

# **FISICA GENERALE I**

**Docente: Prof. G. Carboni**  
**[giovanni.carboni@cern.ch](mailto:giovanni.carboni@cern.ch)**

**Esercitatore: Dott. R. Petrillo**  
**[roberto.petrillo@roma2.infn.it](mailto: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*

# **I COMPITO DI ESONERO**

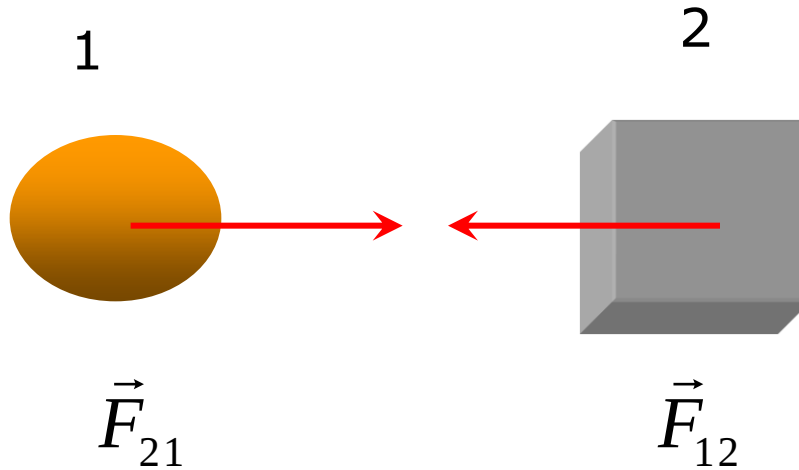
Cognomi A-H 17 Aprile

Cognomi I-Z 18 Aprile

Ore 11 aula 18

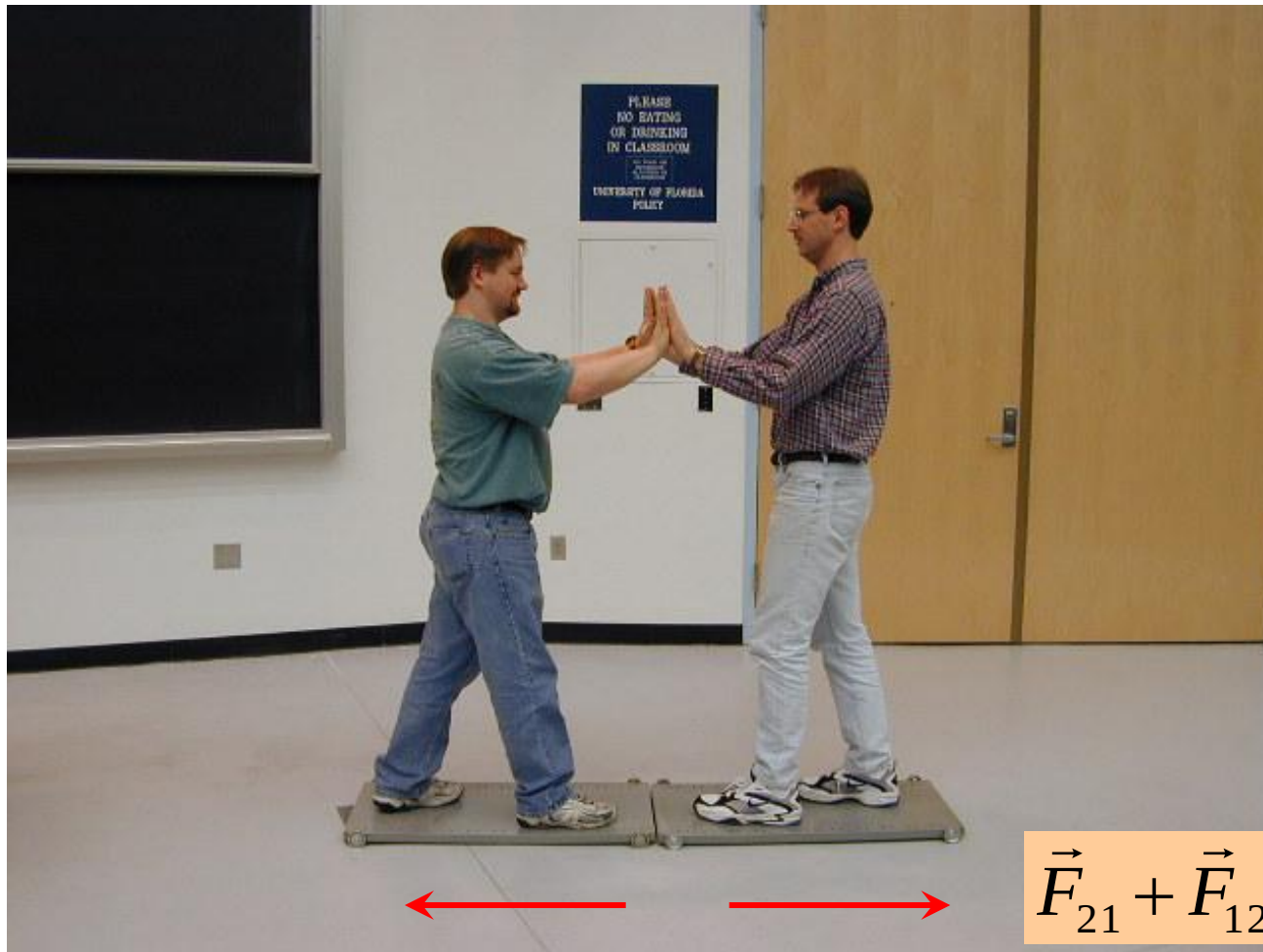
senza  $\frac{1}{4}$  d'ora accademico!

### III principio o principio di azione e reazione

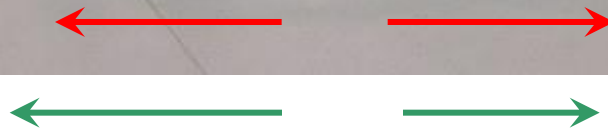


$$\vec{F}_{21} + \vec{F}_{12} = 0$$

- Ad ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria

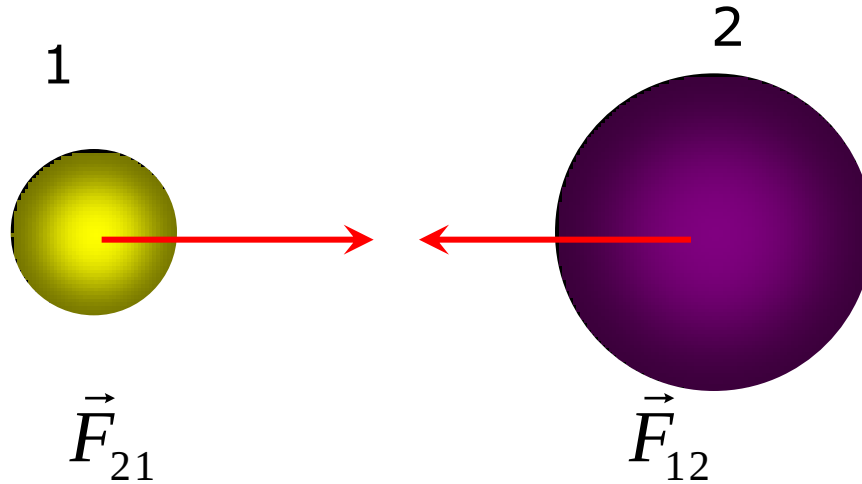


$$\vec{a}_1 + \vec{a}_2 \neq 0$$



$$\vec{F}_{21} + \vec{F}_{12} = 0$$

### III principio o principio di azione e reazione



$$\left| \vec{F}_{12} \right| = \left| \vec{F}_{21} \right| = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

