

FISICA GENERALE I

Docente: Prof. G. Carboni
giovanni.carboni@cern.ch

Esercitatore: Dott. R. Petrillo
roberto.petrillo@roma2.infn.it

Anno Accademico 2012 - 2013

Queste lezioni sono scaricabili in formato pdf
dalla pagina

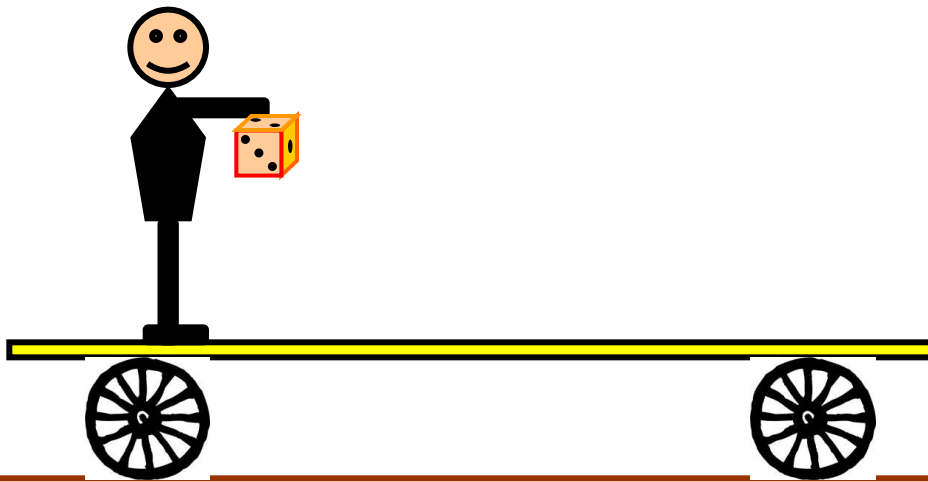
<http://people.roma2.infn.it/carboni>

UTENTE: fis1_studenti
PW: disp_fis1

→ *Necessario Adobe Reader*

Equivalenza dei sistemi di riferimento inerziali: un'applicazione pratica

Proveremo a risolvere lo stesso problema in due riferimenti per vedere che arriviamo alla stessa soluzione

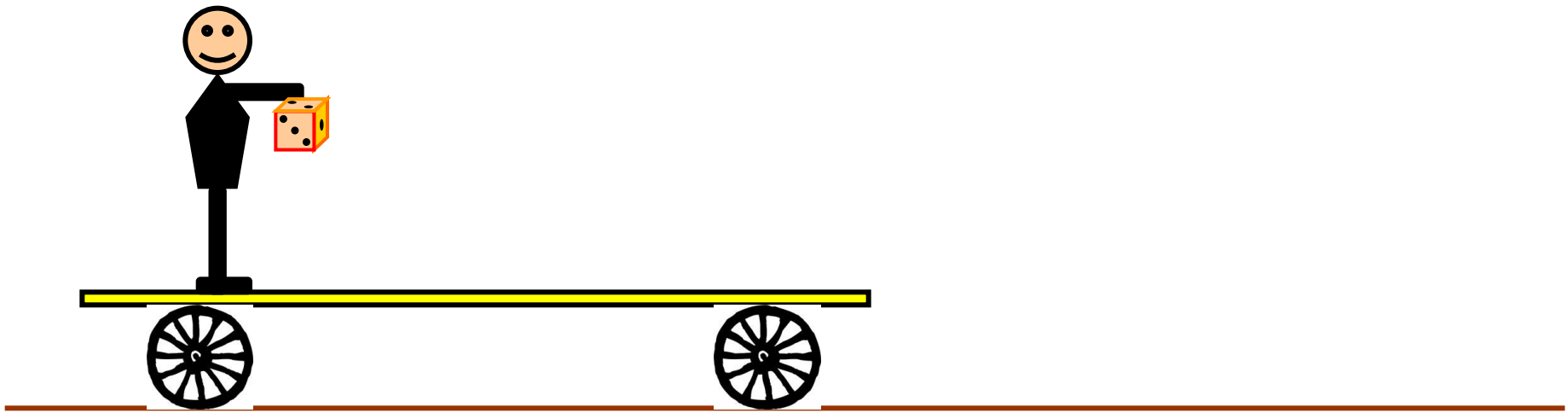


Questo signore è su un carrello in movimento di moto rettilineo uniforme a velocità V_0

→ riferimento inerziale

Se lascia andare il pacco si aspetta che cada lungo la verticale arrivando ai suoi piedi in un tempo $t = \sqrt{2h / g}$

