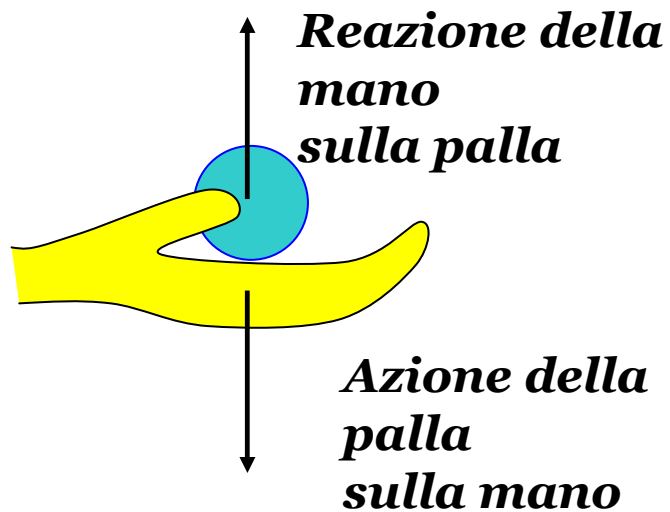
- l'urto tra due automobili; il nuoto.

La terza legge di Newton afferma che le due forze appartenenti ad una coppia di forze hanno la stessa intensità, la stessa direzione, ma sono opposte in verso.

Se un corpo A esercita una forza (azione) su un corpo B, il corpo B esercita sul corpo A una forza uguale ed opposta (reazione).



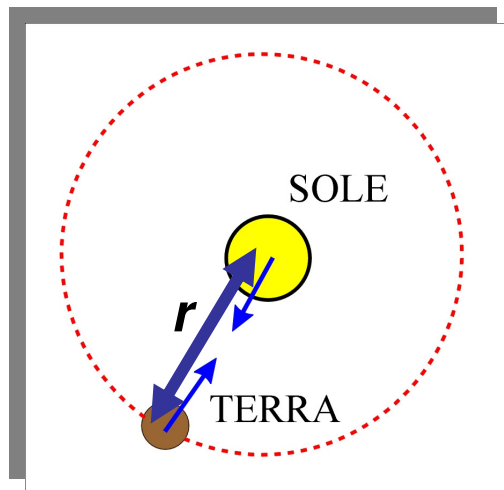
$$\vec{F}_A = -\vec{F}_B$$





## Forza di gravità - Legge di Gravitazione Universale (di Newton):

Un corpo A, con massa  $m_A$  (ad es. il Sole) esercita una forza attrattiva su un corpo B, con massa  $m_B$  (ad es. la Terra), con direzione parallela alla retta congiungente i due corpi e avente modulo direttamente proporzionale alle masse e inversamente proporzionale al quadrato della distanza  $r$  che separa i centri dei due corpi.



Forza di gravità:

$$F = \frac{G \cdot m_A \cdot m_B}{r^2}$$

dove G è chiamata costante di gravitazione universale

$$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{Kg^2}$$

!!!

**Esempio:** La forza di attrazione grav. tra 2 studenti.



## La forza peso ( $\vec{P}$ ):

La forza peso è la forza d'attrazione gravitazionale esercitata dalla Terra sui corpi in vicinanza della superficie terrestre.

$$F = P = \frac{G \cdot M_T \cdot m}{R_T^2} = m \cdot \left( \frac{G \cdot M_T}{R_T^2} \right)$$

dove:  $M_T$  è la massa della Terra =  $5.97 \times 10^{24}$  kg

$m$  è la massa del corpo posto in prossimità della superficie terrestre

$R_T$  è il valor medio del raggio terrestre =  $6.37 \times 10^6$  m

$$g = \frac{G \cdot M_T}{R_T^2} = \frac{6.67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2} \cdot 5.97 \cdot 10^{24} \text{ kg}}{(6.37 \cdot 10^6 \text{ m})^2} \approx 9.8 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

$g$  è l'intensità del campo gravitazionale vicino alla superficie terrestre



La unità di misura per “g” (N/kg) conferma che il peso di un corpo è proporzionale alla sua massa. In prossimità della superficie terrestre il peso di un corpo di 1 kg è di 9.8 N.

