



# Moti in SR NON INERZIALI

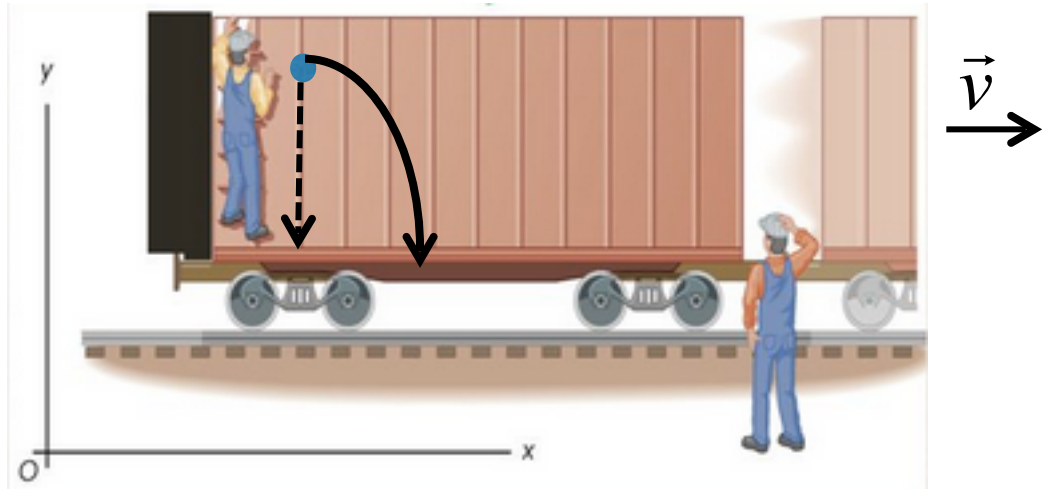
*CdS Ingegneria Informatica*  
*A.A. 2019/20*

# Moti in SR in moto relativo: cinematica

Cinematica: **movimento è un concetto relativo**, legato al SR scelto.

ES: oggetto lasciato cadere sul vagone di un treno in moto:

- Cade lungo la verticale per un osservatore sul treno,
- Compie una traiettoria parabolica per osservatore a terra.



Entrambi i moti sono veri rispetto al loro SR.

Cambia la descrizione di posizione, velocità....

Un SR può essere solo più “conveniente” computazionalmente



# Moti in SR in moto relativo: dinamica

---

Due principi fondamentali:

- Tutti i sistemi di riferimento inerziali sono equivalenti;
- Nei SRI le leggi della fisica sono le stesse e per il secondo principio

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

Cosa succede se studio il moto in un SR NON INERZIALE?

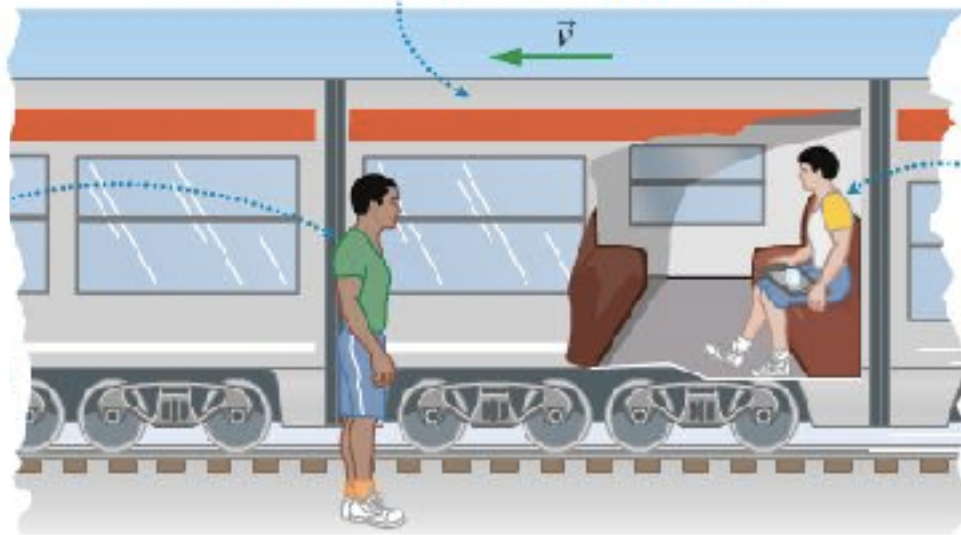
# Moti in SR Non inerziali

Es: treno in moto con velocità costante. Ragazzo seduto sul treno con un cubetto di ghiaccio sul vassoio.

Due SR: S solidale a un osservatore a terra

S' solidale con l'osservatore sul treno

Il treno si muove con velocità  $v$  costante.