con velocità completamente verticale $v_{y'} = \sqrt{2gh}$

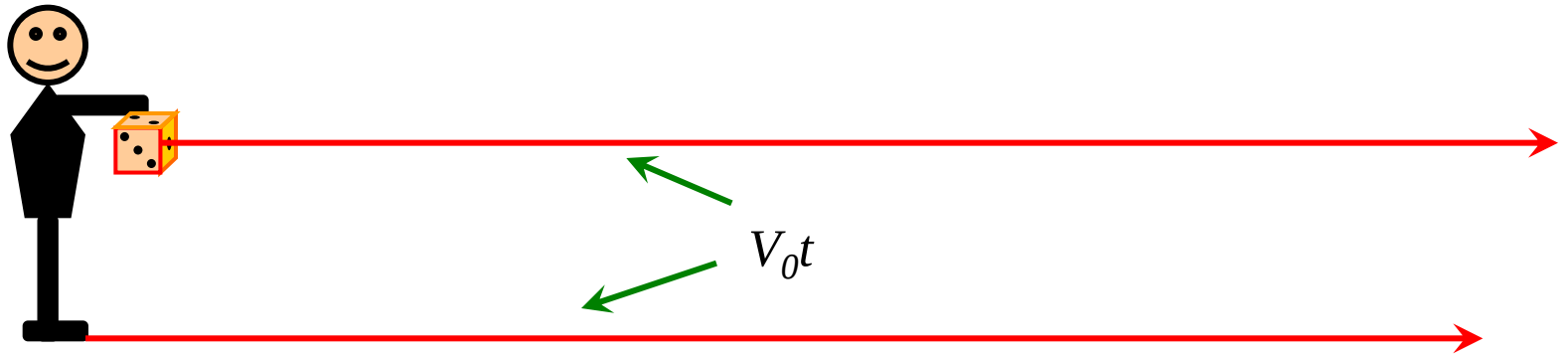


Se però osserviamo il moto del pacco stando fermi a terra scopriamo che fa una traiettoria parabolica

$$x = V_0 t$$

$$y = h - \frac{1}{2} g t^2$$

toccando il pavimento del carrello dopo un tempo $t = \sqrt{2h / g}$
in accordo con quello che ha visto il passeggero



Durante il tempo di caduta sia il passeggero che il pacco sono avanzati di $V_0 t$. Pertanto il pacco alla fine della parabola si trova esattamente ai piedi del passeggero.

E la velocità?

Applichiamo le regole per la trasformazione alla velocità finale

$$v_{x'} = 0$$

$$v_{y'} = -\sqrt{2gh}$$



sul carrello

$$v_x = v_{x'} + V_{0x} = V_0$$

$$v_y = v_{y'} + V_{0y} = -\sqrt{2gh}$$



a terra

esattamente quello che calcola
l'osservatore a terra usando l'equazione
oraria della parabola

$$x = V_0 t$$

$$y = h - \frac{1}{2} g t^2$$

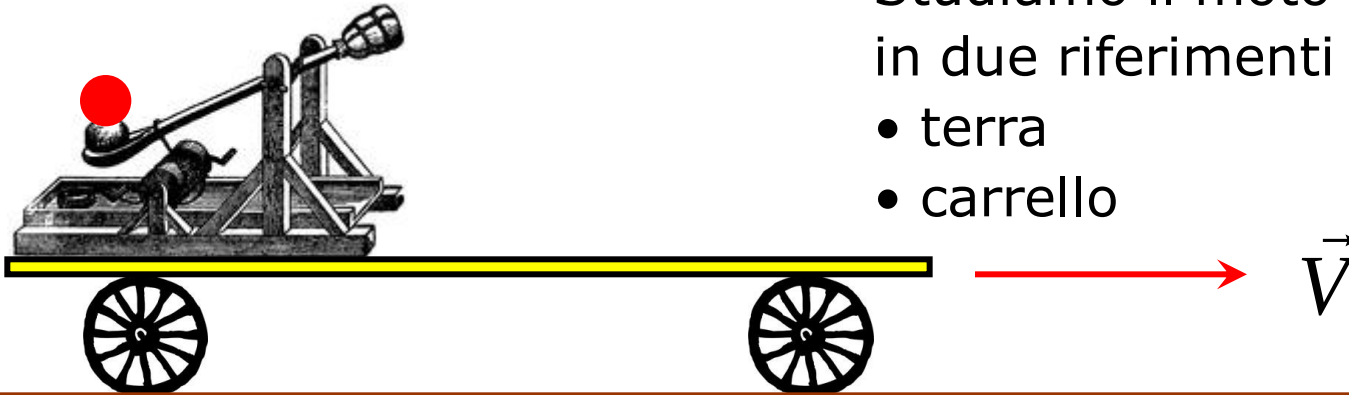
Se il moto è parabolico sul carrello resterà parabolico anche visto da terra, ma naturalmente con una parabola diversa.

Resterà sempre invariato il tempo che non si trasforma ossia è assoluto

L'importante è che alla fine i due osservatori si trovino d'accordo sulla descrizione del fenomeno

Studiamo il moto del proiettile
in due riferimenti

- terra
- carrello



Riferimento fisso a terra

$$x(t) = v_{0x}t$$

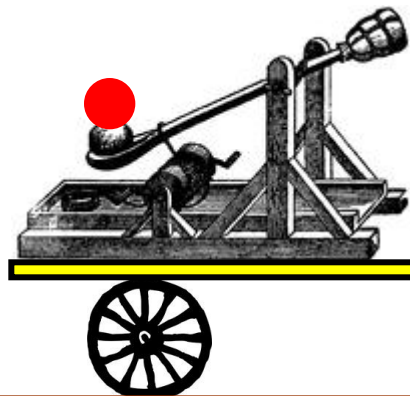
$$y(t) = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$$

Riferimento del carrello

$$x'(t) = u_{0x}t$$

$$y'(t) = u_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$\vec{v}_0 = \vec{u}_0 + \vec{V} \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} v_{0x} &= u_{0x} + V \\ v_{0y} &= u_{0y} \end{aligned}$$