è evidente in modo automatico nella gravitazione

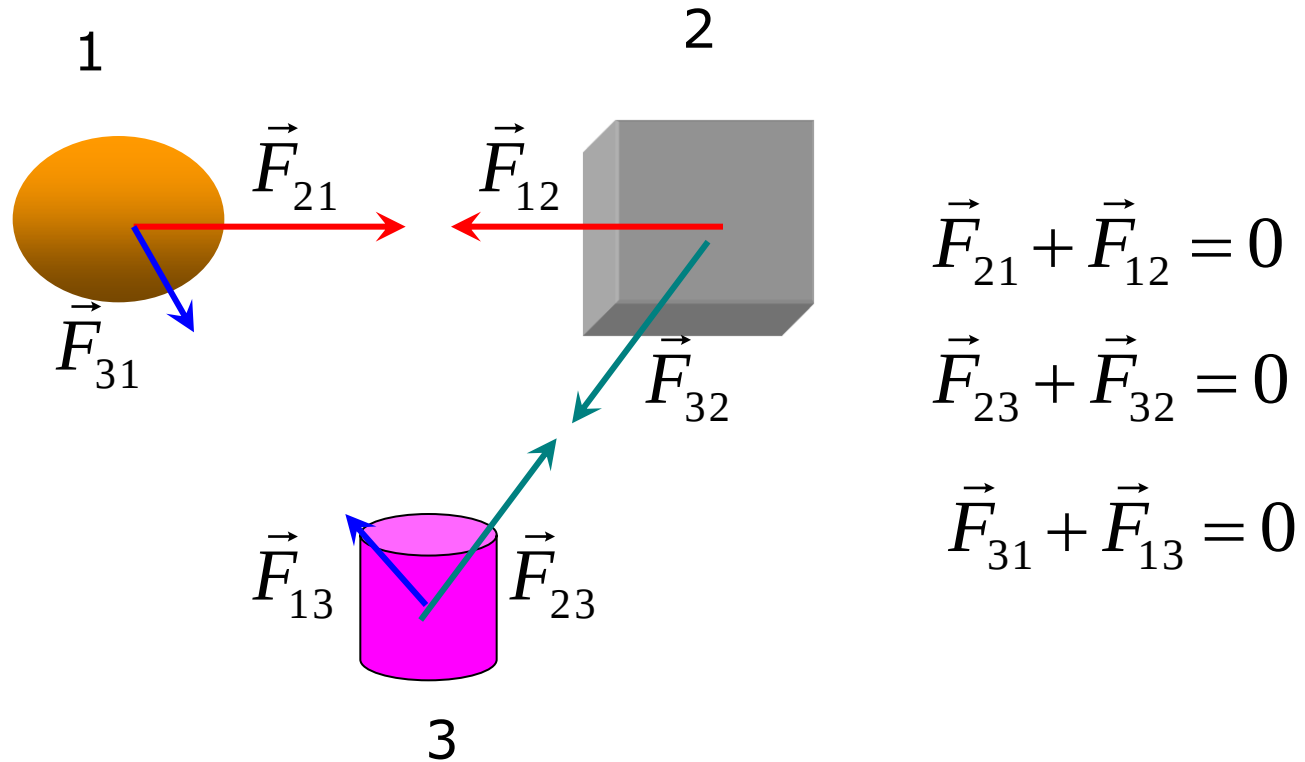
Non vuol dire che i due corpi si muovono nello stesso modo:

quello di massa minore ha un'accelerazione maggiore  
e viceversa

Per questo possiamo dire che la Terra sta ferma e la Luna  
gira intorno ad essa

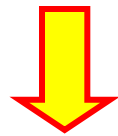
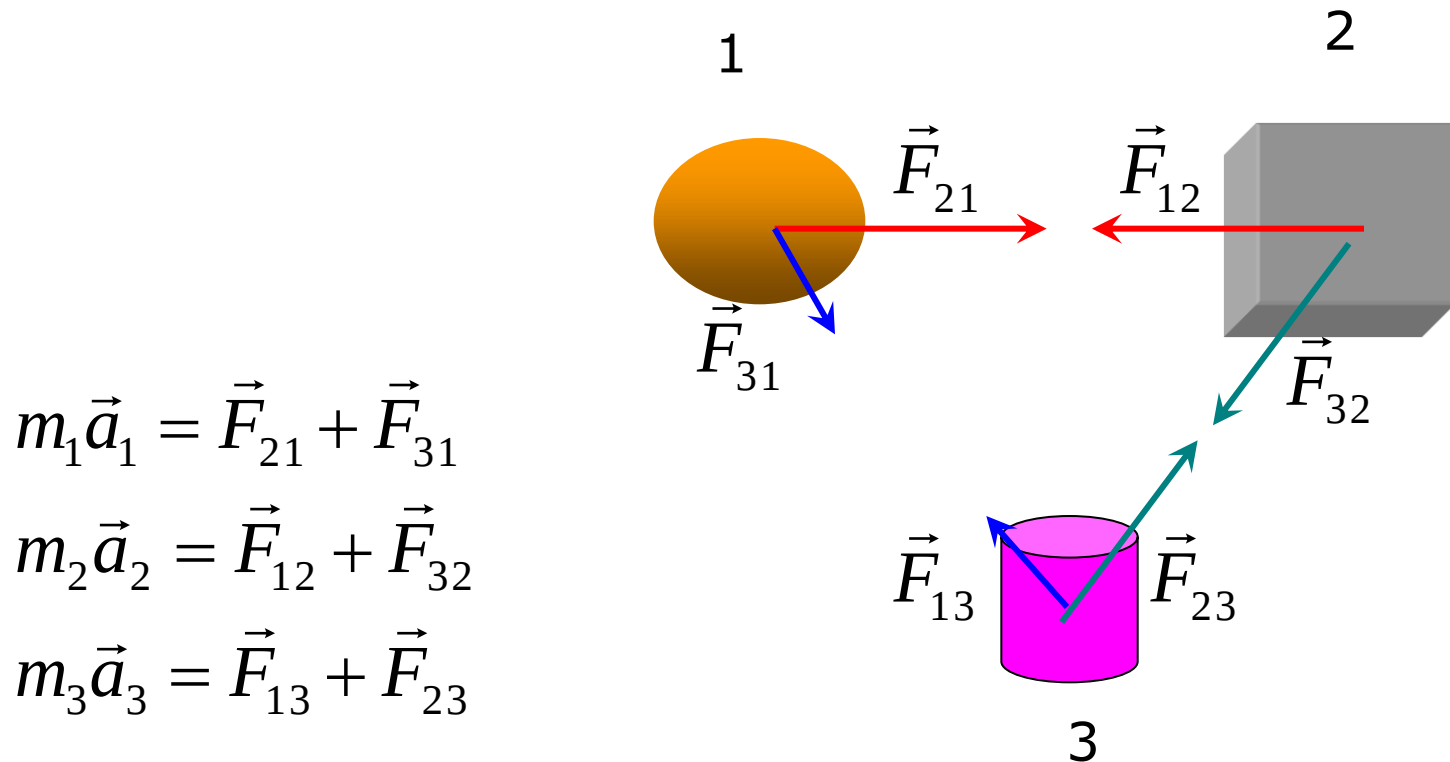
Oppure che il Sole sta fermo e i pianeti gli ruotano intorno.

- La risultante delle forze (interne) in un sistema isolato è nulla



$$\vec{F}_{\text{tot}} = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{12} + \vec{F}_{23} + \vec{F}_{32} + \vec{F}_{31} + \vec{F}_{13} = 0$$

- La risultante delle forze (interne) in un sistema isolato è nulla



$$m_1 \vec{a}_1 + m_2 \vec{a}_2 + m_3 \vec{a}_3 = \sum \vec{F}_{\text{int}} = 0$$

## Quantità di moto

Definiamo la quantità di moto di una particella

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

Possiamo riscrivere la II legge di Newton come

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad \text{infatti} \quad \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$$

La quantità di moto di un sistema di particelle  
è semplicemente la somma

$$\vec{P} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 \dots = \sum_i \vec{p}_i$$

e quindi

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = m_1 \vec{a}_1 + m_2 \vec{a}_2 \dots = \sum_i \vec{F}_i$$

## Conservazione della quantità di moto

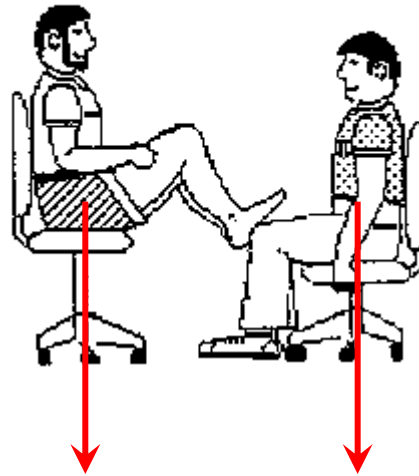
Per un sistema isolato, quindi non soggetto a forze esterne, la risultante di tutte le forze interne è zero.

