

Corso di Fisica Generale 1

a.a. 2018/2019

*corso di laurea in Ingegneria dell'Automazione,
Informatica, Biomedica, Telecomunicazioni ed Elettronica
canali CIS-FER e RON-Z*

5° lezione (15 e 17/ 10 / 2017)

Dr. Laura VALORE

Email : laura.valore@na.infn.it / laura.valore@unina.it

Pagina web : www.docenti.unina.it/laura.valore

Ricevimento : **appuntamento per email** – studio presso il Dipartimento di Fisica
(Complesso Universitario di Monte Sant'Angelo, Edificio 6) – stanza 1H09

Oppure Laboratorio (Hangar) 1H11c0

Moto dei proiettili

Una particella si dice che segue il “moto del proiettile” quando si muove su un piano bidimensionale, sottoposta all'accelerazione di gravità e con velocità iniziale $\mathbf{v}_0 = v_{0x} \mathbf{i} + v_{0y} \mathbf{j}$

Ad esempio, il moto di una palla da tennis lanciata con una certa velocità iniziale ed in caduta libera segue il moto di un proiettile.

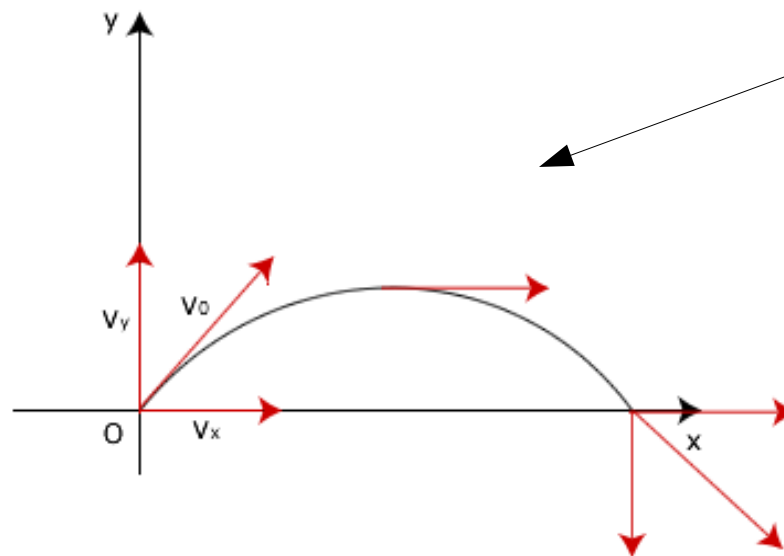
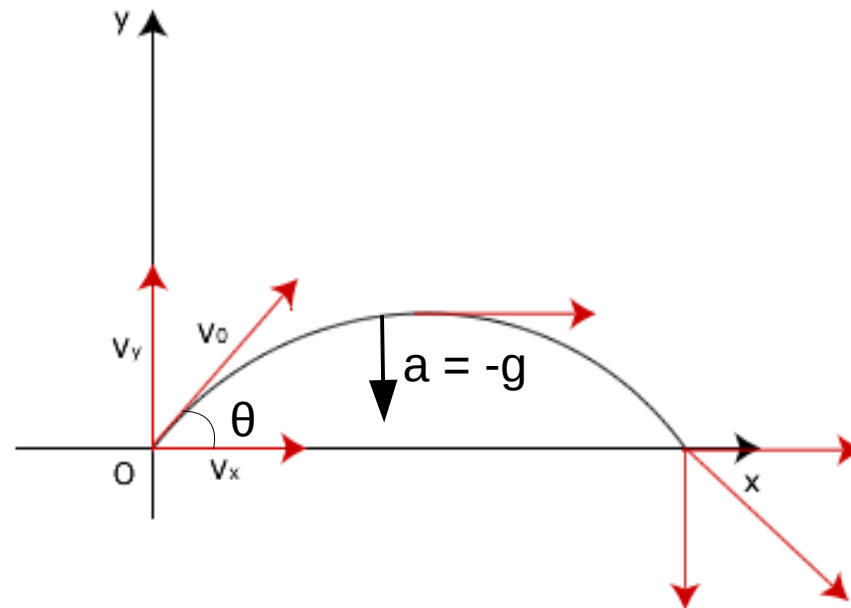


grafico della traiettoria
nel piano xy del moto del
proiettile

Il moto dei proiettili

Nel moto del proiettile il moto orizzontale ed il moto verticale sono indipendenti l'uno dall'altro

Li trattiamo separatamente, nessuno dei due influenza l'altro



il moto dei proiettili è la combinazione di un moto verticale ad accelerazione costante ed un moto orizzontale a velocità costante

Moto orizzontale

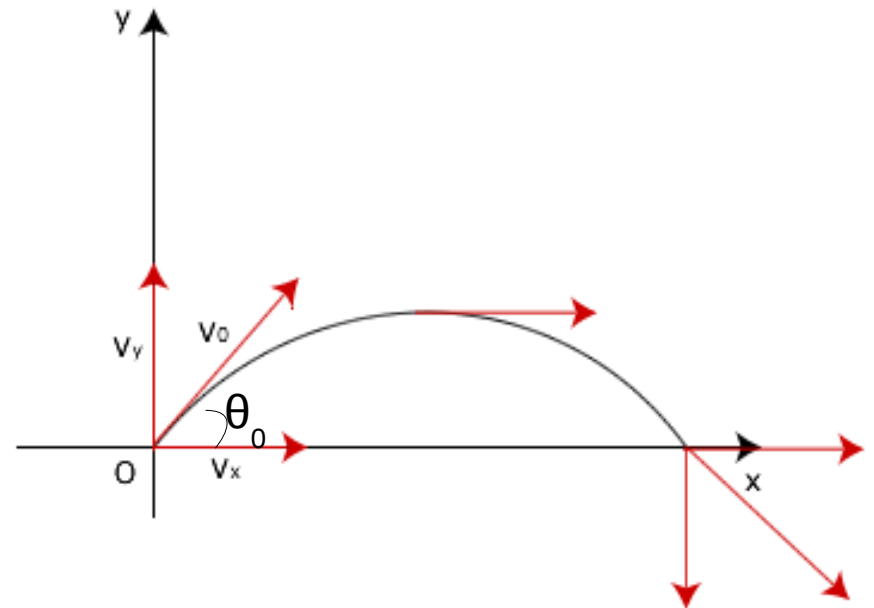
- L'accelerazione in direzione orizzontale è nulla, la velocità è costante e quindi valgono le leggi del moto rettilineo uniforme :

$$v_x = \text{costante} = v_{0x} = v_0 \cos \theta_0$$

$$\rightarrow v_x = v_0 \cos \theta_0$$

$$x(t) = x_0 + v_x t$$

$$\rightarrow x(t) - x_0 = (v_0 \cos \theta_0) t$$



Moto verticale

- L'accelerazione in direzione verticale è $a = -g$: quindi lungo l'asse y valgono le leggi del moto rettilineo uniformemente accelerato, in particolare quelle del moto in caduta libera :

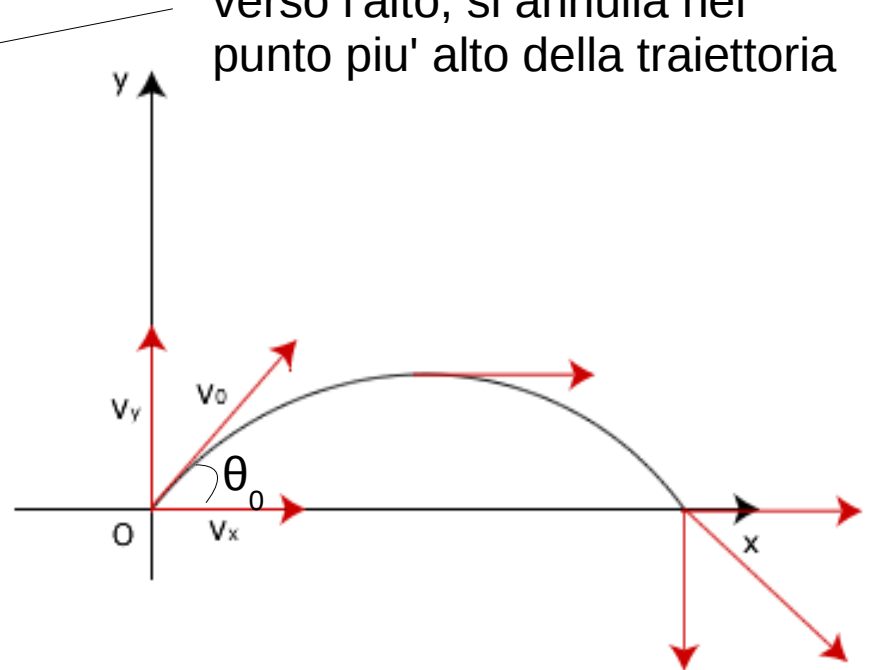
$$a_y = \text{costante} = -g$$

$$v_y(t) = v_{0y} - gt = (v_0 \text{sen} \theta_0) - gt$$

$$y(t) = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$\rightarrow y(t) - y_0 = (v_0 \text{sen} \theta_0)t - \frac{1}{2}gt^2$$