**$P = mg$**   $\longrightarrow$  **il modulo (l'intensità) della forza peso**

La direzione è sempre verticale – perpendicolare alla superficie terrestre e con il verso rivolto dall'alto verso basso.

$$\vec{P} = m\vec{g}$$

**Esercizio: Determinare dove è maggiore il peso di un corpo di massa  $m=100\text{kg}$ :**

- a) al Polo nord o al equatore;**
- b) ad Ancona o sul Gran Sasso.**

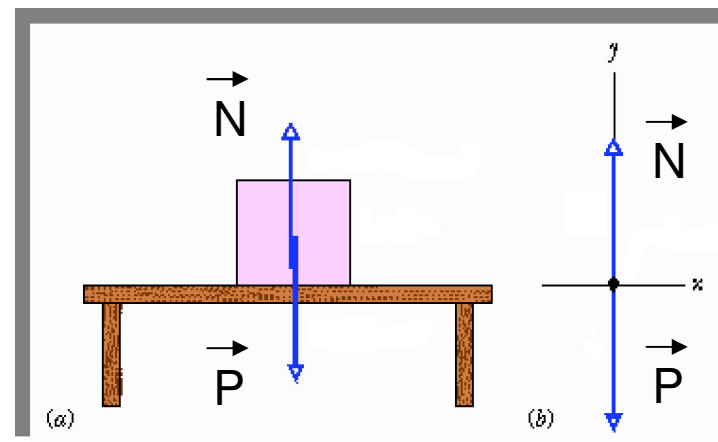


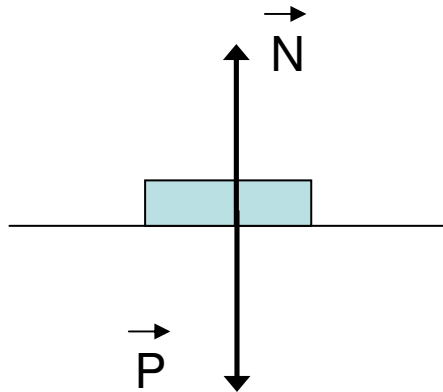
## Forza normale (forza di reazione vincolare) ( $\vec{N}$ ):

È la forza di contatto che si sviluppa tra due corpi solidi perpendicolarmente alla superficie di contatto. Si chiama anche forza vincolare perché un oggetto si comporta come un vincolo per l'altro.

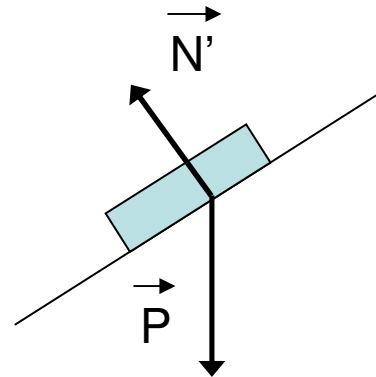
Il corpo è in equilibrio sotto l'azione della forza peso  $\vec{P}$  e della reazione vincolare  $\vec{N}$  (normale alla superficie di contatto).

Questo implica il fatto che la forza normale esercitata sul corpo deve avere una intensità uguale a quella della forza peso del corpo, la stessa direzione e verso opposto.

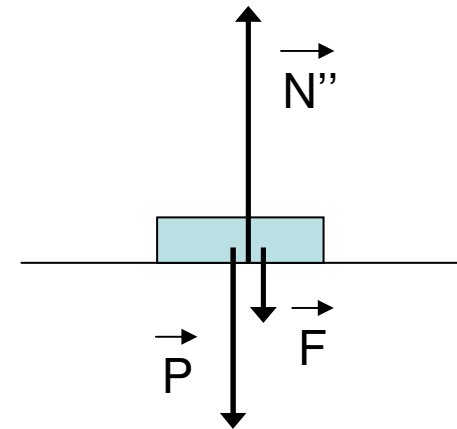




a)



b)



c)

- a) se la superficie del tavolo è orizzontale, la forza normale esercitata dal tavolo sul corpo è verticale, verso l'alto e di intensità uguale al peso del corpo;
- b) se il piano non è orizzontale, la forza normale non è più verticale e non è nemmeno uguale e contraria alla forza peso del corpo; la forza normale ha sempre la direzione perpendicolare alla superficie di contatto;
- c) se agisce anche un'altra forza  $\vec{F}$  la normale è differente in intensità dalla forza peso del corpo.