Studiamo il moto del proiettile
in due riferimenti

- terra
- carrello

Riferimento fisso a terra

$$x(t) = v_{0x}t$$

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

Riferimento del carrello

$$x'(t) = u_{0x}t$$

$$y'(t) = u_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$\vec{v}_0 = \vec{u}_0 + \vec{V}$$



$$v_{0x} = u_{0x} + V$$

$$v_{0y} = u_{0y}$$

Gittata

riferimento fisso a terra

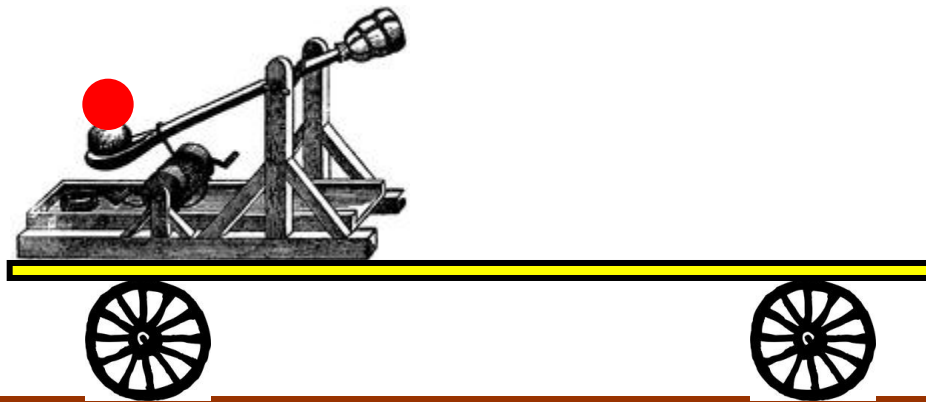
$$R = \frac{2v_{0x}v_{0y}}{g}$$

riferimento del carello

$$R' = \frac{2u_{0x}v_{0y}}{g}$$

$$R = \frac{2(u_{0x} + V)v_{0y}}{g} = R' + \frac{2Vv_{0y}}{g} = R' + Vt^*$$

La gittata a terra è maggiore di quella vista dal carrello. La differenza è semplicemente $2Vv_{0y}/g$ ossia lo spazio di cui si è spostato il carrello durante il volo del proiettile



$$\frac{2Vv_{0y}}{g} = Vt^*$$

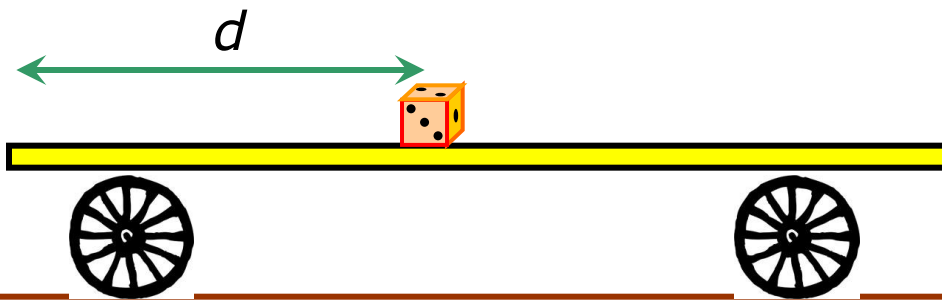
Conclusione

Possiamo risolvere un problema nel riferimento inerziale che più ci piace. Alla fine comunque possiamo sempre trasformare il risultato da un riferimento all'altro.

Se invece volessimo metterci in un riferimento non inerziale dovremmo tener conto delle forze apparenti.

Sistemi di riferimento non inerziali

Abbiamo visto che in questi sistemi nascono delle forze apparenti. Dobbiamo quindi tenerne conto nella risoluzione dei problemi.



- Supponiamo un carrello inizialmente in moto rettilineo uniforme a velocità V_0 . Il blocco è fermo sul carrello.
- All'istante $t=0$ il moto del carrello diventa uniformemente accelerato con accelerazione A a causa di una forza F applicata al carrello

👉 Fra blocco e carrello c'è attrito (statico e dinamico)

Che succede al blocco?

Punto di vista dell'osservatore sul carrello

Il blocco è soggetto a una forza apparente

$$\vec{F}_{app} = -m\vec{A}$$

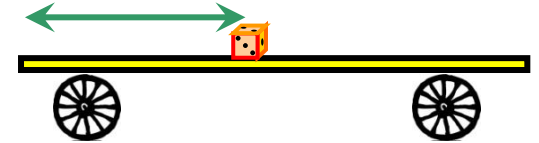
per cui resterà fermo se $|\vec{F}_{app}| < \mu_s mg \Rightarrow |\vec{A}| < \mu_s g$

altrimenti si muoverà rispetto al carrello di moto uniformemente accelerato

$$m\vec{a} = \vec{F}_{app} - \vec{F}_{attrito} \Rightarrow |\vec{a}| = A - \mu_d g$$

il segno davanti all'attrito dev'essere scelto in modo che l'attrito rallenti il moto

Se il carrello sta accelerando verso destra ($x > 0$)
e il blocco dista una distanza d dal bordo del vagone
cadrà da esso in un tempo



$$t^* = \sqrt{\frac{2d}{a}} = \sqrt{\frac{2d}{A - \mu_d g}}$$

*Notate che il denominatore non potrà mai essere zero:
infatti se il blocco si è mosso si deve avere per forza*



$$A > \mu_s g > \mu_d g \quad (\mu_s > \mu_d)$$

Punto di vista dell'osservatore al suolo

Nel riferimento **inerziale** terrestre il blocco si muove solo se c'è una vera forza che agisce su di esso

Il carrello applica al blocco una reazione d'attrito statico che assume il valore massimo

$$F_s = \mu_s mg$$

e affinché il blocco non scivoli questa forza deve imprimergli la stessa accelerazione A del carrello. Pertanto

$$m|A| \leq \mu_s mg \quad \Rightarrow \quad |A| \leq \mu_s g$$

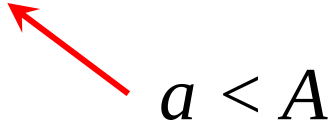
ossia lo stesso risultato ottenuto nel riferimento del carrello