è lo stesso moto che segue una palla lanciata verso l'alto : la sua v è inizialmente diretta verso l'alto, si annulla nel punto più alto della traiettoria



Equazione della traiettoria

- L'equazione che descrive nel piano xy il percorso (traiettoria) del proiettile si ottiene eliminando il tempo tra le equazioni che descrivono lo spostamento in x ed y

$$1. x(t) - x_0 = (v_0 \cos \theta_0) t$$

$$2. y(t) - y_0 = (v_0 \sin \theta_0) t - \frac{1}{2} g t^2$$

posto $x_0=0$ ed $y_0=0$

dalla 1. $\rightarrow t = x / (v_0 \cos \theta_0)$

$$y = x \cdot (v_0 \sin \theta_0) / (v_0 \cos \theta_0) - \frac{1}{2} g \left(\frac{x}{v_0 \cos \theta_0} \right)^2$$

$$y = \tan \theta_0 \cdot x - \frac{1}{2} g \frac{x^2}{(v_0 \cos \theta_0)^2}$$

è un'equazione di secondo grado: $y = ax^2 + bx + c$
descrive, come atteso, il moto lungo una parabola (traiettoria parabolica)

Gittata

- La gittata R del proiettile è la distanza orizzontale percorsa misurata nel momento in cui il proiettile ripassa per la quota di partenza

$$x(t) - x_0 = (v_0 \cos \theta_0) t = R \rightarrow \text{gittata}$$

$$y(t) - y_0 = (v_0 \sin \theta_0) t - \frac{1}{2} g t^2 = 0 \rightarrow \text{partenza ed arrivo alla stessa quota}$$

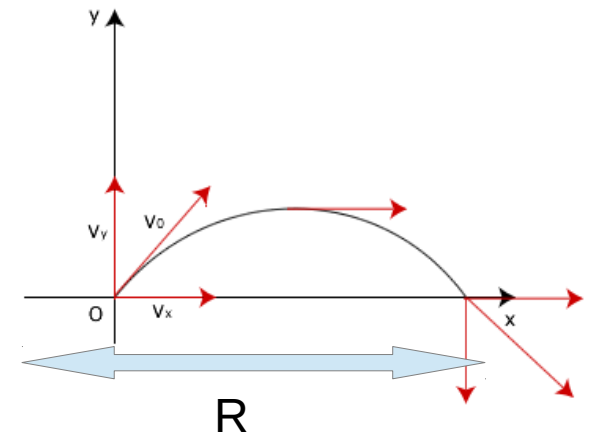
eliminiamo il tempo tra queste due equazioni :

$$\text{dalla 2.} \rightarrow t = \frac{2v_0 \sin \theta_0}{g}$$

$$\rightarrow R = v_0 \cos \theta_0 \cdot \frac{2v_0 \sin \theta_0}{g} = \frac{(2v_0^2 \sin \theta_0 \cos \theta_0)}{g}$$

$$\rightarrow \text{siccome } 2 \sin \theta_0 \cos \theta_0 = \sin 2\theta_0$$

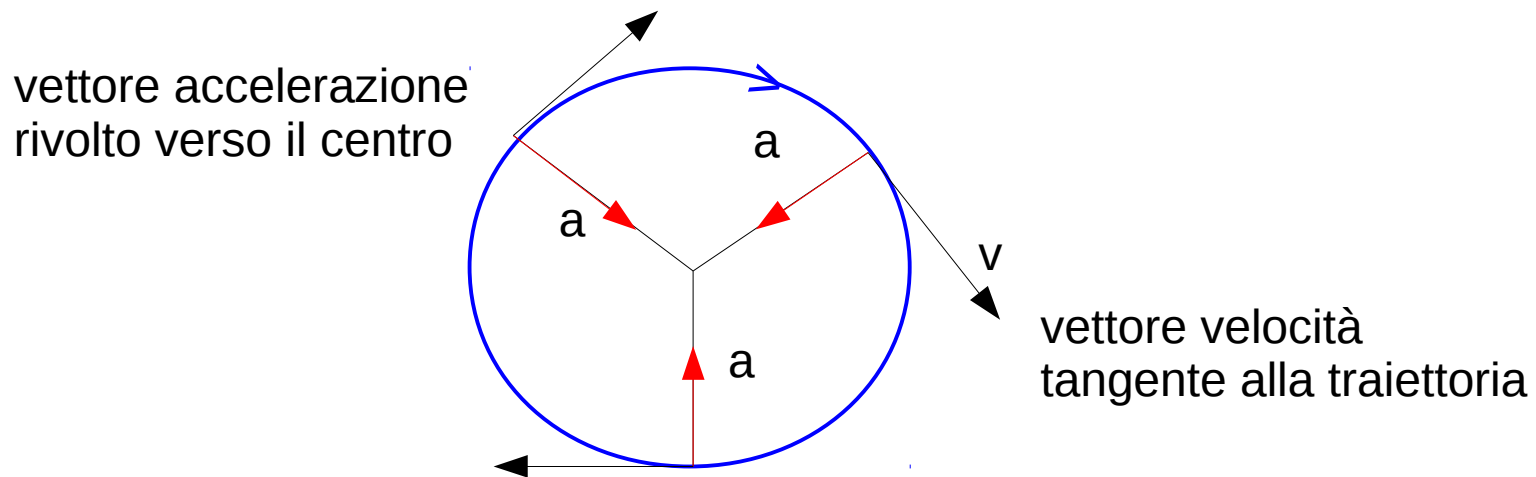
$$\rightarrow \mathbf{R = (v_0^2/g) \cdot \sin 2\theta_0}$$



R ha valore massimo per $\sin 2\theta_0 = 1$, ovvero per $2\theta_0 = 90^\circ \rightarrow \theta_0 = 45^\circ$

Moto circolare uniforme

- Una particella si muove di **moto circolare uniforme** se si muove su una circonferenza o su un arco di circonferenza e la sua velocità ha **modulo** costante

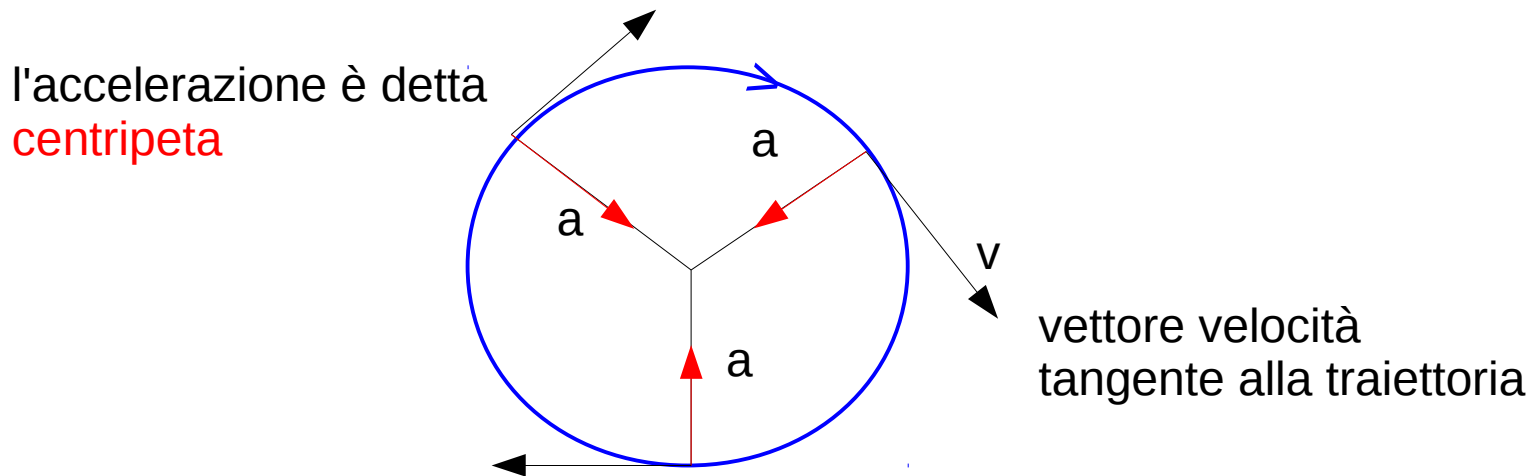


Anche se la velocità scalare non varia, la particella è sottoposta ad un'accelerazione