Pertanto

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = 0 \quad \Rightarrow \quad \vec{P} = \text{costante}$$

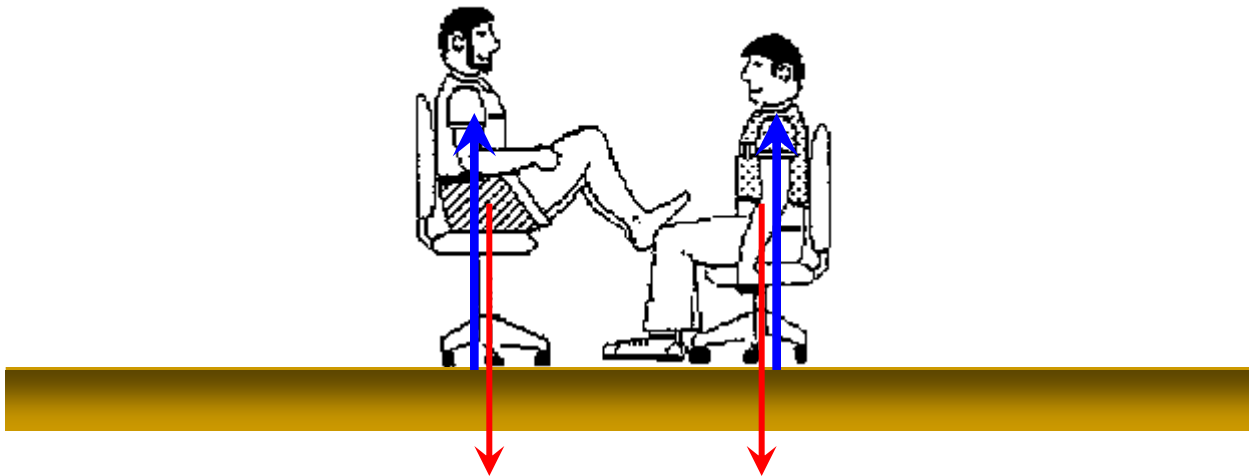
➔ Si tratta della più importante conseguenza del principio di azione e reazione, che rimane valido anche al di là della meccanica classica.

Una conseguenza importante del carattere vettoriale del III principio è che lo si può applicare anche in casi in cui il sistema non è isolato

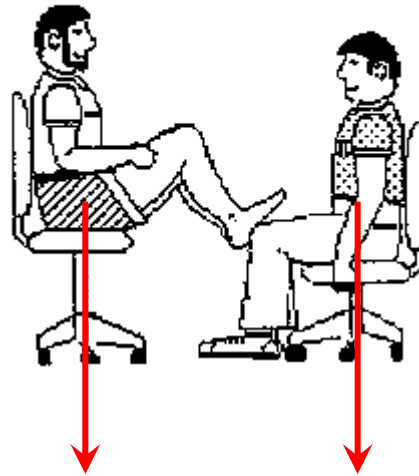


$$\vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{g}$$

Qui di potrebbe obiettare che in realtà i due è come se fossero isolati in quanto la reazione del pavimento equilibra la forza peso



Ma se il pavimento mancasse?



$$\vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{g}$$

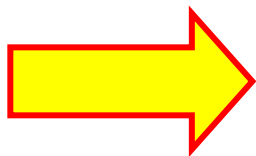
$$m_1 \vec{a}_1 = \vec{F}_{21} + m_1 \vec{g}$$

$$m_2 \vec{a}_2 = \vec{F}_{12} + m_2 \vec{g}$$

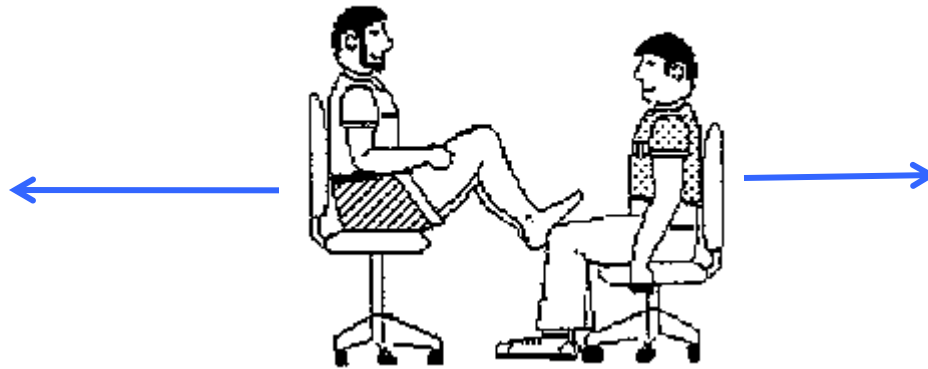
$$m_1 \vec{a}_1 + m_2 \vec{a}_2 = \cancel{\vec{F}_{21} + \vec{F}_{12}} + m_1 \vec{g} + m_2 \vec{g}$$