Una volta in moto il blocco procede con accelerazione

$$ma = \mu_d mg \quad \Rightarrow \quad a = \mu_d g$$

mentre il carrello ha accelerazione $A > a$. Il blocco quindi resta indietro. Infatti:

$$X_{\text{bordo}}(t) = X_0 + V_0 t + \frac{1}{2} A t^2$$

$$x_{\text{blocco}}(t) = X_0 + d + V_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$


$a < A$

La caduta avviene quando

$$X_{\text{bordo}}(t^*) = x_{\text{blocco}}(t^*)$$

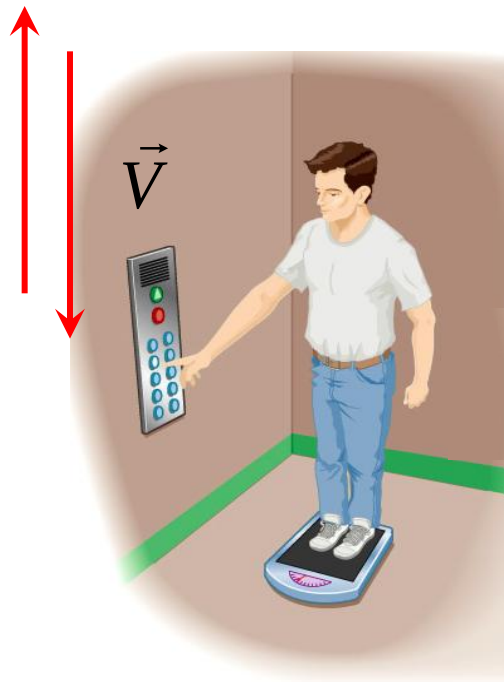
$$d = \frac{1}{2}(A - a)t^{*2} \quad \Rightarrow \quad t^* = \sqrt{\frac{2d}{A - \mu_d g}}$$

- Si ottiene lo stesso risultato di prima
- ma è più semplice e rapido ragionare nel riferimento non inerziale del carrello

Ascensori

Ascensore che sale o scende
a $\vec{V}$ =costante

- riferimento inerziale
- tutto appare normale

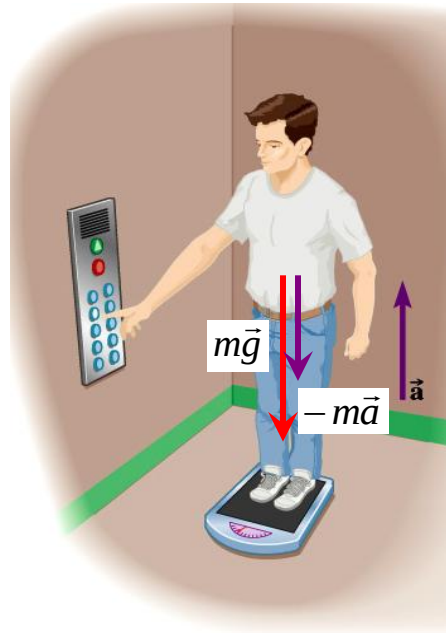


il peso è
quello misurato
a terra

Ascensore che **sale** con
accelerazione costante ***a***

- riferimento non inerziale
- gli oggetti appaiono più pesanti

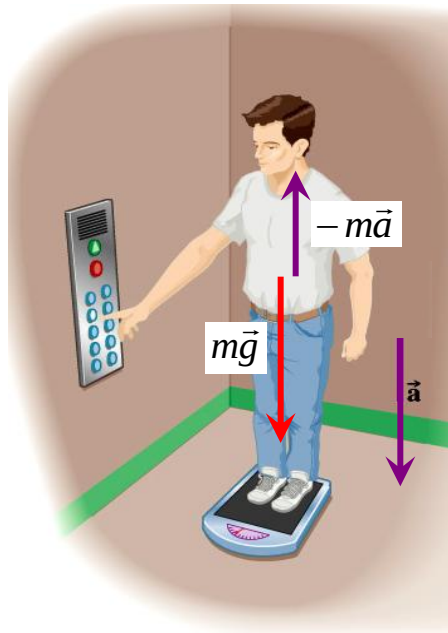
$$\vec{F}_{\text{app}} = -m\vec{a}$$



*nel riferimento
dell'ascensore la molla
della bilancia deve esercitare
una forza supplementare
 $F_{\text{app}} = m|a|$*

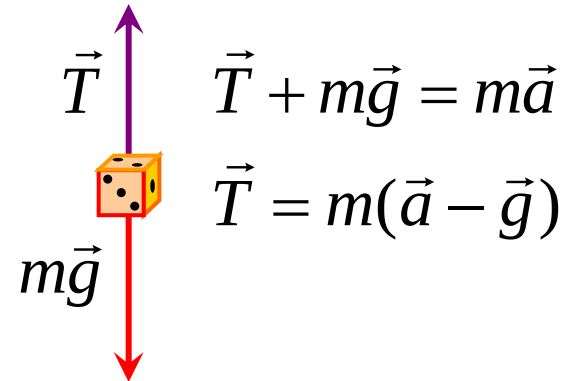
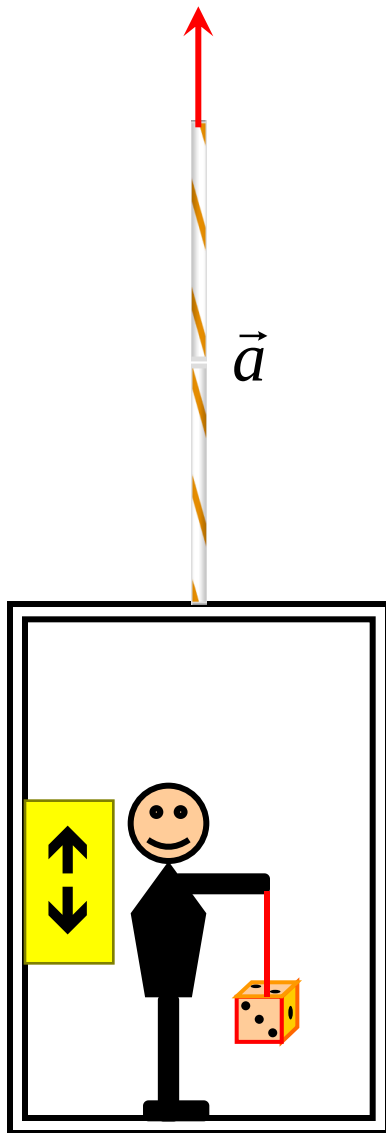
Ascensore che **scende** con
accelerazione costante **a**