Questo è vero perché la velocità è un VETTORE, basta che cambi la sua direzione perché ci sia una variazione di velocità

Moto circolare uniforme

- Al procedere della particella lungo la circonferenza, il modulo dei vettori \mathbf{v} ed \mathbf{a} resta costante, ma la direzione di entrambi varia continuamente



leggi del moto circolare uniforme :

- $a = v^2/r$ (accelerazione centripeta)
- $T = 2\pi r/v$ (periodo = tempo che impiega la particella a compiere una circonferenza di raggio r)

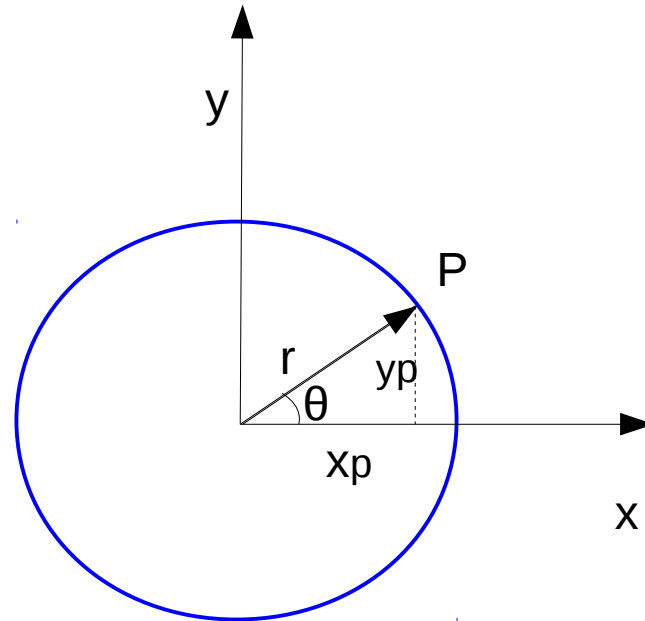
Verifica

- Un corpo percorre con velocità scalare costante una traiettoria circolare sul piano xy , con centro nell'origine. Quando il corpo si trova ad $x = -2 \text{ m}$, la sua velocità è $\mathbf{v} = (-4 \text{ m/s})\mathbf{j}$
- quali sono
 - (a) la velocità
 - (b) l'accelerazione centripetaquando si trova a $y = 2 \text{ m}$?

Verifica

- Un corpo percorre con velocità scalare costante una traiettoria circolare sul piano xy , con centro nell'origine. Quando il corpo si trova ad $x = -2 \text{ m}$, la sua velocità è $\mathbf{v} = (-4 \text{ m/s})\mathbf{j}$
- quali sono
 - (a) la velocità $\rightarrow (-4 \text{ m/s})\mathbf{i}$
 - l'accelerazione centripeta $\rightarrow (-8 \text{ m/s}^2)\mathbf{j}$
quando si trova a $y = 2 \text{ m}$?

Dimostrazione che $a = v^2/r$



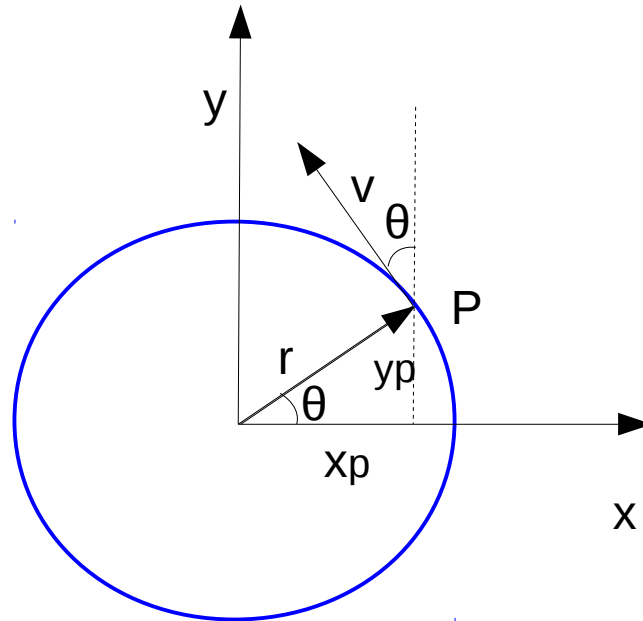
consideriamo il punto P sulla traiettoria circolare.

Rispetto al sistema di coordinate scelto, la posizione di P è individuata dal vettore \mathbf{r}

$$\mathbf{r} = x_p \mathbf{i} + y_p \mathbf{j}$$

il vettore \mathbf{r} forma un angolo θ con il semiasse positivo delle x.

Dimostrazione che $a = v^2/r$



consideriamo il punto P sulla traiettoria circolare.

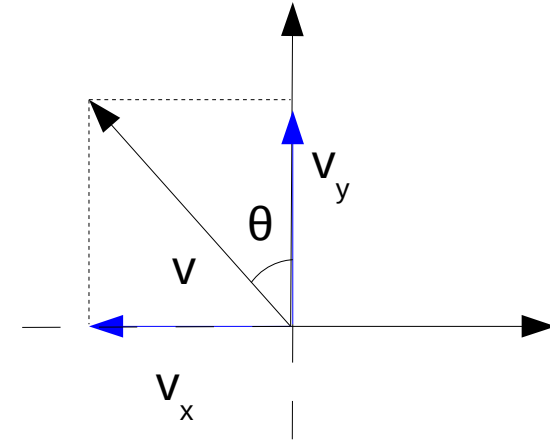
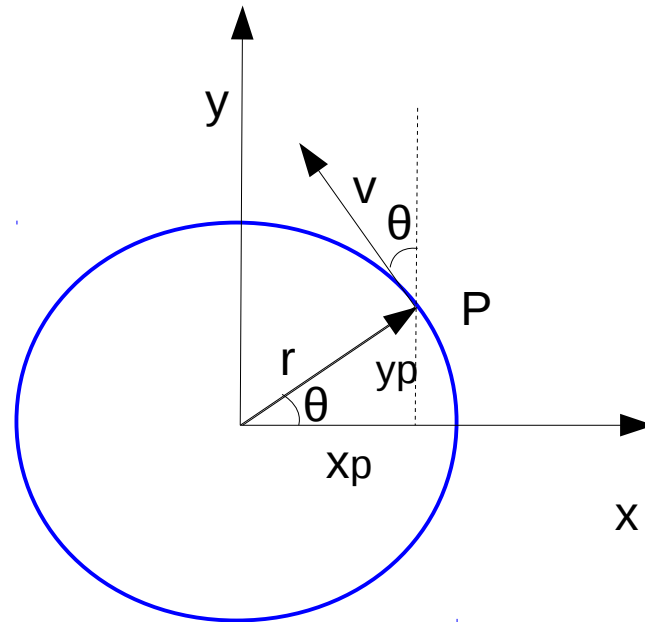
Rispetto al sistema di coordinate scelto, la posizione di P è individuata dal vettore \mathbf{r}

$$\mathbf{r} = x_p \mathbf{i} + y_p \mathbf{j}$$

il vettore \mathbf{r} forma un angolo θ con il semiasse positivo delle x.