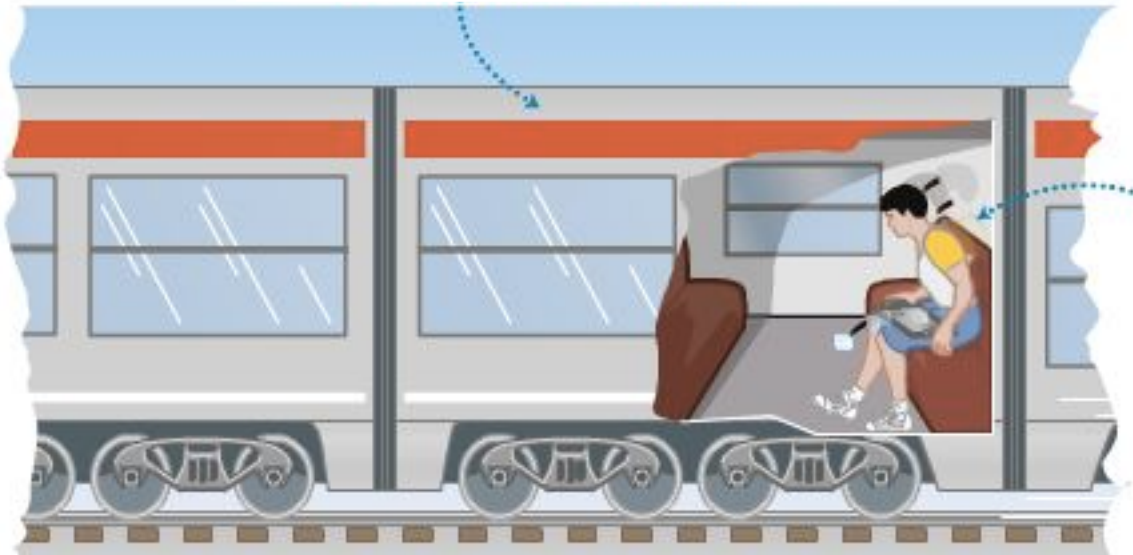


In S: sul cubetto  
non agisce  
nessuna forza ->  
si muove con la  
stessa velocità  
del SR

In S': sul cubetto  
non agisce  
nessuna forza ->  
è fermo nel SR

# Moti in SR Non inerziali

Se treno in moto decelera improvvisamente....



In  $S'$  il cubetto vola fuori dal vassoio come se fosse sottoposto a una forza in avanti. È reale?

Forza reale: attrito esercitato tra treno e binari, che ha coinvolto tutti gli oggetti solidali al treno in moto.

Forza non ha agito sugli oggetti sul treno non solidali ad esso.

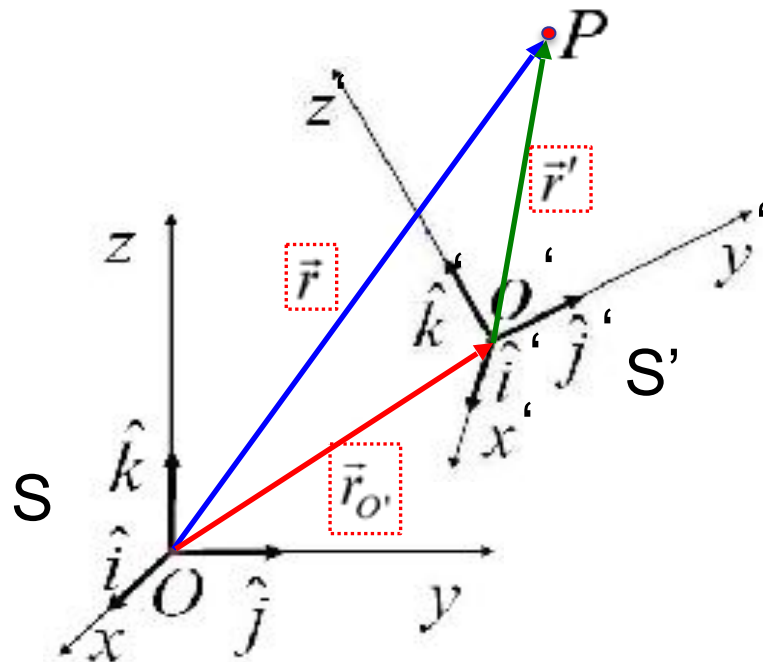
Moto improvviso non dovuto a forze sull'oggetto ma a forze sul SR che non è più inerziale



# Sistemi di riferimento non inerziali

- Esiste una classe di sistemi di riferimento in cui NON vale il secondo principio della dinamica: **sistemi di riferimento non inerziali**
- I SR non inerziali sono tutti quelli **in moto accelerato** rispetto ad un SRI. Es: veicolo in partenza, veicolo in frenata, piattaforma rotante....
- Nel SR non inerziale compaiono forze dette **fittizie** dovute all'accelerazione del nuovo SR.
- In un SR non inerziale possiamo scrivere il secondo principio a patto di usare come **risultante delle forze sia quelle reali che quelle fittizie**