## Forza di attrito ( $\vec{F}_{att}$ ):

La forza di contatto che si esercita parallelamente alle superfici di contatto tra due corpi si chiama *forza d'attrito*. Essa dipende dallo stato di rugosità delle superfici a contatto.

- forze d'attrito dinamico: quando i due corpi scivolano uno rispetto all'altro;

**Es.: slittino su un pendio innevato**

- forze d'attrito statico: quando i corpi a contatto non scivolano uno rispetto all'altro;

**Es: slittino su un pendio senza neve**

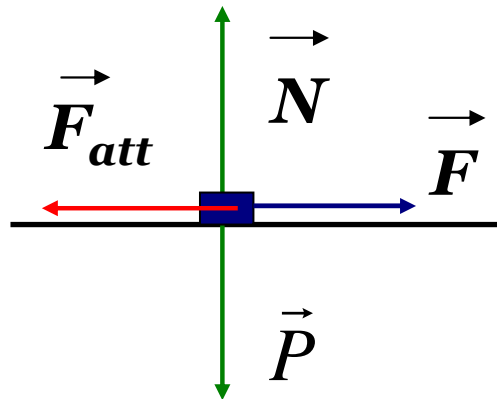
La forza d'attrito statico agisce cercando di evitare che i corpi possano iniziare a muoversi, scivolando uno rispetto all'altro, mentre la forza d'attrito dinamico agisce cercando di fermare i due corpi che scivolano uno rispetto all'altro.



## Forza di attrito statico:

L'intensità massima della forza d'attrito statico è proporzionale all'intensità della forza normale che agisce tra le due superfici a contatto.

a) Piano di appoggio orizzontale:



Il corpo non si muove se  $F \leq F_{att s} = \mu_s N$

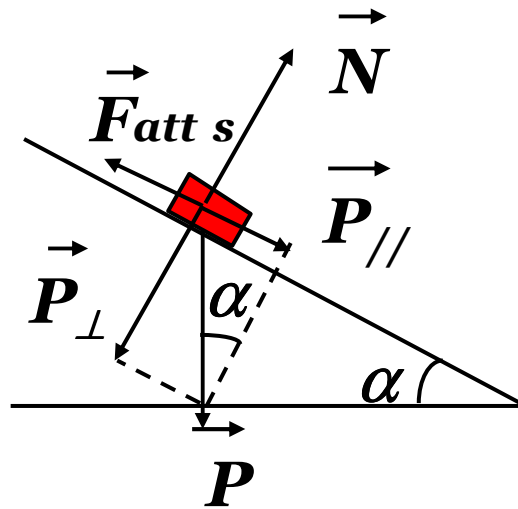
dove  $\mu_s$  è il coefficiente d'attrito statico

come  $N = P = mg$ , nel caso di un piano orizzontale la massima forza d'attrito statico è:

$$F_{att s \max} = \mu_s N = \mu_s mg$$



b) Piano di appoggio inclinato:



$$P = mg$$

$$P_{\perp} = mg \cos \alpha = N$$

$$P_{\parallel} = mg \sin \alpha$$

$$F_{att s \max} = \mu_s N = \mu_s mg \cos \alpha$$

**Il corpo non si muove se:**

$$mg \sin \alpha \leq \mu_s mg \cos \alpha$$

$$\mu_s \geq \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \quad \mu_s \geq \tan \alpha$$



## Forza di attrito dinamico:

$$F_{att\ d} = \mu_d N \qquad \mu_d \cong \frac{4}{5} \mu_s$$

$\mu_d$  = coefficiente di attrito dinamico  
(a parità di materiali a contatto è sempre  $\mu_s > \mu_d$ )

**Nel caso del piano orizzontale la forza d'attrito è:**

$$F_{att\ d} = \mu_d mg$$

**Nel caso del piano inclinato, il corpo si muove se:**

$$mg \sin \alpha > \mu_d mg \cos \alpha$$

**e la forza di attrito dinamico è:**

$$F_{att\ d} = \mu_d mg \cos \alpha$$



## Esercizio:

Un corpo di massa  $m=200\text{kg}$  è posizionato su un piano inclinato di angolo  $\alpha=30^\circ$ . Tramite una fune inestensibile e priva di massa un uomo vuole tirare verso alto il corpo. a) Assumendo che la forza dell'uomo è parallela alla superficie del piano inclinato quale è la forza necessaria per mettere il corpo in movimento? b) Una volta che il corpo è stato messo in movimento che forza deve applicare l'uomo per far muovere il corpo a velocità costante?