Consideriamo il vettore \mathbf{v} : v ha modulo costante e direzione tangente alla traiettoria nel punto P. L'angolo che il vettore \mathbf{v} forma con la direzione dell'asse y è di nuovo θ

Dimostrazione che $a = v^2/r$



$$\mathbf{v} = v_x \mathbf{i} + v_y \mathbf{j} = (-v \sin \theta) \mathbf{i} + (v \cos \theta) \mathbf{j}$$

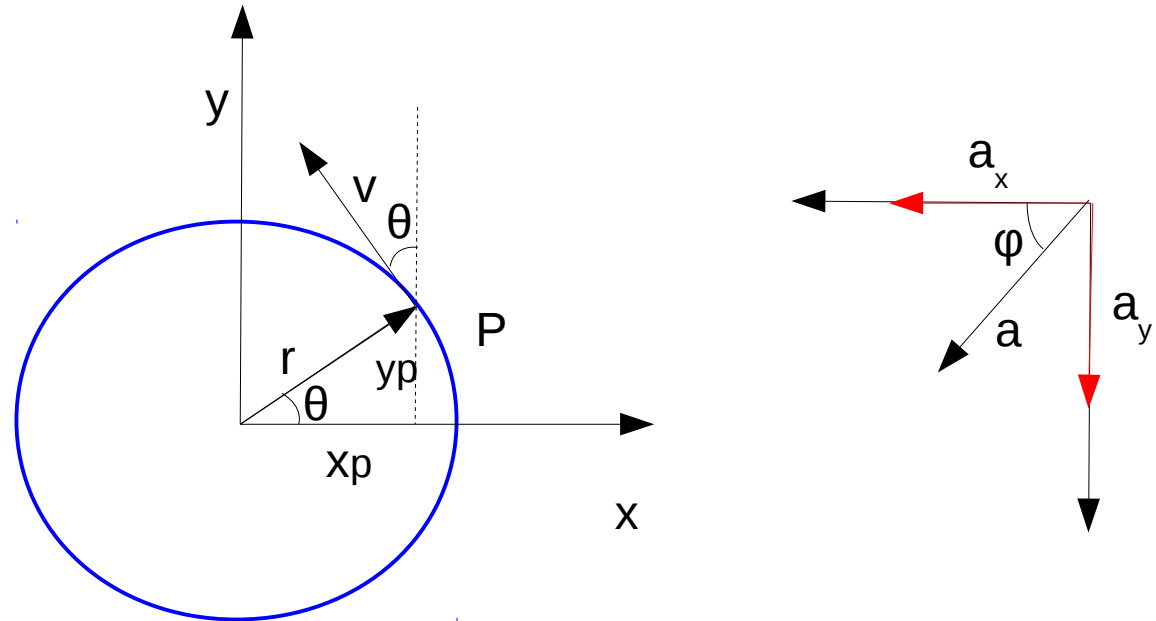
considerando la relazione tra r , $\sin \theta$ e $\cos \theta$, possiamo scrivere :
 $\sin \theta = y_p / r$ e $\cos \theta = x_p / r$

$$\text{sostituendo : } \mathbf{v} = (-v y_p / r) \mathbf{i} + (v x_p / r) \mathbf{j}$$

$$\mathbf{a} = d\mathbf{v}/dt = (-v/r) (dy_p/dt) \mathbf{i} + (v/r) (dx_p/dt) \mathbf{j}$$

componenti v_x e v_y della velocità

Dimostrazione che $a = v^2/r$



Componenti scalari della velocità : $v_x = -v \sin \theta$ $v_y = v \cos \theta$

$$\mathbf{a} = d\mathbf{v}/dt = (-v/r) (v_y) \mathbf{i} + (v/r) (v_x) \mathbf{j} = (-v^2/r)(\cos \theta) \mathbf{i} + (-v^2/r)(\sin \theta) \mathbf{j}$$

il modulo di \mathbf{a} è : $\mathbf{a} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = v^2/r \sqrt{(\cos \theta)^2 + (\sin \theta)^2} = v^2/r$

la direzione di \mathbf{a} è data dall'angolo φ :

=1

$$\tan \varphi = a_y / a_x = (-v^2/r)(\sin \theta) / (-v^2/r)(\cos \theta) = \tan \theta$$

\mathbf{a} ha la stessa direzione del raggio r , verso il centro della circonferenza

Esercizi

moto circolare uniforme e moto del proiettile

- 4.34

- La ruota panoramica di un luna park ha un raggio di 15 m e compie ogni minuto 5 giri intorno al proprio asse orizzontale.

Qual è :

- Il modulo e la direzione dell'accelerazione centripeta nel punto piu' alto?
- E nel punto piu' basso?

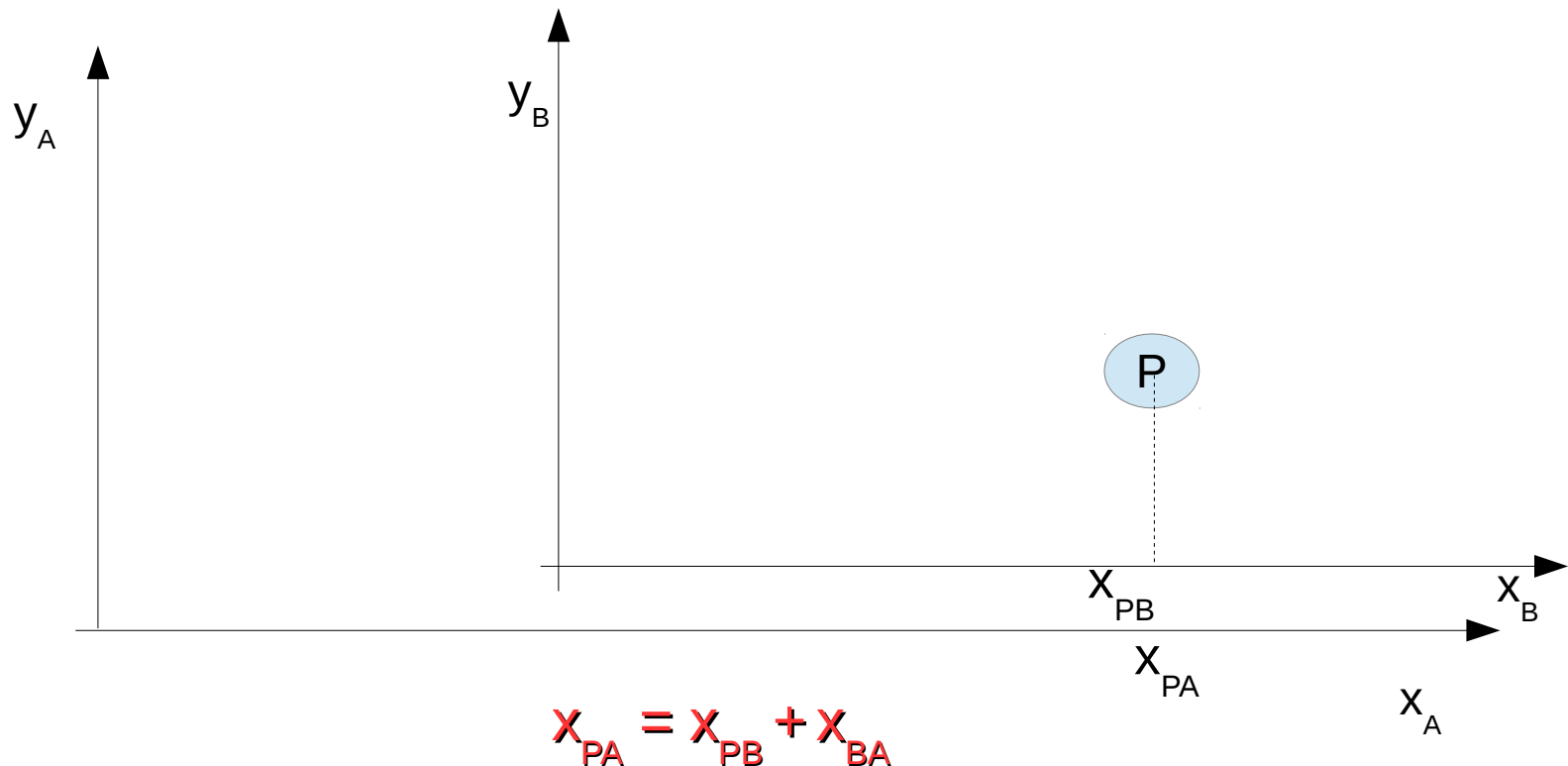
- 4.38

- Un ragazzino fa ruotare un sasso legato ad una cordicella lunga 1,5 m su una circonferenza orizzontale a 2,0 m da terra. La cordicella si rompe ed il sasso fila via orizzontalmente andando a cadere a 10 m di distanza orizzontale.