- riferimento non inerziale
- gli oggetti appaiono più leggeri



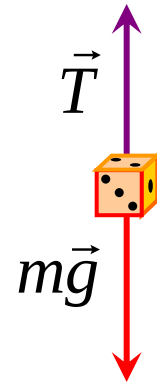
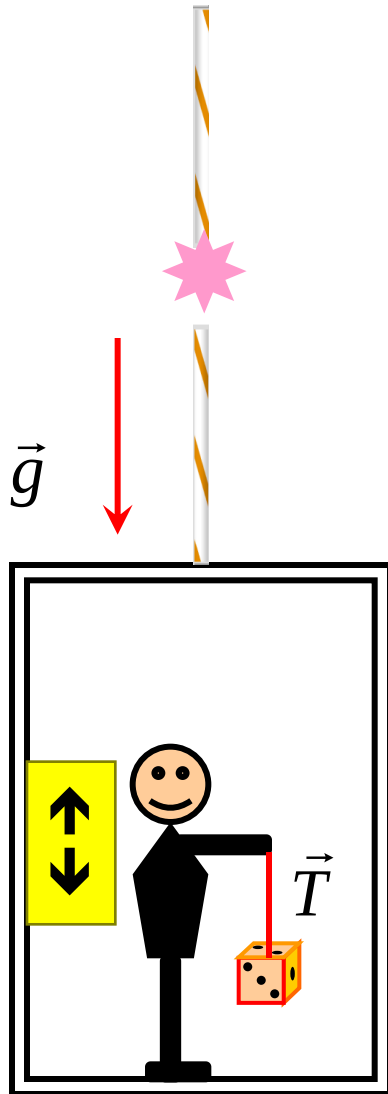
*nel riferimento
dell'ascensore la molla
della bilancia deve esercitare
una forza ridotta di*
 $F_{\text{app}} = m|a|$

ragionando nel riferimento terrestre



→ il peso che sente l'omino è

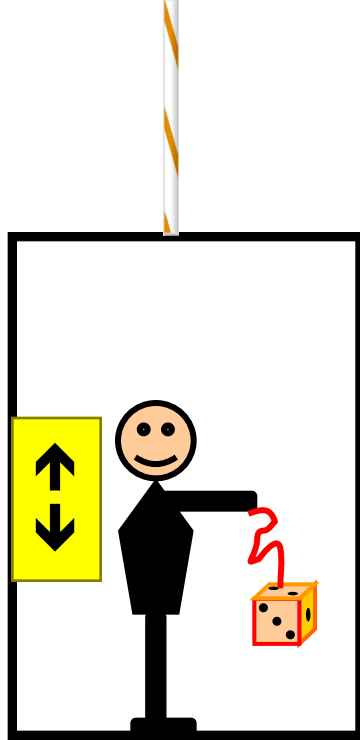
$$|\vec{T}| = m|\vec{a} - \vec{g}|$$



$$\vec{T} + m\vec{g} = m\vec{g}$$

$$\Rightarrow \vec{T} = 0$$

- ➔ condizioni di assenza di peso
- ➔ il riferimento è in caduta libera



Qualunque sistema di riferimento che si muove liberamente sotto l'effetto della forza di gravitazione presenta il fenomeno dell'assenza di peso.

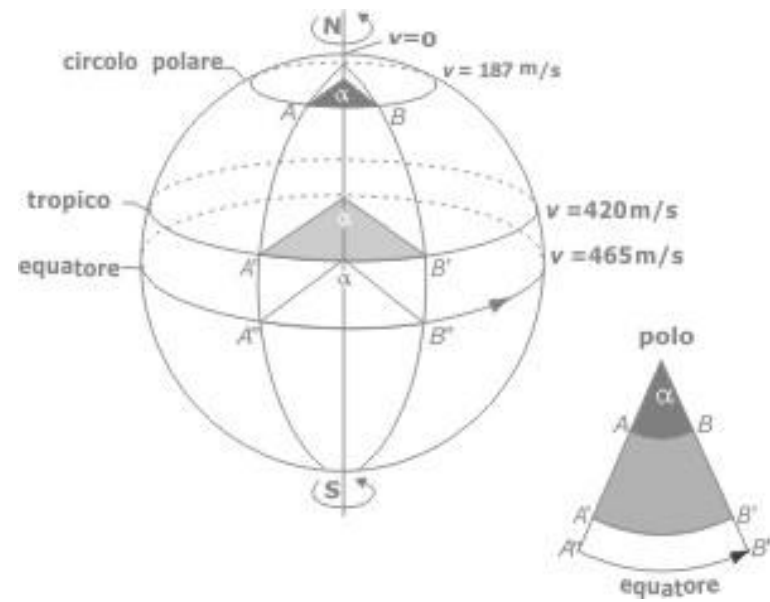
Per questo motivo gli astronauti su una navicella spaziale a motori spenti sono senza peso