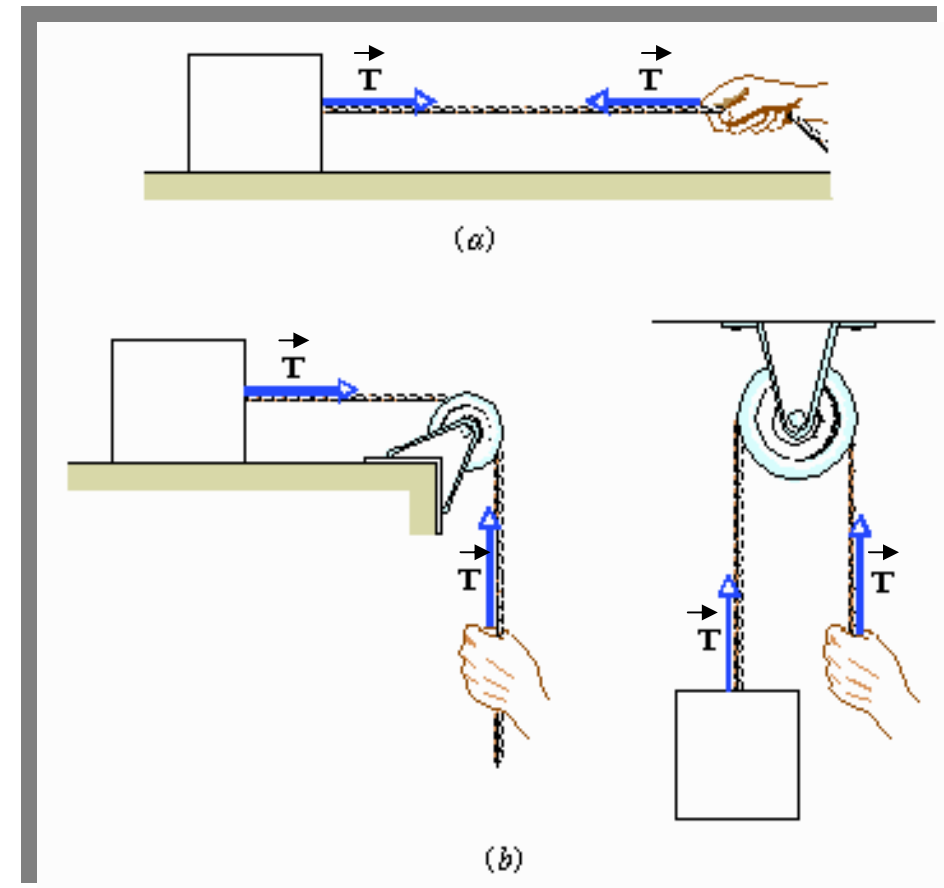
Si conoscono:  $\mu_s=0.5$  e  $\mu_d=0.4$ .