- Qual era l'accelerazione centripeta del sasso in moto circolare?

Moto relativo unidimensionale

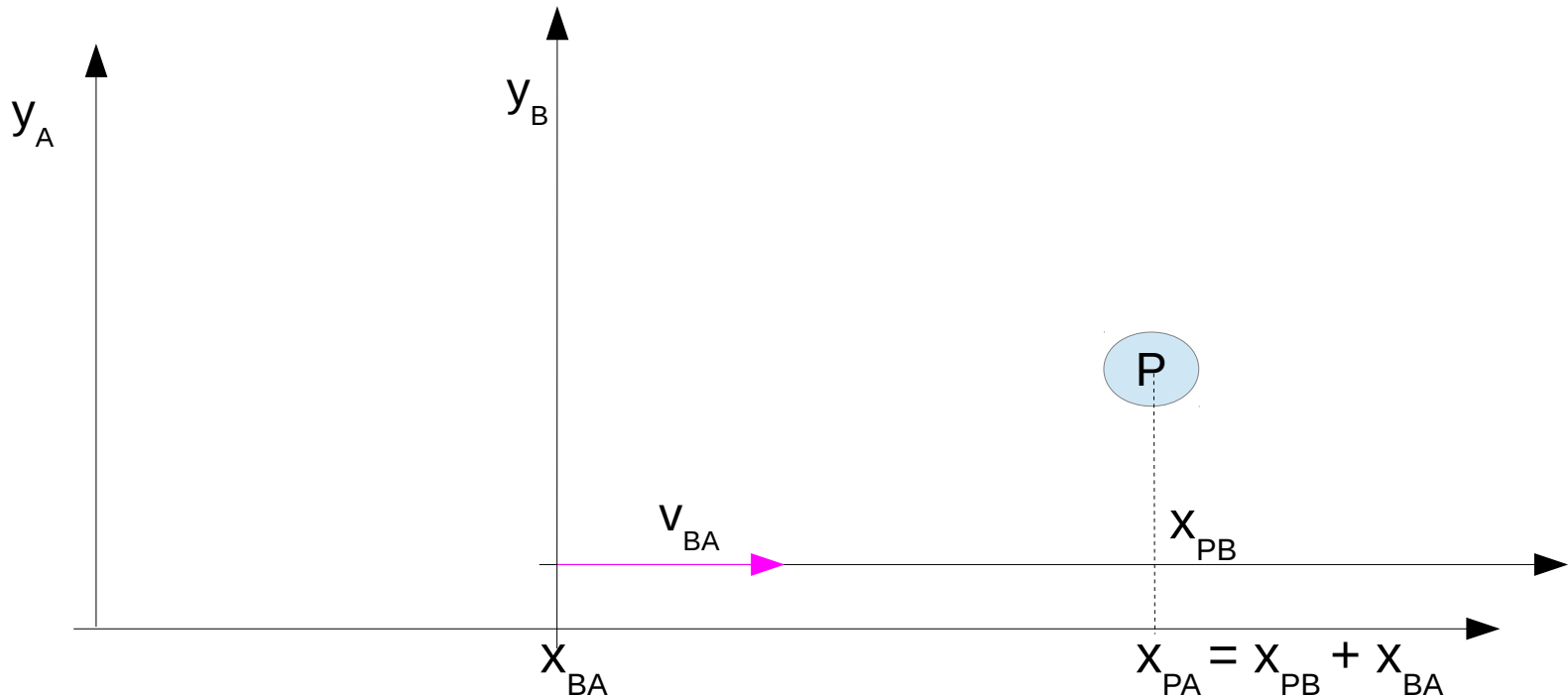
- Il sistema di riferimento A è fermo.
- Il sistema di riferimento B si muove rispetto ad A (moto lungo l'asse x)
 - A e B osservano l'oggetto P che si muove rispetto ad entrambi



quindi la posizione di P misurata nel sistema di riferimento A è uguale alla posizione di P misurata nel sistema di riferimento B più la posizione del sistema B rispetto al sistema A

Moto relativo unidimensionale velocità

- Il sistema di riferimento A è fermo.
- Il sistema di riferimento B si muove rispetto ad A (moto lungo l'asse x)
 - A e B osservano l'oggetto P che si muove rispetto ad entrambi



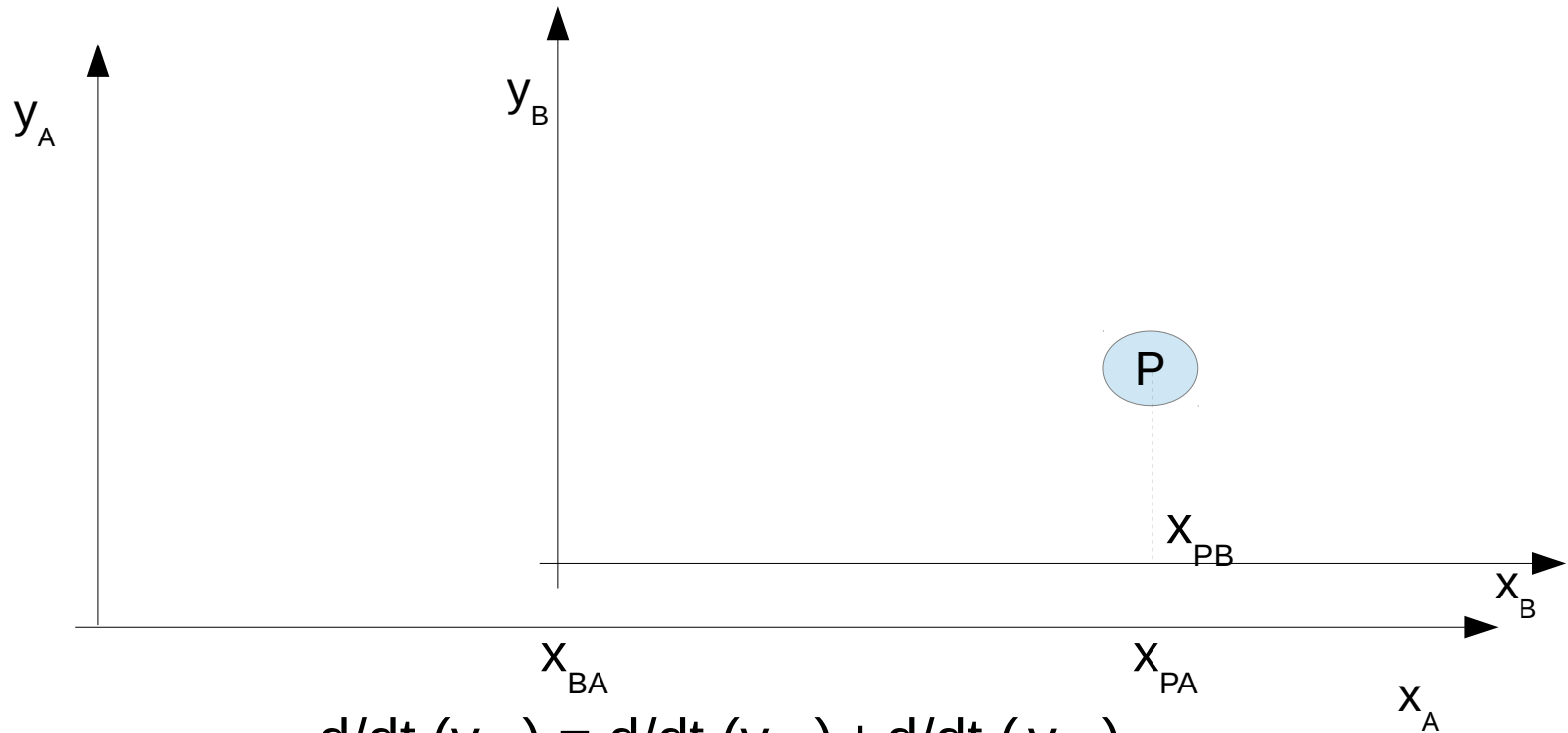
$$d/dt (x_{PA}) = d/dt (x_{PB}) + d/dt (x_{BA})$$

$$v_{PA} = v_{PB} + v_{BA}$$

v_{BA} indica la velocità con cui il sistema B si muove rispetto ad A

Moto relativo unidimensionale accelerazione

- consideriamo il caso in cui il sistema B si muove rispetto ad A a velocità costante ($v_{BA} = \text{costante}$)
- L'oggetto P invece ha velocità variabile.