Scegliendo l'asse z lungo la verticale abbiamo  
lungo x

$$m_1 a_{1x} + m_2 a_{2x} = 0$$

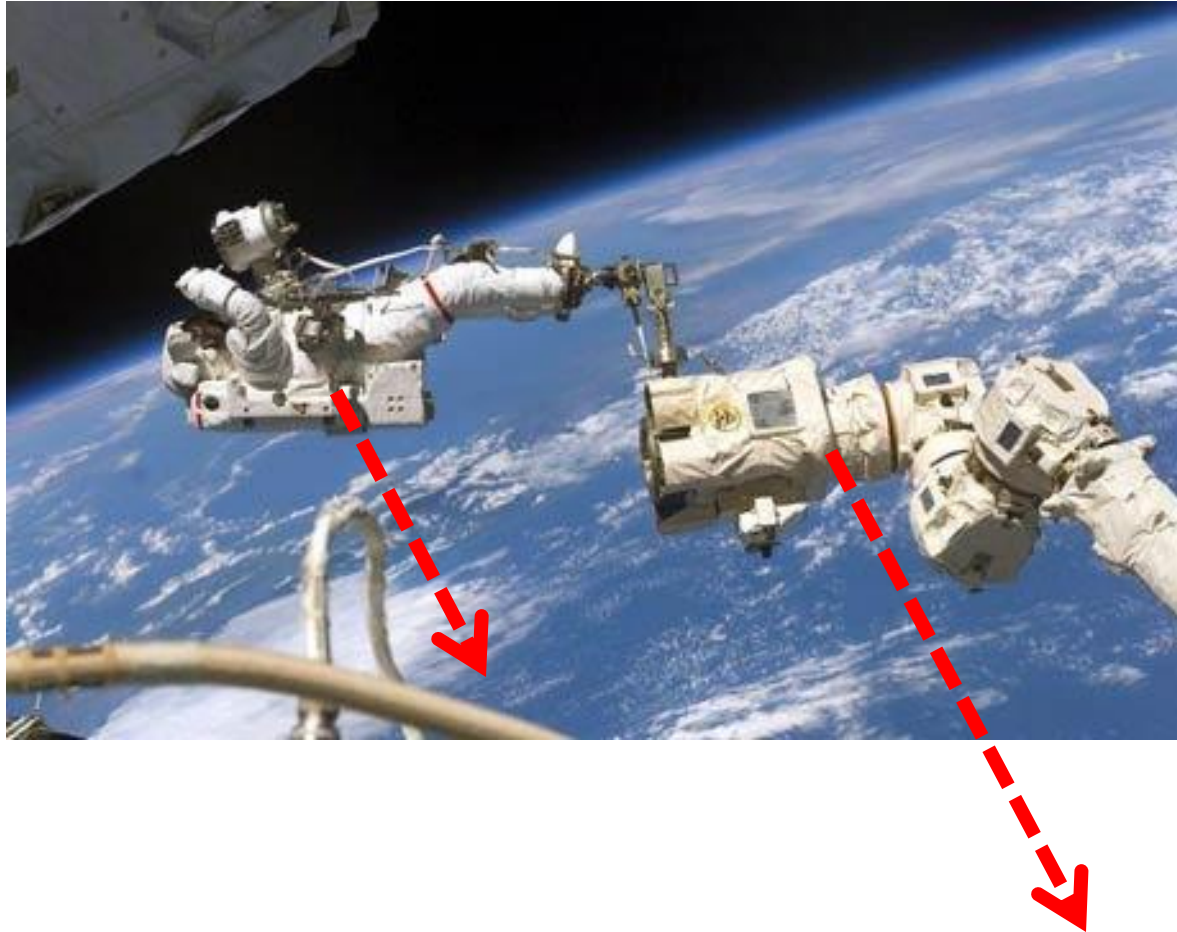


si conserva la componente x di  $\vec{P}$



$$0 = p_{1x} + p_{2x} = m_1 V_{1x} + m_2 V_{2x}$$

$$V_{1x} = -\frac{m_2}{m_1} V_{2x} \quad V_{2x} = -\frac{m_1}{m_2} V_{1x}$$



## L'omino sul lago ghiacciato

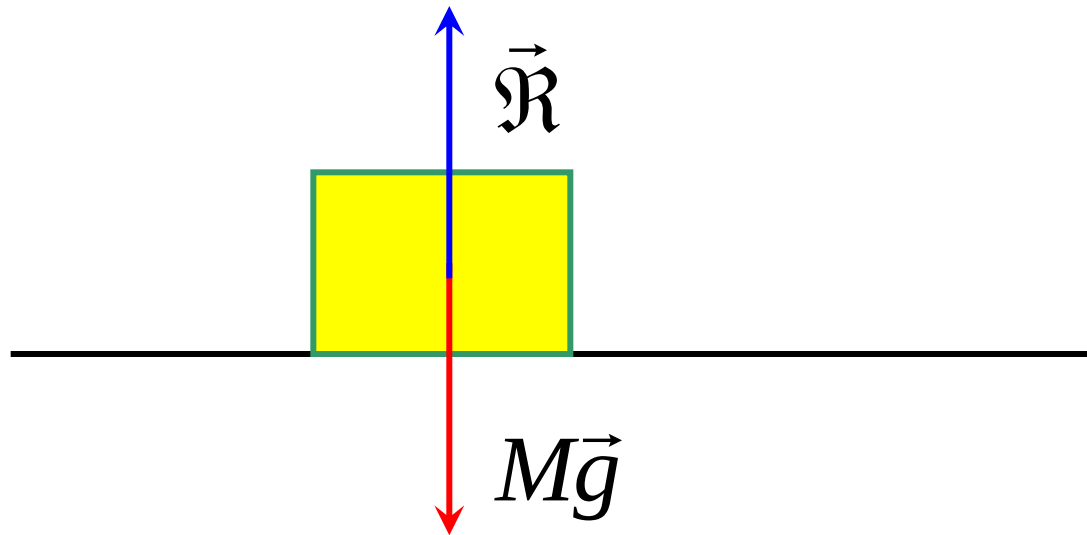
$$\vec{P} = 0 \quad (\text{omino fermo})$$

Come esce?

Ammettiamo che il ghiaccio sia talmente liscio che non esistano forze esterne lungo l'orizzontale (in verticale c'è il peso e la reazione del ghiaccio che lo equilibra ma queste non lo fanno muovere in orizzontale)



## Le reazioni vincolari



Il corpo è fermo in equilibrio

$$\vec{\mathfrak{R}} + M\vec{g} = 0 \quad \Rightarrow \quad \vec{\mathfrak{R}} = -M\vec{g}$$

$\vec{\mathfrak{R}}$  si chiama reazione vincolare

Chiamiamo  $\Re$  reazione vincolare perché il pavimento costituisce un vincolo al movimento della cassa (il corpo deve stare da una parte del pavimento)

Vincoli ce ne sono infiniti

- ostacoli
- corde
- guide
- binari ecc.

Si chiama reazione: come c'entra il principio di azione e reazione?

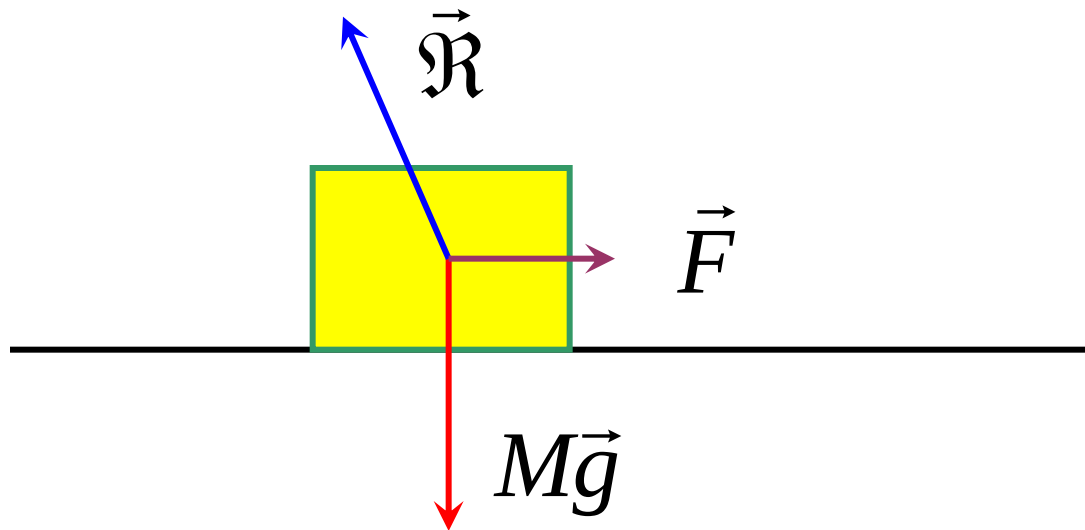
- Azione e reazione si esercitano sul sistema cassa-Terra
- La reazione  $\mathfrak{R}$  non c'entra col III principio: è creata dal pavimento per non farsi attraversare

Tuttavia, per il III principio. dato che il pavimento esercita una forza  $\mathfrak{R}$  sulla cassa questa deve esercitare una forza  $-\mathfrak{R}$  sul pavimento