## Tensione dei fili ( $\vec{T}$ ):

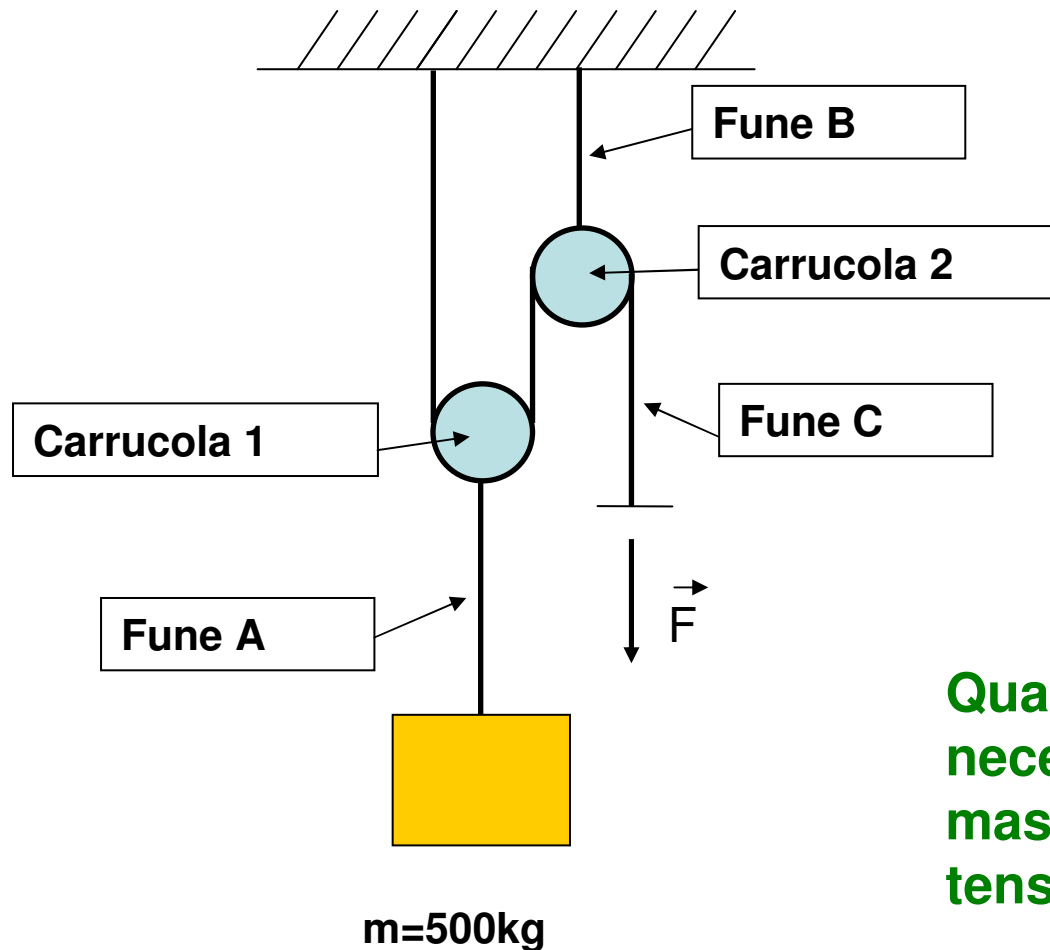
Un filo inestensibile in tensione sviluppa forze uguali ed opposte ai suoi capi. La forza  $\vec{T}$  si chiama **tensione** del filo.

La tensione del filo è sempre parallela al filo e può cambiare direzione mediante l'uso di carrucole.





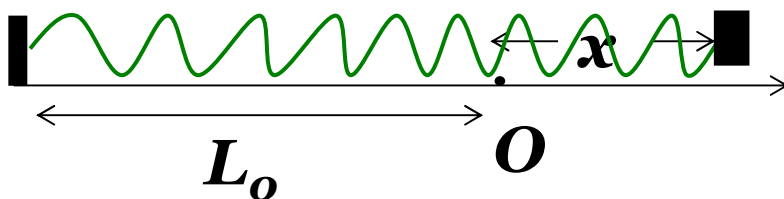
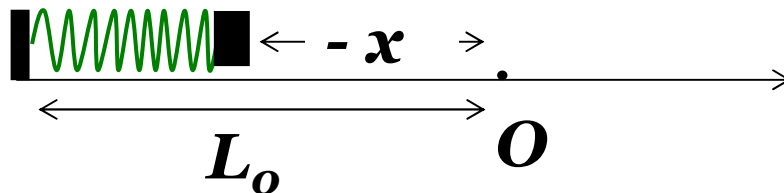
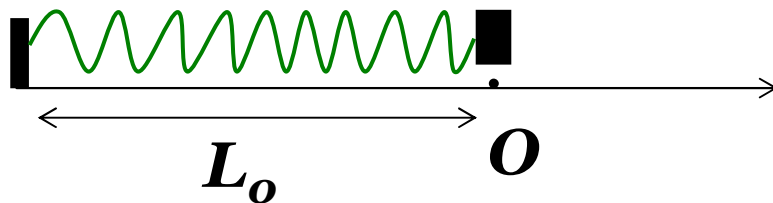
## Esercizio:



Quale è l'intensità della forza  $F$  necessaria per alzare il corpo di massa  $m=500\text{kg}$  e quali sono le tensioni delle 3 funi?