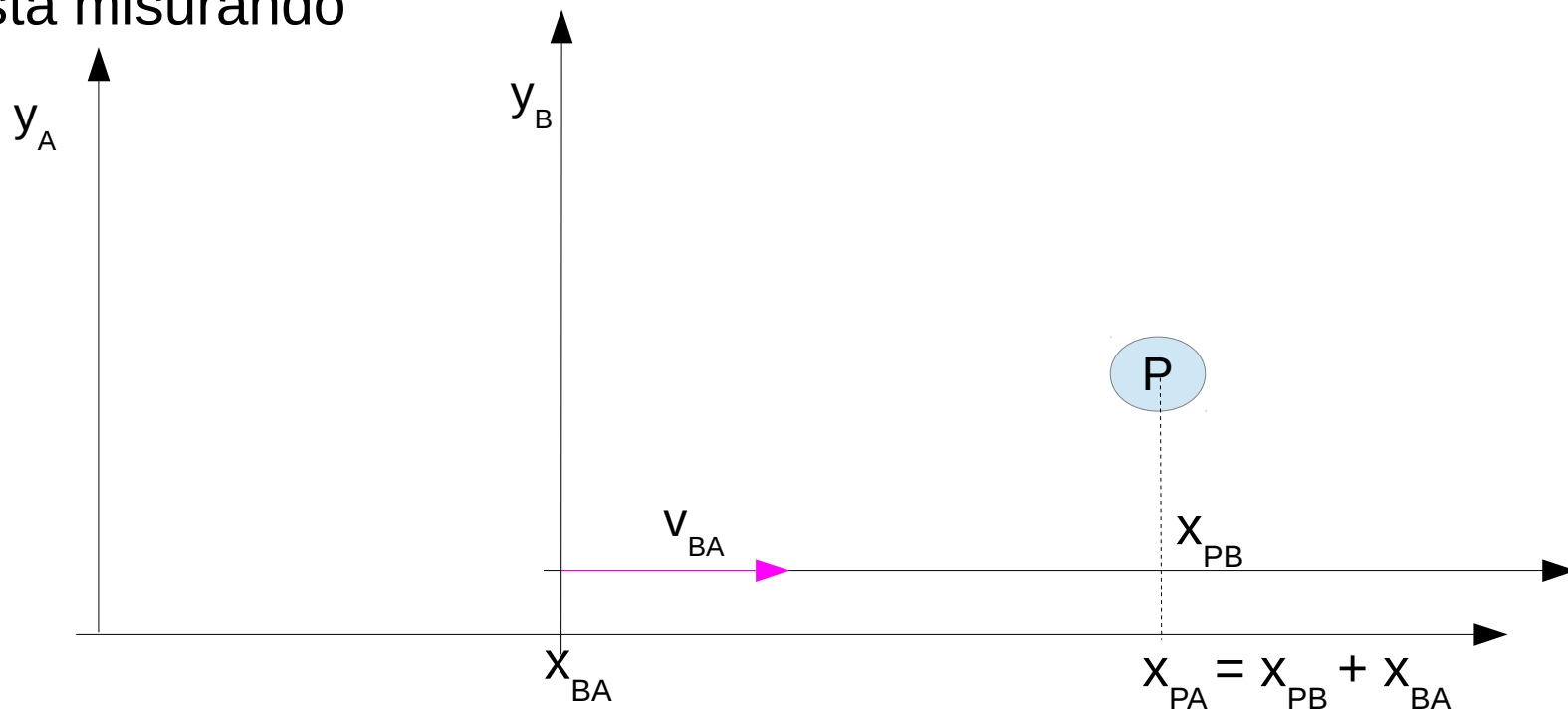
$$d/dt (v_{PA}) = d/dt (v_{PB}) + d/dt (v_{BA})$$

$$a_{PA} = a_{PB}$$

← v_{BA} è costante, quindi $a_{BA} = 0$

Moto relativo unidimensionale

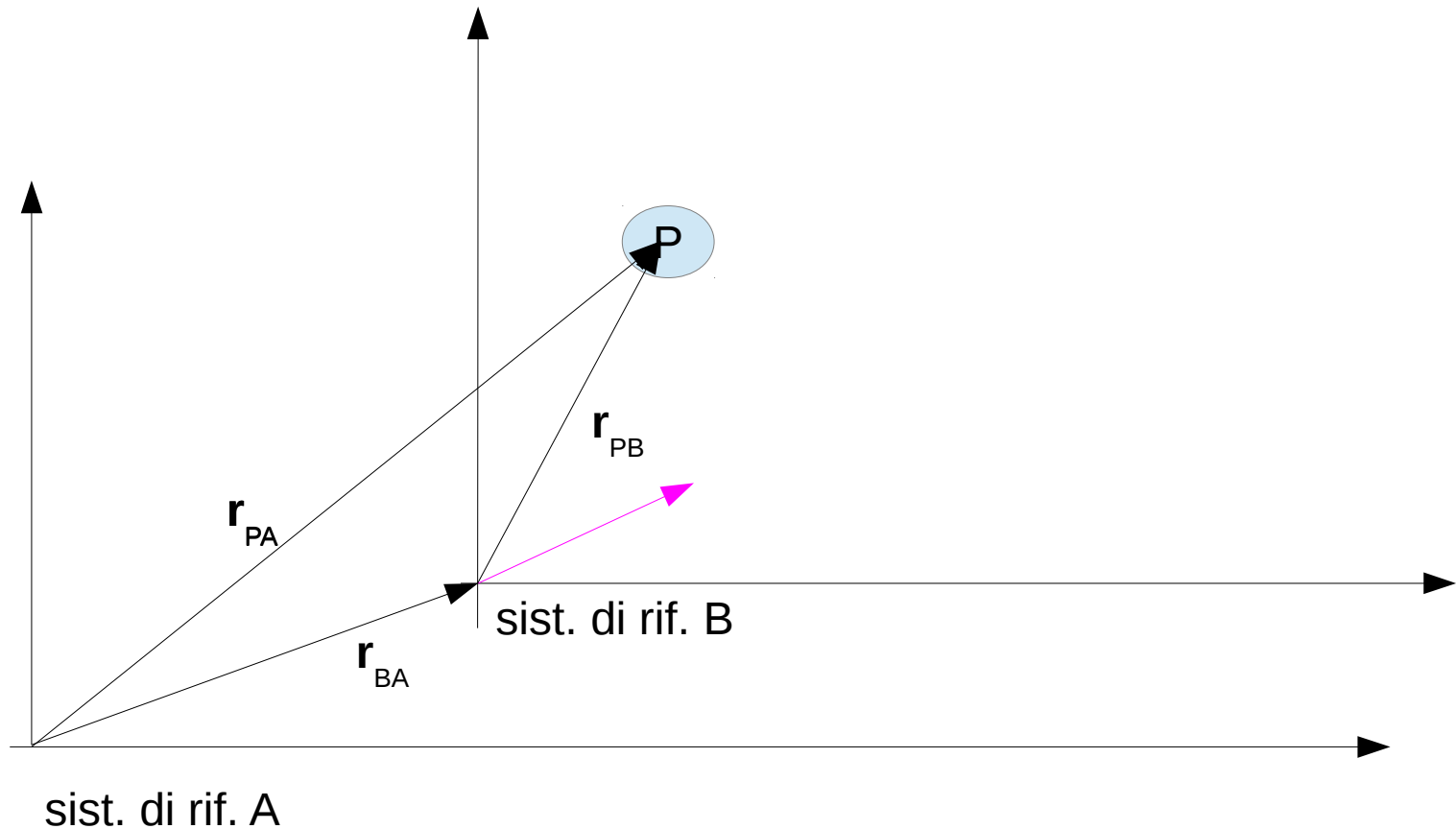
- Osservatori posti in diversi sistemi di riferimento (aventi velocità relative costanti) misureranno la stessa accelerazione per una particella in movimento
- La velocità di un oggetto dipende dal sistema di riferimento della persona che la sta misurando