# Forze fittizie



S: sistema di riferimento fermo

S': sistema di riferimento **mobile**

$$\vec{a}(t) = \vec{a}' + 2(\vec{\omega} \times \vec{v}') + \vec{\omega} \times \vec{r}' + \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}') + \vec{a}_o$$

$$\vec{a}(t) = \vec{a}' + \vec{a}_{co} + \vec{a}_t$$

Corpo in S sente una forza reale  $\vec{F}$

Un osservatore in S' direbbe che sul corpo agisce una forza  $\vec{F}'$  tale che:

$$\vec{F}' = m \vec{a}'(t) = m(\vec{a} - \vec{a}_{co} - \vec{a}_t)$$

$$\vec{F}' = m \vec{a}'(t) = \vec{F} - m \vec{a}_{co} - m \vec{a}_t \Rightarrow \begin{cases} \vec{F}' = -m \vec{a}' \\ \vec{F}_{co} = -m \vec{a}_{co} = -2m \vec{\omega} \times \vec{v}' \\ \vec{F}_c = -m \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}') \end{cases}$$

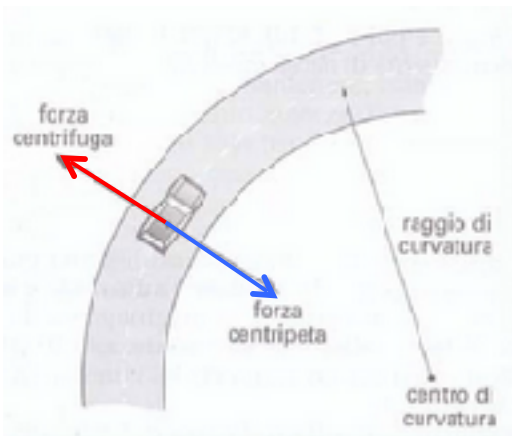
Forza fittizia

Forza di Coriolis

Forza centrifuga

# Forza centrifuga $\vec{F}_c = -m\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}')$

Forza a cui è soggetto un corpo in moto curvilineo: es macchina in curva



- In S (SRI) solidale alla strada agisce una forza reale: **forza centripeta**;

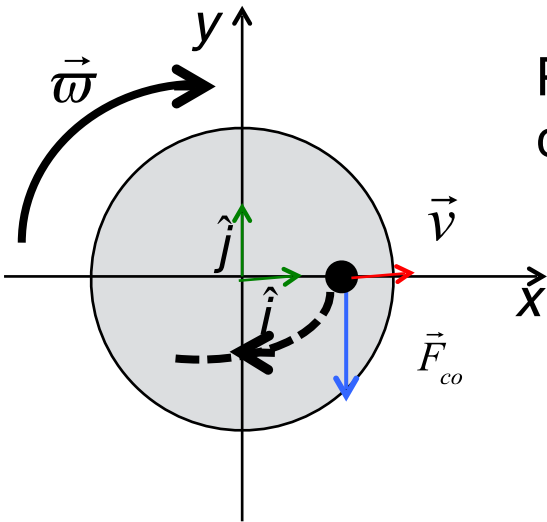
$$\vec{f}_c = m \frac{v^2}{\rho} \hat{n}$$

- Oggetti dentro la macchina non sentono l'azione dell'attrito fra ruote e strade e tendono a mantenere il moto rettilineo per il primo principio.
- In S' (SR NON I) solidale alla macchina: osservatore dentro la macchina si sente spinto verso l'esterno dalla **forza centrifuga**:
  - Forza fittizia;
  - Stesso modulo e direzione della forza centripeta ma verso opposto



# Forza di Coriolis $\vec{F}_{co} = -2m\vec{\omega} \times \vec{v}'$

Forza a cui è soggetto un corpo in moto in un sistema di riferimento in rotazione



Piattaforma che ruota con velocità angolare costante e corpo lanciato radialmente con velocità iniziale non nulla.

In S SRI solidale al terreno moto della pallina rettilineo uniforme poichè non agiscono forze (primo principio).