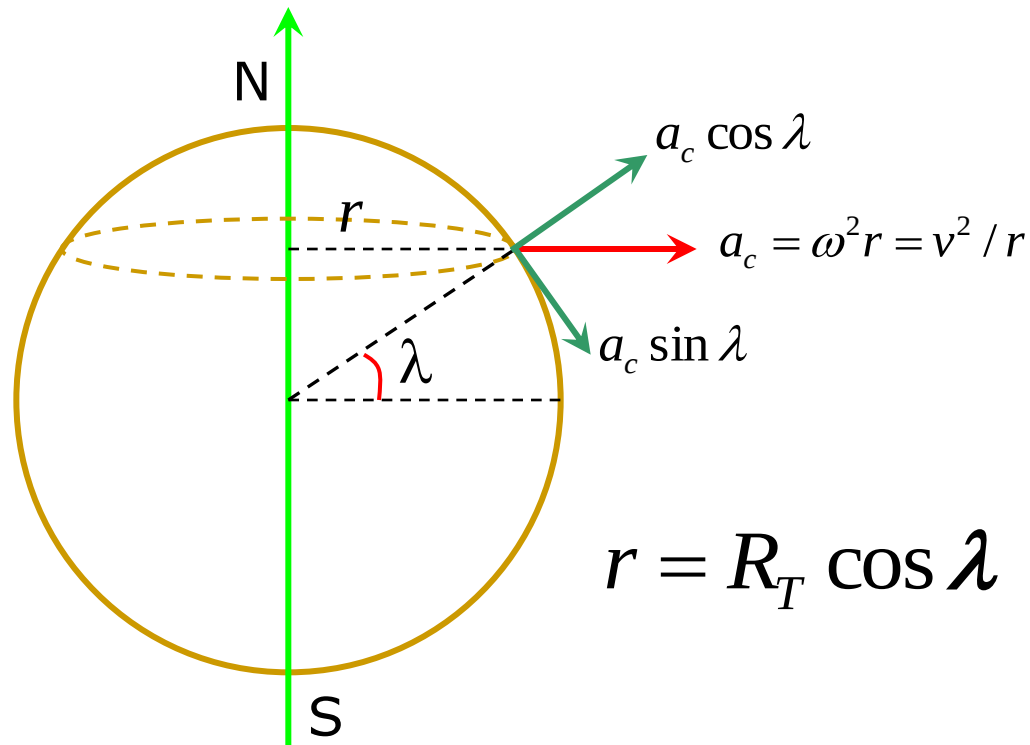
*Senza peso non vuol dire senza massa:
provi un astronauta a dare un calcio a un
mattone di piombo !*

Il riferimento terrestre



dato che la terra ruota non è inerziale  $a = \omega^2 r$





- forza centripeta: diretta verso l'asse terrestre
- forza apparente centrifuga: diretta in verso opposto