## Forza elastica ( $\vec{F}_{el}$ ):



La forza elastica è la forza che tende a riportare verso la posizione di equilibrio (O) una molla elastica che viene allungata o accorciata. La forza elastica è proporzionale alla deformazione, ha la stessa direzione ma verso opposto rispetto alla deformazione della molla.

$$\vec{F}_{el} = -kx$$

(legge di Hooke)

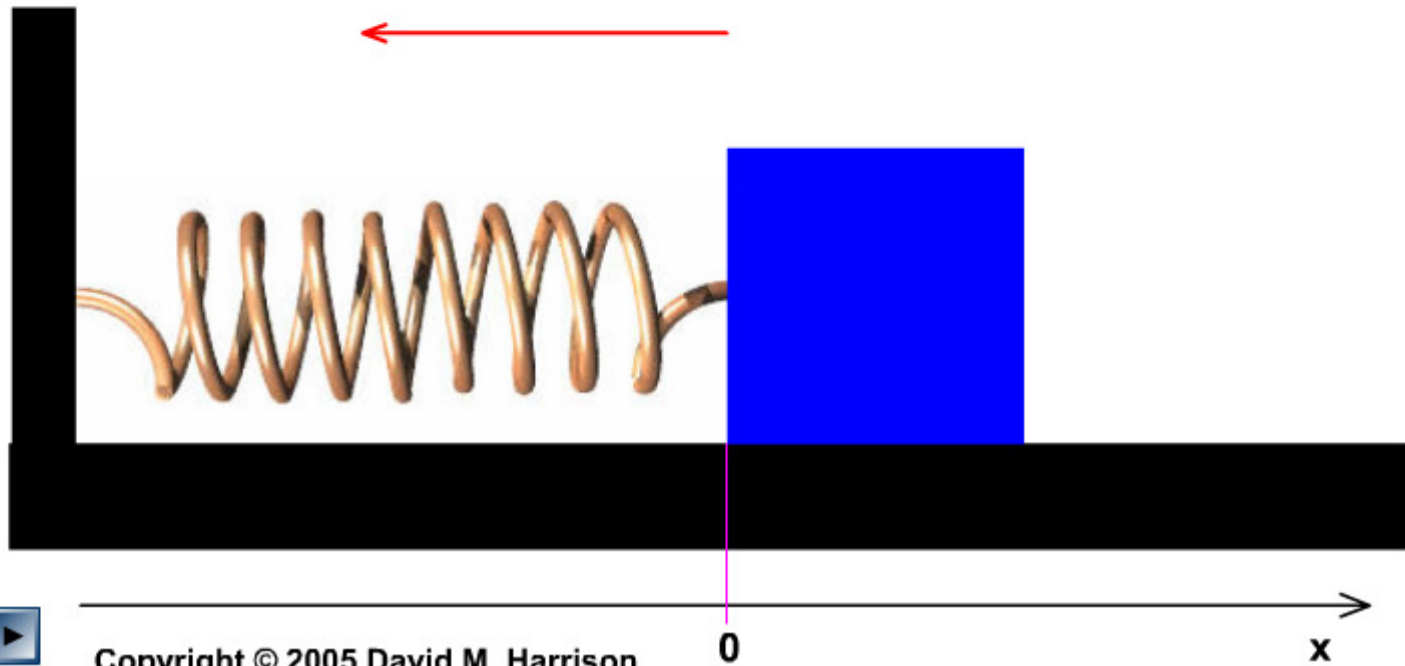
*k = costante elastica della molla (N/m)*

Si parla di regime elastico se, una volta rimosse le forze applicate, il corpo riacquista la sua forma iniziale.