*Quindi la cassa esercita sul pavimento la forza  $-\mathfrak{R} = M\mathbf{g}$*

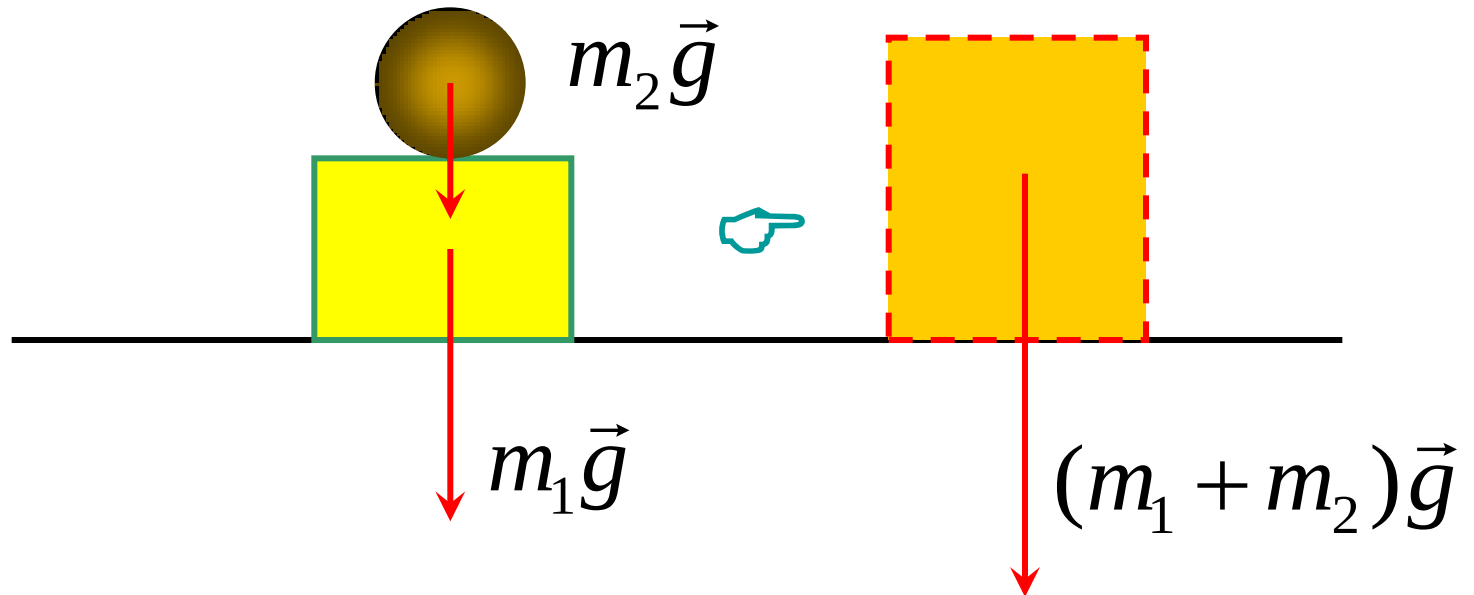
La reazione vincolare in questo caso

- è normale al piano (vincolo)
- certi vincoli possono solo esercitare reazioni normali: chiamiamo questi **vincoli lisci**
- i vincoli **lisci**, come suggerisce il nome, non possono frenare un corpo (produrre **attrito**). Per farlo occorre una reazione non normale



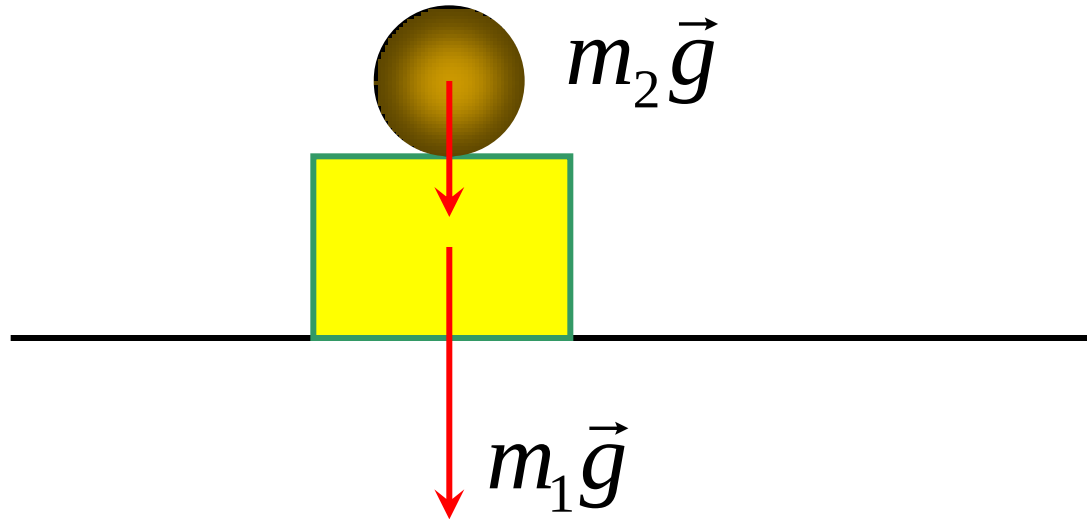
## Automatismo della reazione vincolare

La reazione vincolare inoltre si adatta automaticamente alla forza



$$\vec{\mathcal{R}} = -(m_1 + m_2) \vec{g}$$

Il corpo 1 funge da vincolo per 2



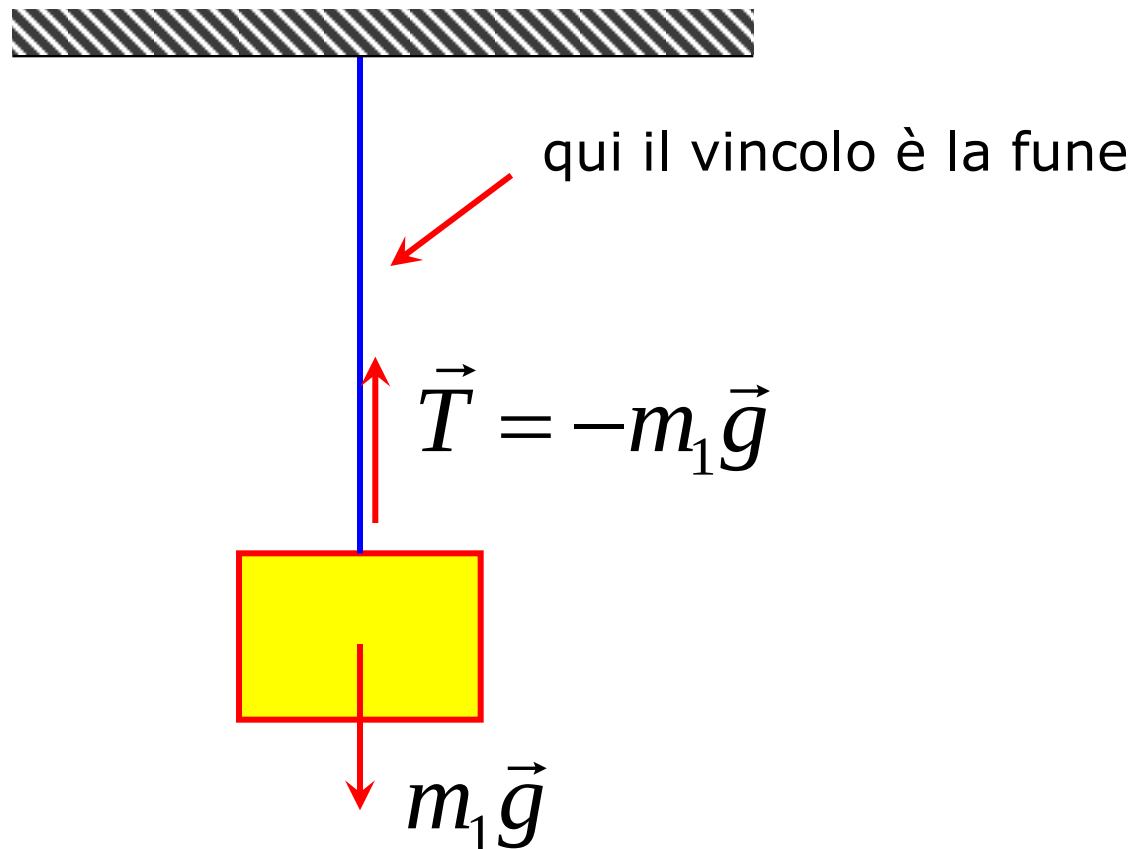
$$\vec{\mathcal{R}}' = -m_2 \vec{g}$$

Su 1 agiscono le forze

$$m_1 \vec{g} + (-\vec{\mathcal{R}}') + \vec{\mathcal{R}} = m_1 \vec{g} + m_2 \vec{g} - (m_1 + m_2) \vec{g} = 0$$