In S' SR non I solidale alla piattaforma: pallina risente della forza fittizia di Coriolis

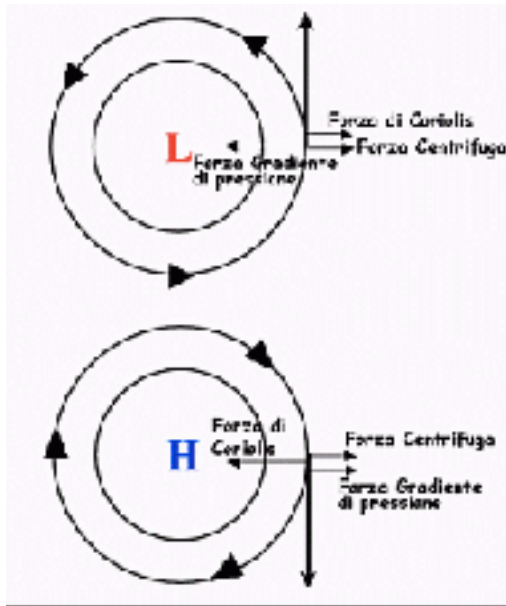
$$\vec{F}_{co} = -2m\vec{\omega} \times \vec{v}' = -2m(\omega\hat{k}) \times (v\hat{i}) = -2m\omega v\hat{j}$$

Traiettoria circolare verso destra rispetto osservatore in S'

# Forza di Coriolis $\vec{F}_{co} = -2m\vec{\omega} \times \vec{v}'$

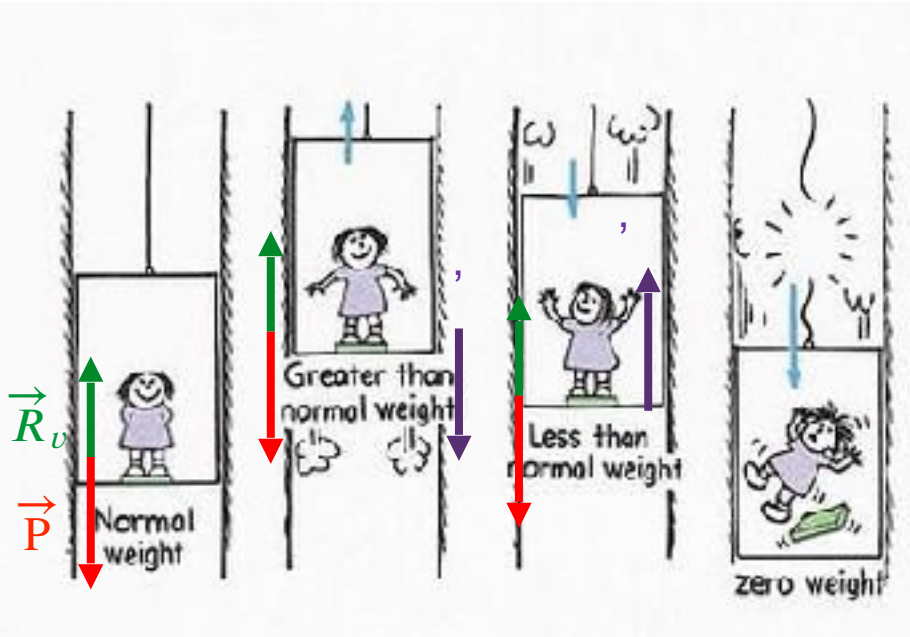
Responsabile di molti fenomeni visibili:

- Sbilanciata usura dei binari dei treni orientati secondo i meridiani: treno da nord a sud usura maggiormente il binario di destra;
- Moto dei gravi su lunghe distanze (missili...);
- Circolazione dei venti



- Le masse d'aria si spostano dall'alta pressione H alla bassa pressione L: vento di ciclone;
- H e L separate di 1000 km;
- Emisfero settentrionale: correnti d'aria tendono verso L deviando a destra;
- Vortice ciclonico che ruota in senso antiorario nell'emisfero nord e in senso orario nell'emisfero sud

# Cosa misura una bilancia in ascensore?



Ascensore **fermo**:

$$\vec{P} + \vec{R}_v = \vec{0} \Rightarrow \vec{R}_v = -\vec{P} \Rightarrow |\vec{R}_v| = |\vec{P}| = \boxed{mg}$$

Ascensore **in salita** con  $\vec{a}$  costante. Se l'ascensore sale, un corpo fermo in esso sentirà una forza fittizia diretta come  $-\vec{a}$

$$\vec{P} + \vec{R}_v + \vec{F}' = \vec{0} \Rightarrow R_v - mg - ma = 0 \Rightarrow R_v = \boxed{mg + ma}$$

Ascensore **in discesa** con  $-\vec{a}$  costante. Se l'ascensore scende, un corpo fermo in esso sentirà una forza fittizia diretta come  $\vec{a}$

$$\vec{P} + \vec{R}_v + \vec{F}' = \vec{0} \Rightarrow R_v - mg + ma = 0 \Rightarrow R_v = \boxed{mg - ma}$$

Caso limite:  
**caduta libera**

$$-\vec{a} = -\vec{g} \Rightarrow \vec{P} + \vec{R}_v + \vec{F}' = \vec{0} \Rightarrow R_v - mg + mg = 0 \Rightarrow R_v = \boxed{0}$$