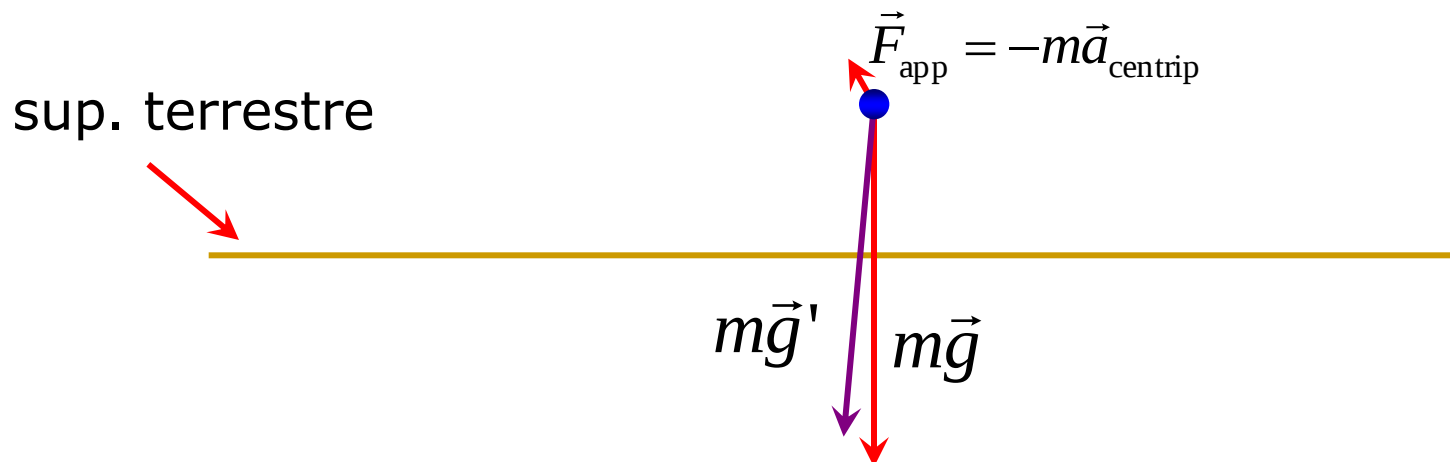
schacciamento della terra ai poli

A Roma $\lambda = 42^\circ$ $r=4756$ km

$$\omega = 2\pi/86400 = 7,3 \cdot 10^{-5} \text{ rad/s}$$

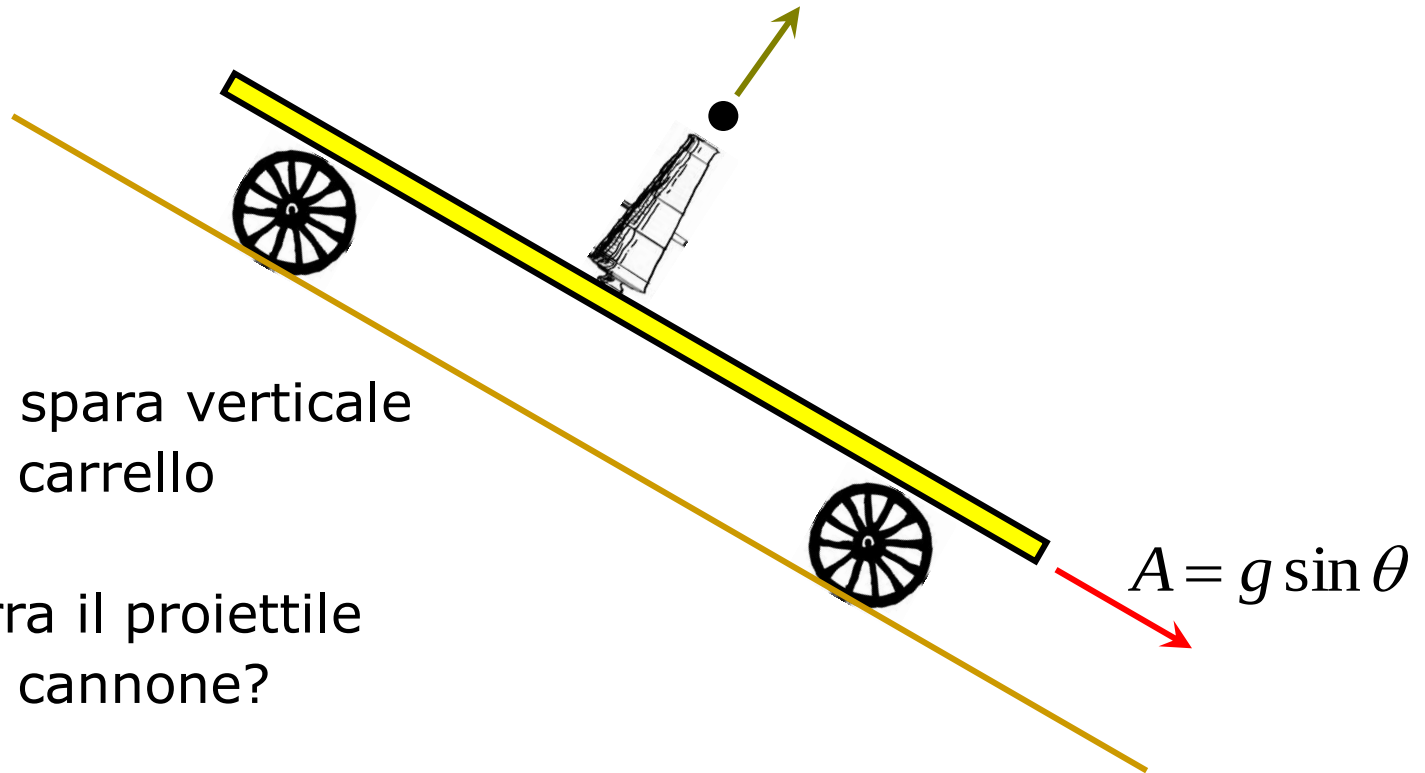
 $a = \omega^2 r = 0,025 \text{ m/s}^2$

Dato che sia la forza peso che la forza apparente sono proporzionali alla massa l'effetto si riduce a una piccola modifica del vettore $\vec{g}$ in direzione e modulo