come c'era da aspettarsi

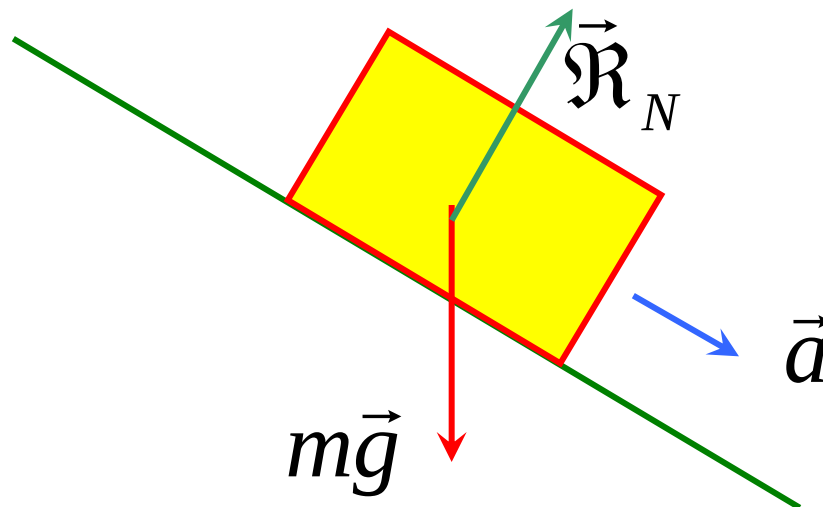
La reazione vincolare è una vera forza che dev'essere prodotta dal vincolo: se il vincolo non è in grado di produrla significa che si rompe



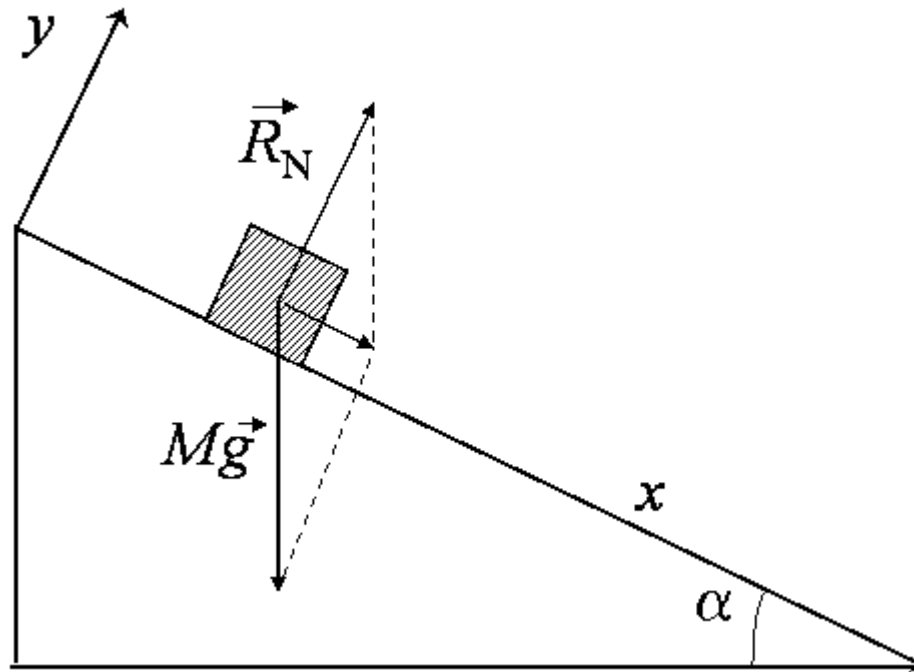
## Reazione vincolare su corpi in movimento

In questo caso la reazione si combina con le altre forze in gioco sul corpo per obbligarlo a seguire una traiettoria compatibile con il vincolo

Se il vincolo è **liscio** la reazione al solito può svilupparsi solo perpendicolarmente allo stesso

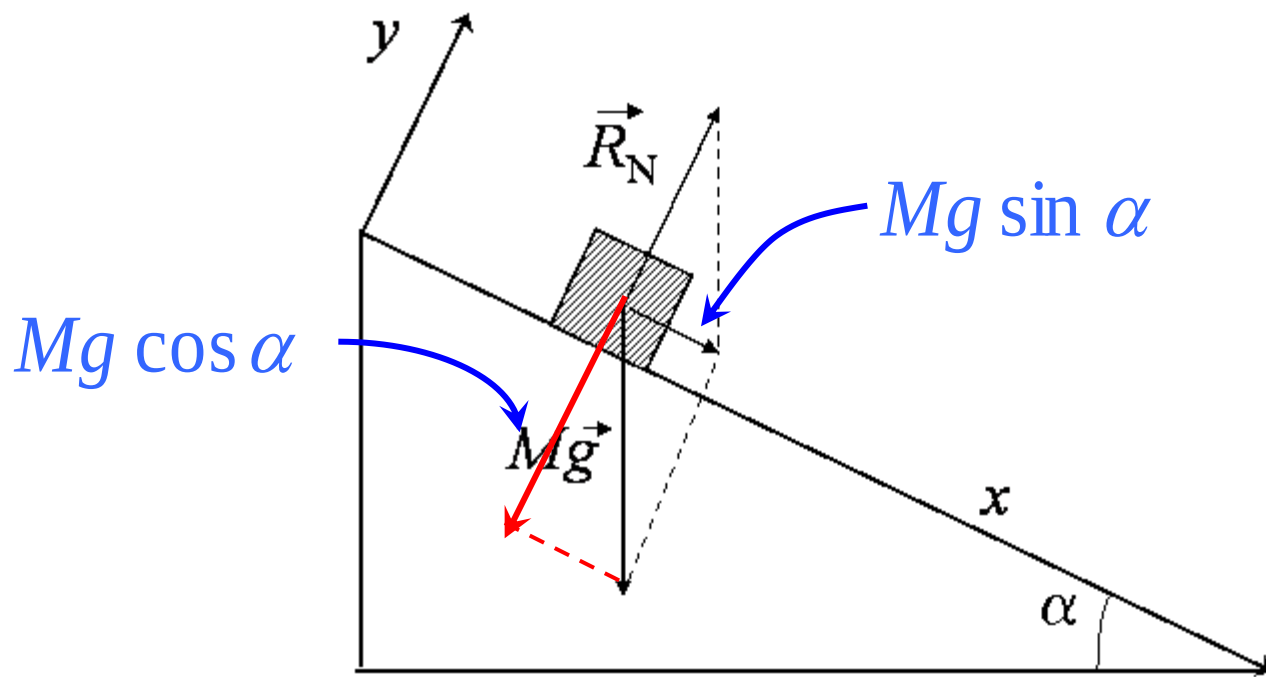


## Il piano inclinato liscio



Piano liscio  $\rightarrow$  reazione vincolare normale

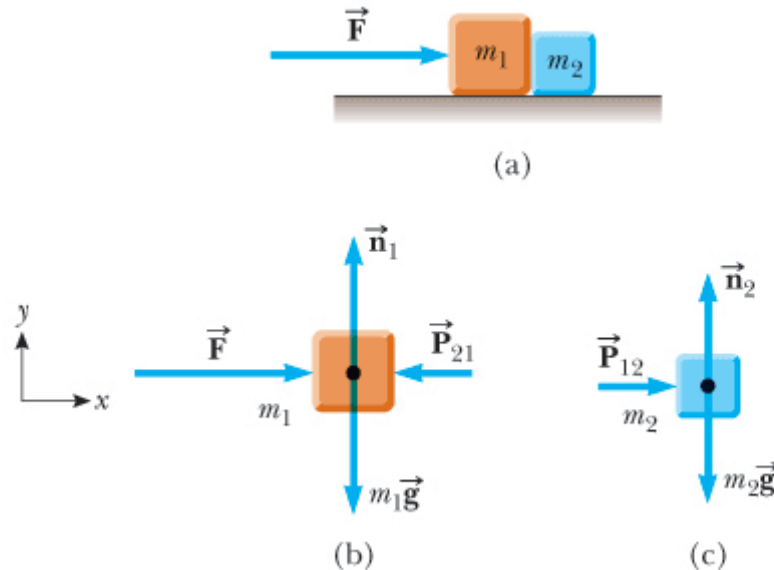
$$\vec{R}_N + m\vec{g} = m\vec{a} \quad \textbf{a} \text{ dev'essere parallela all'asse } x$$



$$a_x = g \sin \alpha$$
$$a_y = 0$$

Uniformemente  
accelerato

In questo esempio sono in gioco varie reazioni vincolari

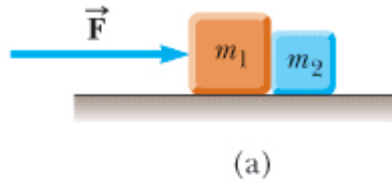


Il piano esercita le reazioni normali  $\vec{n}_1, \vec{n}_2$

*non ci interessano  
più di tanto*

Inoltre 1 esercita una reazione  $\vec{P}_{12}$  su 2 mentre  
2 esercita una reazione  $\vec{P}_{21} = -\vec{P}_{12}$ , Queste  
sono normali ai lati dei blocchetti