- $v_{PA} = v_{PB} + v_{BA}$
- $a_{PA} = a_{PB}$

Moto relativo bidimensionale

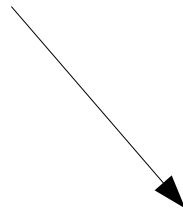
il sistema di rif. B si muove rispetto ad A con velocità $\mathbf{v}_{BA} = \text{costante}$
assumiamo che gli assi x ed y restino paralleli tra loro nello spostamento



- $\mathbf{r}_{PA} = \mathbf{r}_{PB} + \mathbf{r}_{BA} \rightarrow \mathbf{v}_{PA} = \mathbf{v}_{PB} + \mathbf{v}_{BA}$
- $\mathbf{v}_{BA} = \text{cost} \rightarrow \mathbf{a}_{PA} = \mathbf{a}_{PB}$

Dinamica

- Finora abbiamo studiato la **cinematica**, ovvero la branca della **meccanica** che classifica e studia i vari tipi di moto senza però investigarne le cause
- Ora passiamo alla **dinamica**, che ne studia le cause



la grandezza fisica capace di provocare un'accelerazione, quindi di variare la velocità di un corpo, è detta **FORZA**

meccanica newtoniana : insieme delle relazioni tra forze ed accelerazione introdotte da Newton a fine 1600 e valide nei sistemi di riferimento inerziali

Forza

- è una grandezza vettoriale $\rightarrow \vec{F}$
 - modulo, direzione e verso
 - quando due o più forze agiscono su un corpo, possiamo combinarle per trovare la **risultante delle forze**
 - una sola forza con modulo, direzione e verso della risultante delle forze produce sul corpo lo stesso effetto che verrebbe prodotto dalle forze componenti agenti tutte insieme su di esso
- princípio di sovrapposizione delle forze
- l'unità di misura si definisce in base all'accelerazione che è in grado di imprimere su un campione di riferimento :
 - il **Newton (N) = 1 kg·m/s²**
stiamo esercitando su un corpo di 1 kg una forza il cui modulo è pari ad 1 N se questo subisce un'accelerazione di 1 m/s²

Prima legge di Newton

“principio d'inerzia”

Se date una spinta ad un oggetto (ad esempio un disco metallico) per fargli prendere velocità, cosa succede? Si ferma o continua a muoversi?

Prima legge di Newton

“principio d'inerzia”

Se date una spinta ad un oggetto per fargli prendere velocità, cosa succede? Si ferma o continua a muoversi? **Dipende dalla superficie!**

1. sull'asfalto
2. su una superficie ghiacciata
3. su un piano provvisto di fori che creano un cuscino d'aria tra il disco metallico e la superficie

Prima legge di Newton

“principio d'inerzia”

Se **su una superficie senza attrito** date una spinta ad un oggetto per fargli prendere velocità, cosa succede? Si ferma o continua a muoversi?

in una situazione ideale, in cui non c'è attrito, se su un corpo la risultante delle forze agenti è zero :

- se è fermo resterà fermo ;
- se si sta muovendo, continuerà a muoversi con la stessa velocità (modulo, direzione e verso)



ovvero, il corpo non può accelerare, **si muove di moto rettilineo uniforme**

Prima legge di Newton

“principio d'inerzia”

• In un sistema di riferimento inerziale, un corpo permane nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme se la risultante delle forze agenti su di esso è nulla

1. possono agire anche piu' forze contemporaneamente su un corpo, purché la risultante sia nulla
2. il corpo non accelera, quindi la sua velocità non varia : se è fermo resta fermo, se è in moto rettilineo uniforme continua con la sua velocità (vettoriale) costante.
3. cos'è un **sistema di riferimento inerziale**?
un sistema di riferimento è detto INERZIALE se in esso vale il principio d'inerzia, ovvero se vale la prima legge di Newton

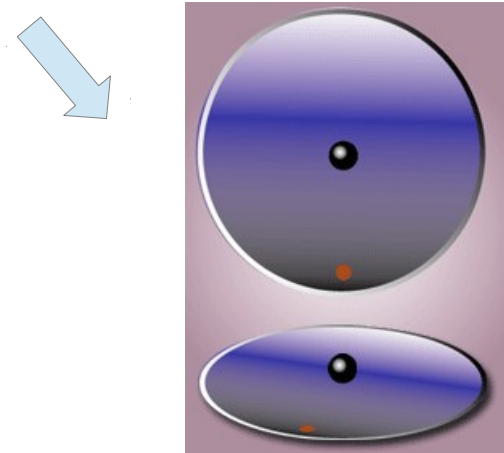


Sistemi di riferimento inerziali

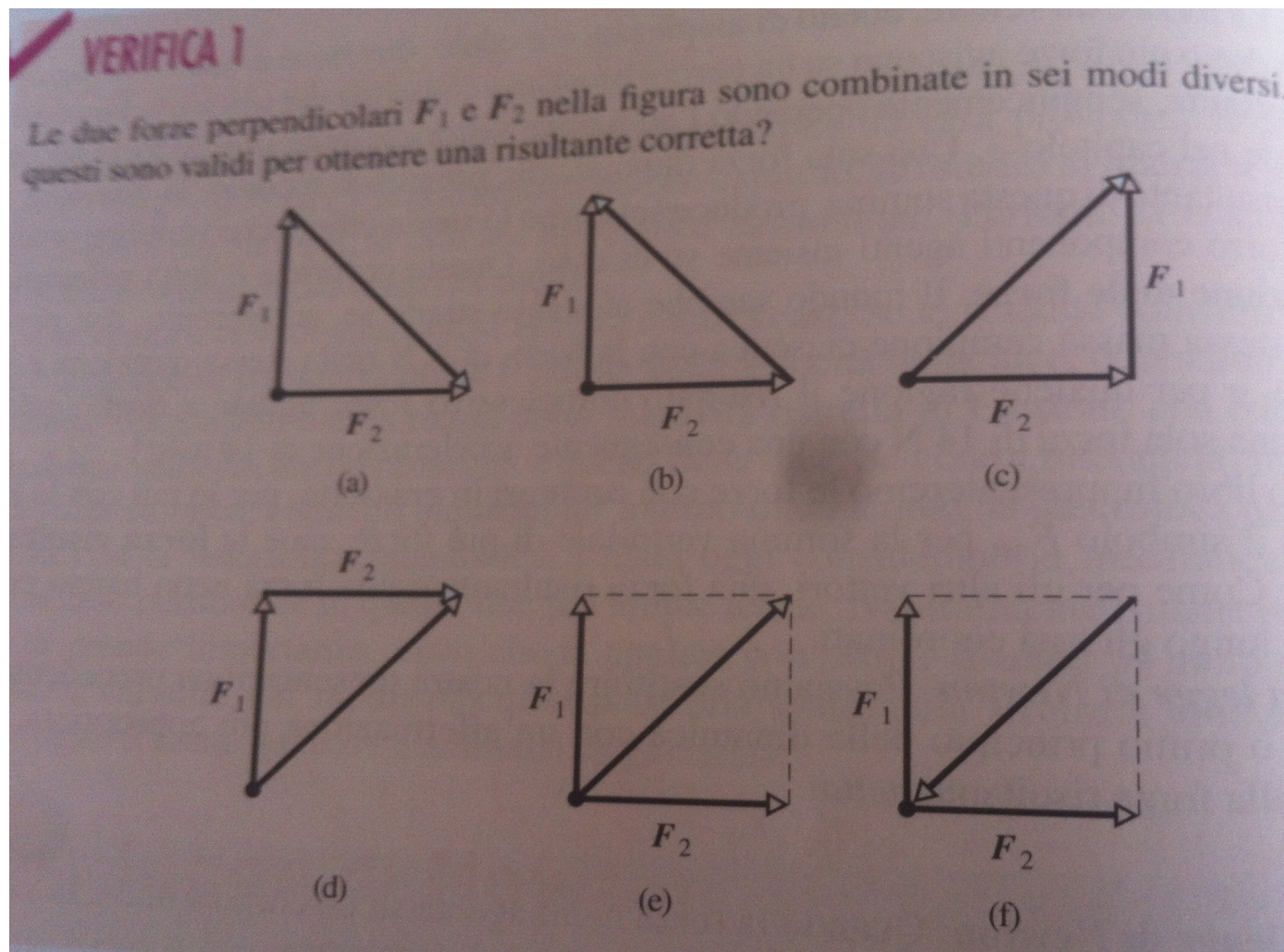
- La Terra è un sistema di riferimento inerziale?