Appendice

Una caduta libera non pericolosa

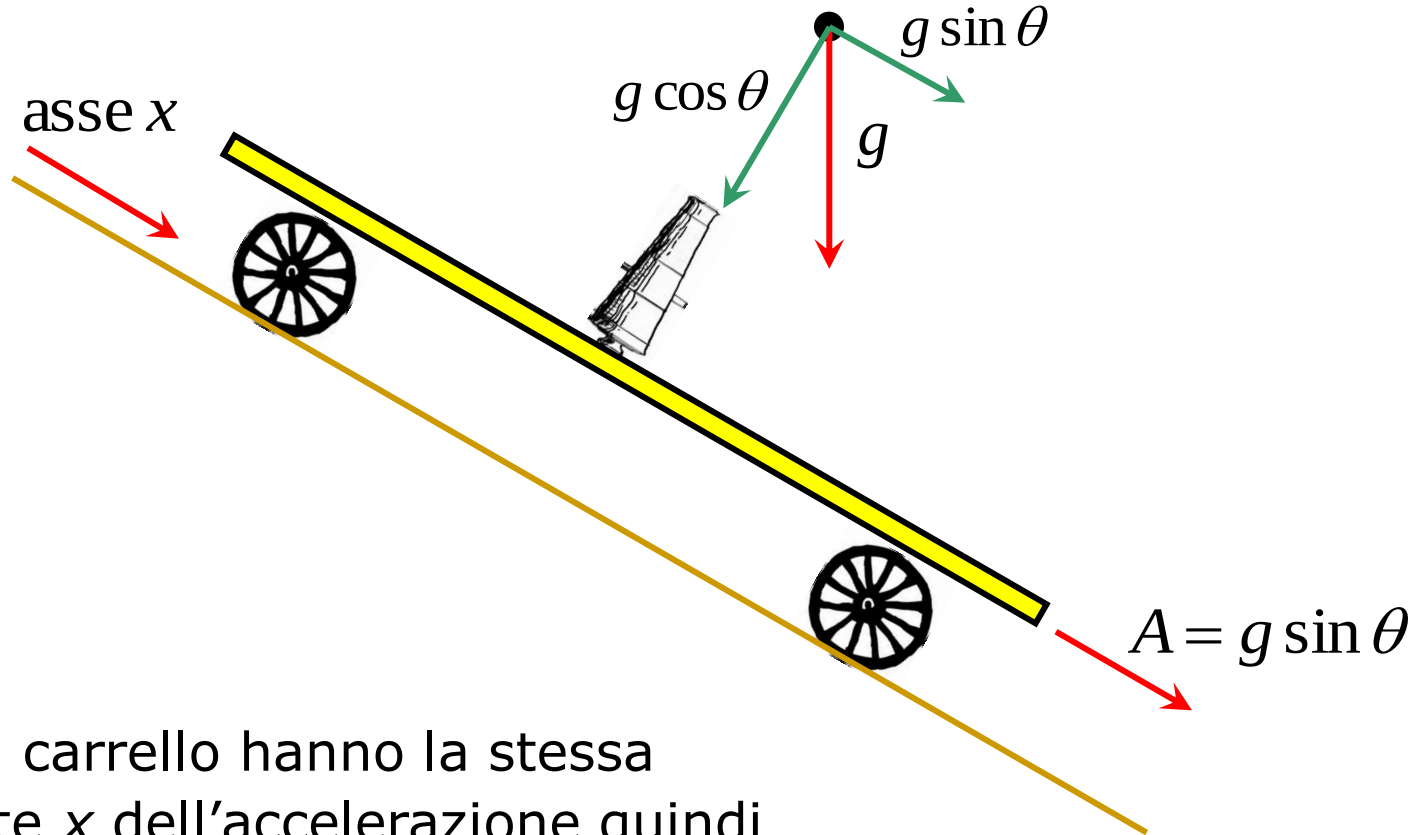


il cannone spara verticale
rispetto al carrello

dove atterra il proiettile
rispetto al cannone?

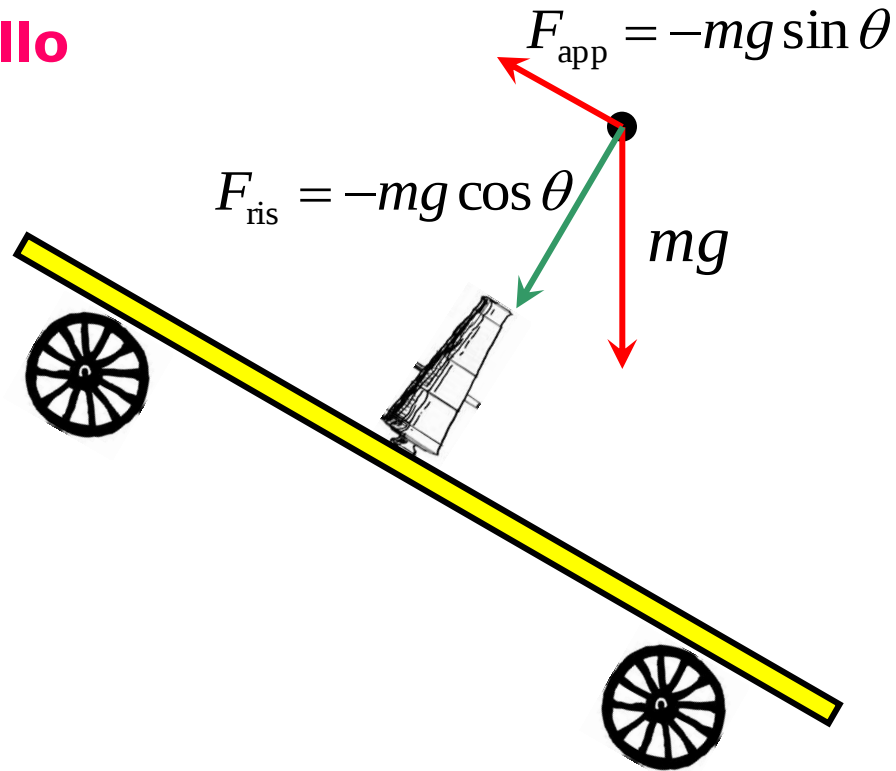
1. indietro
2. davanti
3. ricade sul cannone

Visto da terra



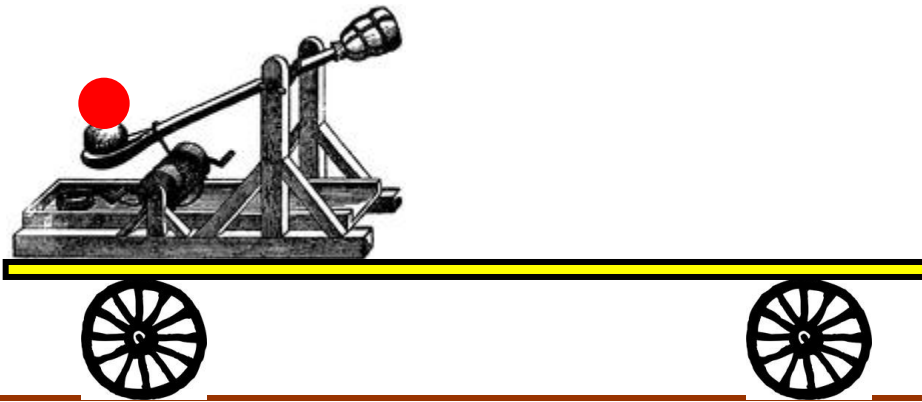
la palla e il carrello hanno la stessa
componente x dell'accelerazione quindi
la palla ricadrà sul cannone

Visto dal carrello



La risultante della forza peso e della forza apparente è perpendicolare alla piattaforma del carrello e diretta verso di esso. La palla sale e poi ricade sul cannone

Che succede se il carrello accelera?



Per chi sta sul carrello è come se ci fosse una forza apparente orizzontale che spinge il proiettile all'indietro

$$\vec{F}_{\text{app}} = -m\vec{A}$$