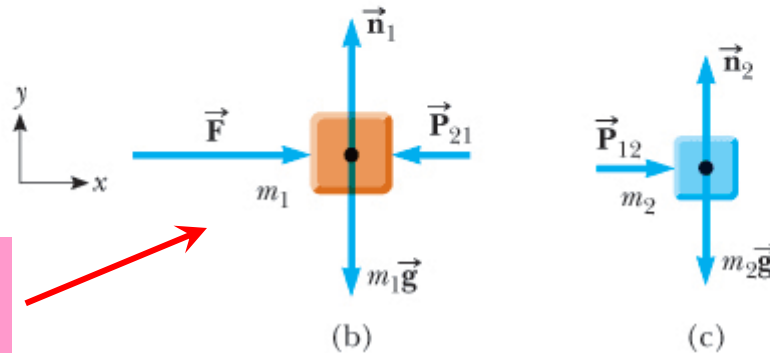
Chiamiamo  $P$  il modulo di  $\vec{P}_{12}$



$$m_1 a_1 = F - P$$

$$m_2 a_2 = P$$

$$a_1 = a_2 \equiv a$$



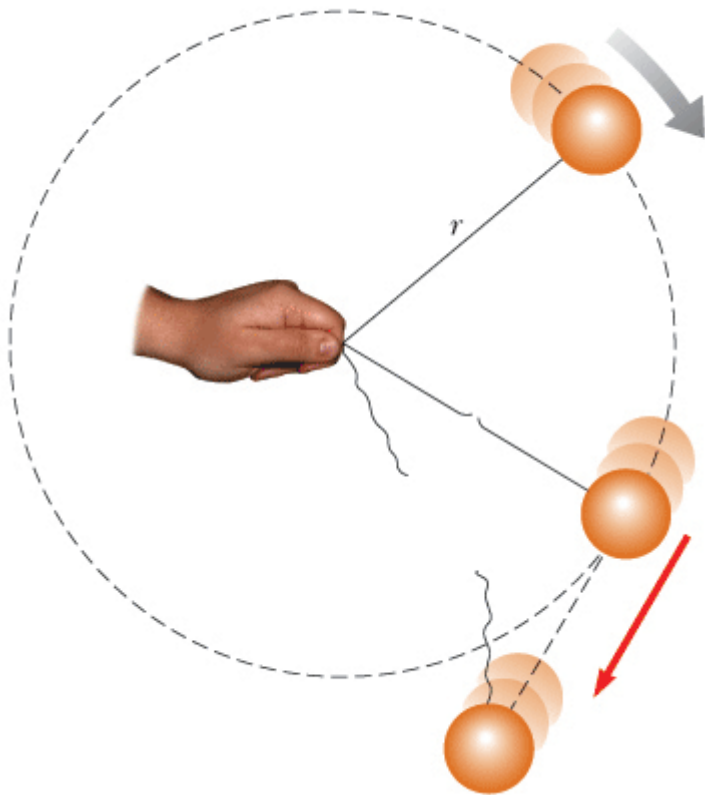
diagrammi di  
corpo libero

Sommando le due otteniamo  $(m_1 + m_2)a = F$

Come c'era da aspettarsi l'insieme dei due blocchi si presenta come un unico blocco di massa  $m_1 + m_2$

In casi come questo come definire la normale al vincolo?

Più esattamente dovremmo dire che la reazione di un vincolo liscio è normale alla traiettoria che il corpo è costretto a seguire

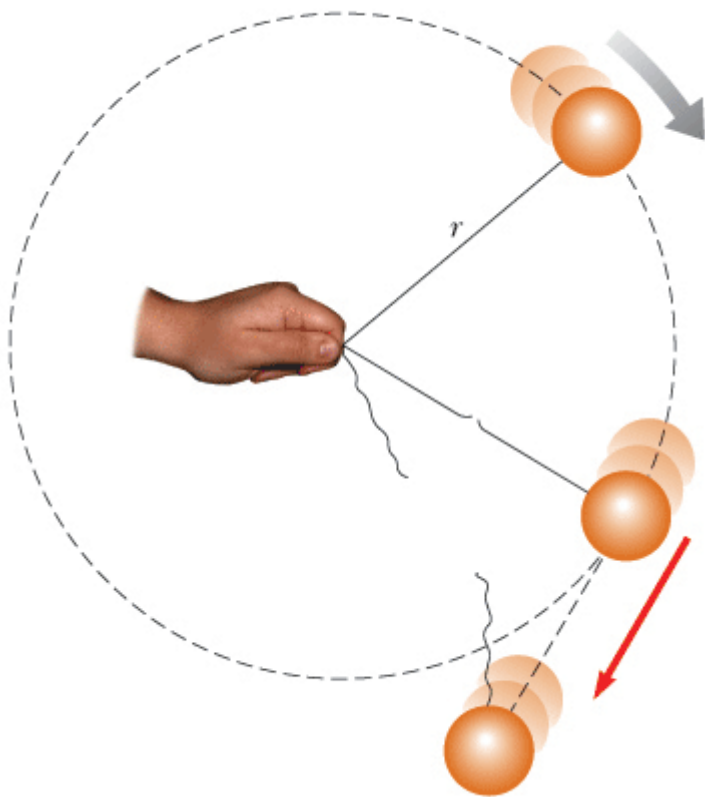


Il filo è un vincolo liscio perché la sua reazione è lungo il filo e quindi normale al cerchio

Questa definizione contiene anche i casi precedenti in cui la traiettoria è lungo il piano

## Esempio 1: la palla ruota nel piano orizzontale

La reazione del vincolo è l'unica forza in gioco in questo piano



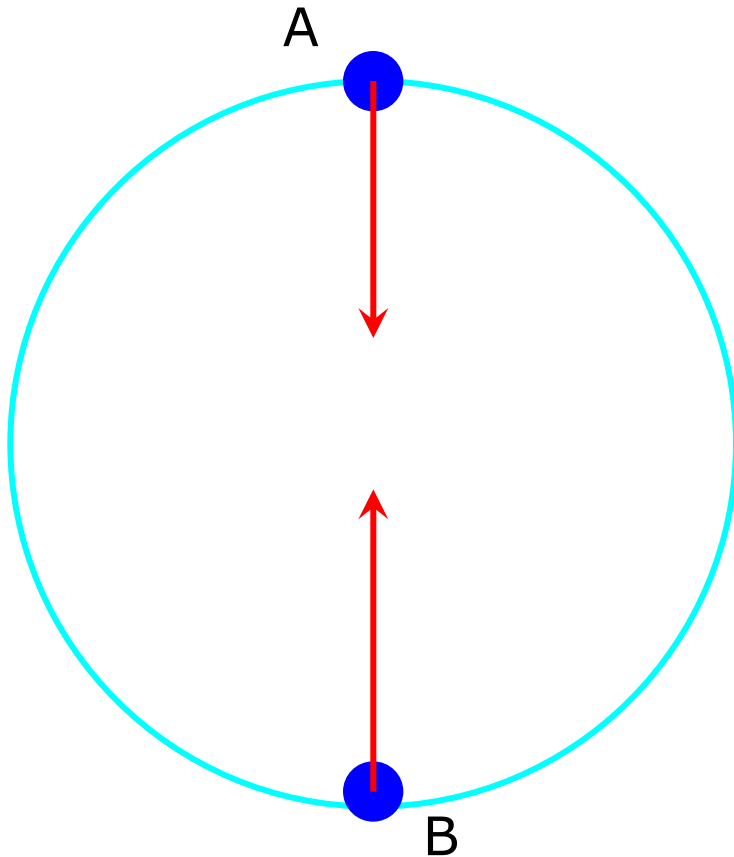
Dato che la traiettoria è un cerchio la reazione deve fornire da sola la forza centripeta

$$T = m \frac{v^2}{R}$$

Se  $v^2$  è troppo grande il vincolo si rompe

## Esempio 2: la palla ruota nel piano verticale

La reazione del vincolo si somma vettorialmente alla forza peso diretta verso il basso