Possiamo dire che la Terra “approssima” un sistema di riferimento inerziale. Per piccoli spostamenti, possiamo trascurare gli effetti del moto astronomico della Terra (rotazione e rivoluzione).

- Per grandi spostamenti, la rotazione terrestre provoca deviazioni apparenti → sembra che “forze apparenti” entrino in gioco causando queste deviazioni dal moto rettilineo. In realtà accade perché siamo in un s. di r. **NON INERZIALE**




Verifica : risultante delle forze



La massa

- La massa è una caratteristica intrinseca di un corpo, e mette in relazione la forza applicata al corpo con l'accelerazione che ne risulta
- Se proviamo ad imprimere la stessa accelerazione ad un pallone da calcio o ad una pallina da tennis dosiamo diversamente la forza! Questo perché i due corpi hanno masse diverse



l'accelerazione subita da un corpo, a parità di forza applicata, è inversamente proporzionale alla sua massa : tanto piu' piccola è la massa (pallina da tennis) tanto maggiore sarà l'accelerazione... 

Seconda legge di Newton

- La risultante delle forze agenti su un corpo è uguale a prodotto della sua massa per l'accelerazione assunta dal corpo

- $F = ma$

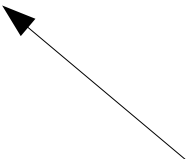
Attenzione! Parliamo della risultante delle forze che agiscono **sul** corpo : quelle che non agiscono sul corpo in oggetto non hanno alcuna influenza sul suo moto!!

$$F = ma$$

$$F_x = m \cdot a_x$$

$$F_y = m \cdot a_y$$

$$F_z = m \cdot a_z$$



La risultante delle forze agenti lungo l'asse x genera la componente x dell'accelerazione. E' indipendente da quello che accade lungo gli altri assi!

Seconda legge di Newton

- La risultante delle forze agenti su un corpo è uguale a prodotto della sua massa per l'accelerazione assunta dal corpo
 - $F = ma$

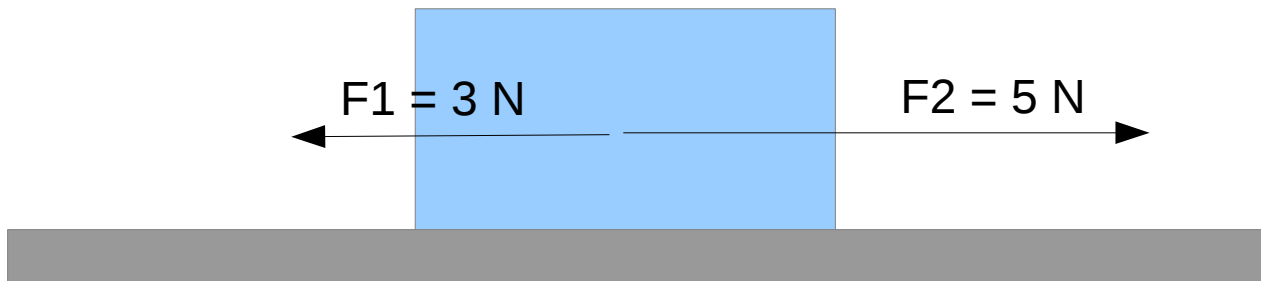
Se F è nulla, a è nulla \rightarrow F nulla vuol dire che eventuali piu' forze agenti su un corpo devono compensarsi, e quindi le forze sono in EQUILIBRIO tra loro (o che si elidono)

Un insieme di due o piu' corpi è detto **sistema di corpi**.

Tutte le forze che oggetti al di fuori del sistema esercitano sul sistema sono dette **FORZE ESTERNE** : non prendiamo in considerazione per ora le **FORZE INTERNE** al sistema, ovvero quelle che agiscono tra i corpi che costituiscono il nostro sistema.

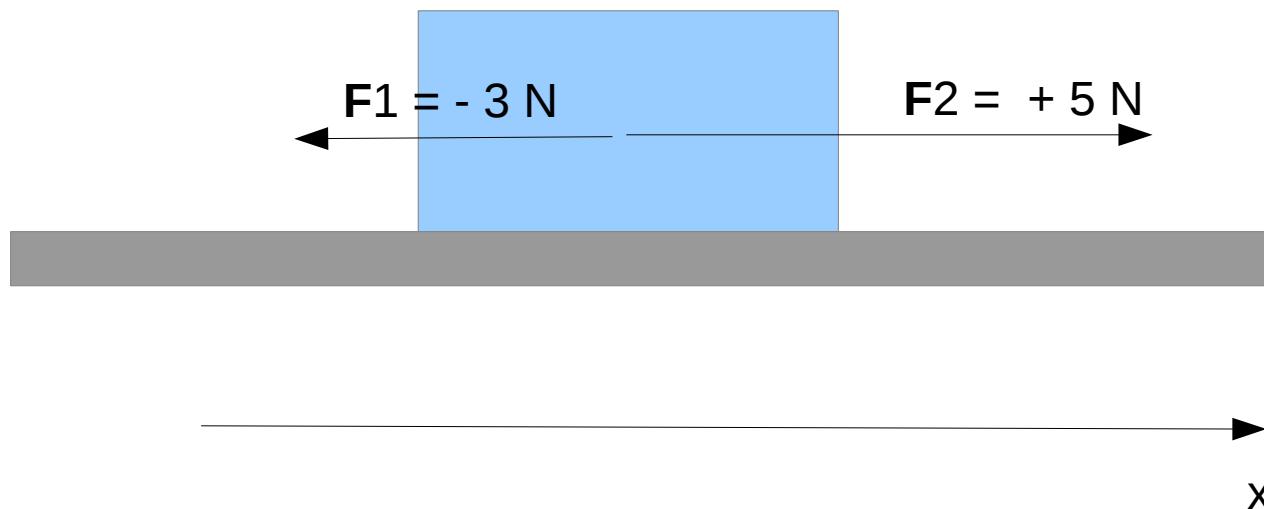
Verifica 2

- Due forze F_1 ed F_2 agiscono su un blocco posto su un piano senza attrito come in figura :
- quali sono l'intensità ed il verso di una terza forza F_3 se
 - a) il blocco resta fermo
 - b) il blocco si muove verso sinistra con velocità costante $v = 5 \text{ m/s}$?



Verifica 2

- Due forze F_1 ed F_2 agiscono su un blocco posto su un piano senza attrito come in figura :
 - quali sono l'intensità ed il verso di una terza forza F_3 se
 - a) il blocco resta fermo → $F_3 = - 2\text{ N}$
 - b) il blocco si muove verso sinistra con $v = 5\text{ m/s}$? → $F_3 = - 2\text{ N}$
- la velocità è costante e quindi l'accelerazione è nulla! La risultante delle forze è sempre 0.



Problema svolto 5.1

- Un disco da hockey si muove su una superficie senza attrito in moto unidimensionale lungo l'asse x.
- massa $m = 0.20$ kg
- $F_1 = 4,0$ N, $F_2 = 2,0$ N, $F_3 = 1$ N (direzione e verso nel grafico)
- trovare a nei tre casi in figura

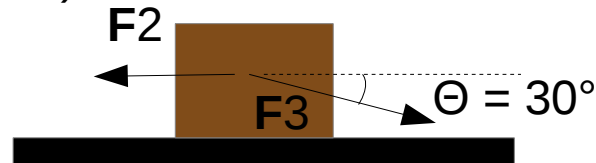
a)



b)



c)



Esercizio 5.4

- $m = 120 \text{ kg}$
- $F_1 = 32 \text{ N}$
- $F_2 = 55 \text{ N}$
- $F_3 = 41 \text{ N}$
- $\theta_1 = 30^\circ$, $\theta_3 = 60^\circ$

determinare **a**