# Hooke's Law

We show the force  $\vec{F}$  exerted  
on a mass by a spring

$$F_x = -kx$$

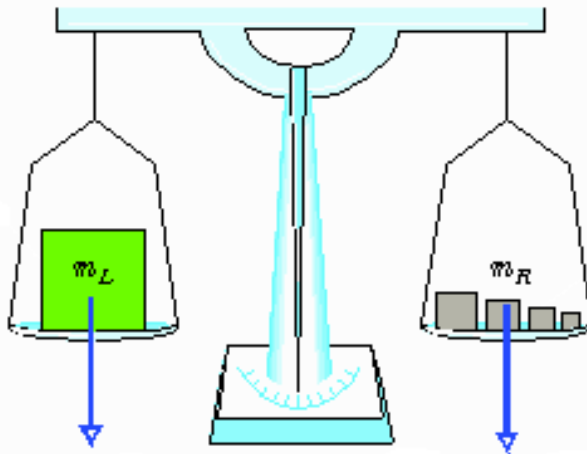




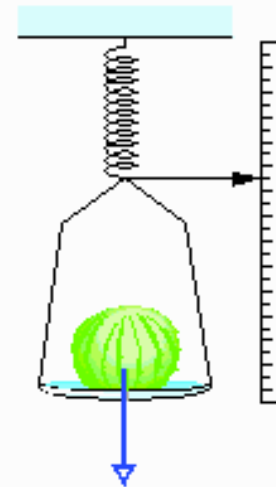
## MISURA DELLE FORZE

Misura delle forze con metodo diretto e metodo indiretto

bilancia



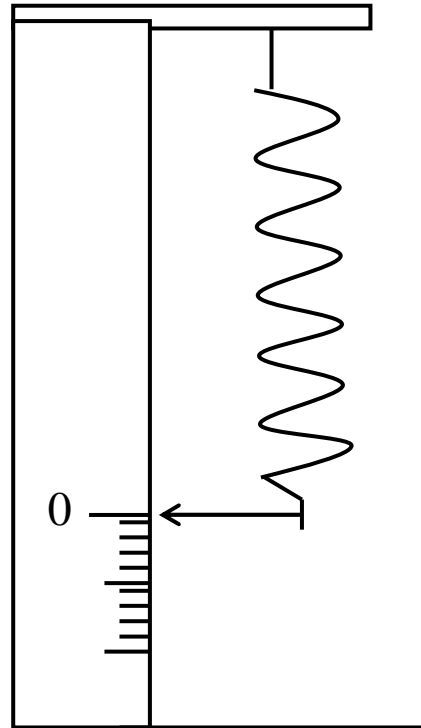
dinamometro



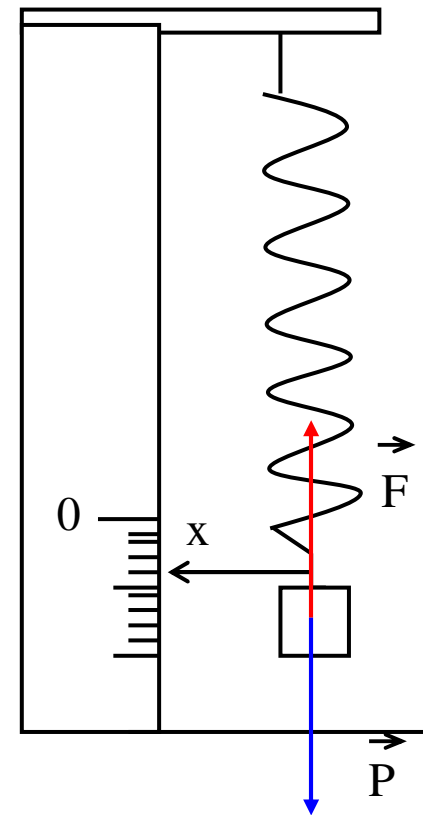
Se utilizziamo la bilancia a molla dobbiamo calibrare la scala su cui si trova l'indice di riferimento in maniera tale che l'allungamento della molla misuri l'intensità della forza stessa.



Misurare la  
forza –  
dinamometro:



$$\vec{P} + \vec{F} = 0$$



$$\vec{F} = -\vec{P}$$