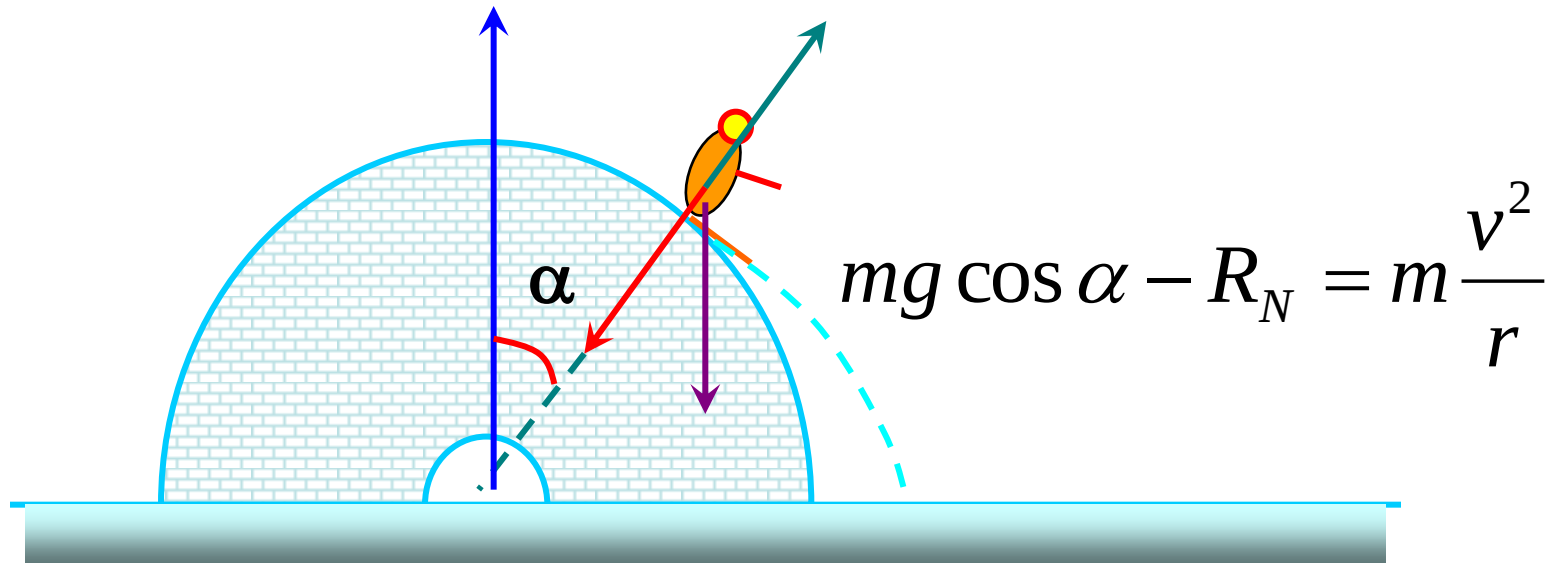
Entrambe devono fornire la forza centripeta necessaria

$$T_A + mg = m \frac{V_A^2}{R}$$

$$T_B - mg = m \frac{V_B^2}{R}$$

Che succede  
se  
 $g > V_A^2/R$  ?

## Eschimesino scivola su igloo

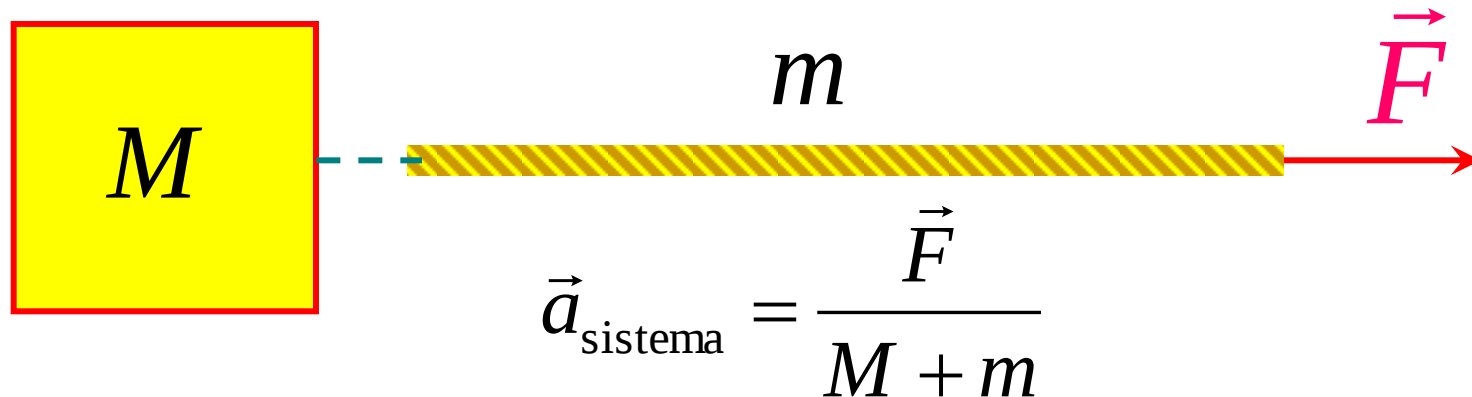


$$R_N = mg \cos \alpha - m \frac{v^2}{r}$$

Quando  $R_N = 0$  che succede?

## Corde

Abbiamo già visto che le corde sono vincoli se sono tese

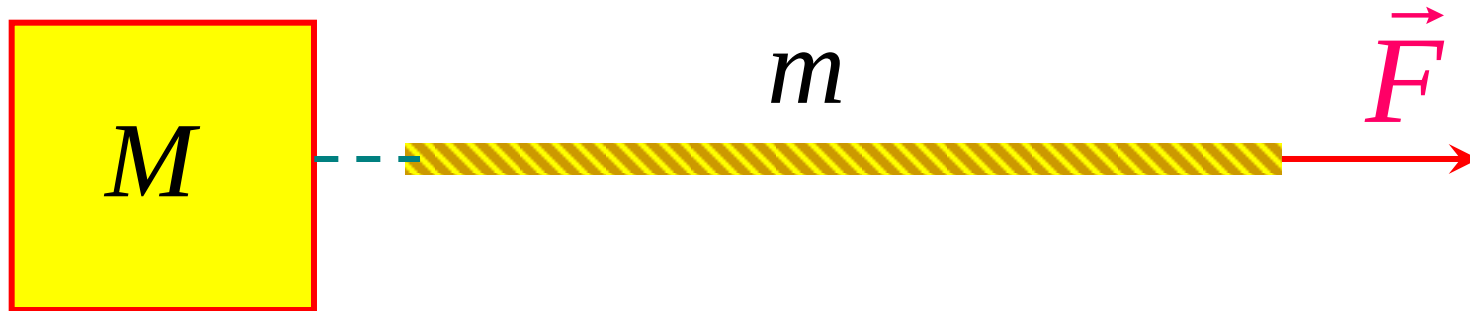


Perché questo avvenga la corda deve applicare al corpo  $M$  una forza

$$\vec{T} = M\vec{a}_{\text{система}} = \frac{M}{M + m} \vec{F}$$

## Corda ideale

- inestensibile
- $m=0$



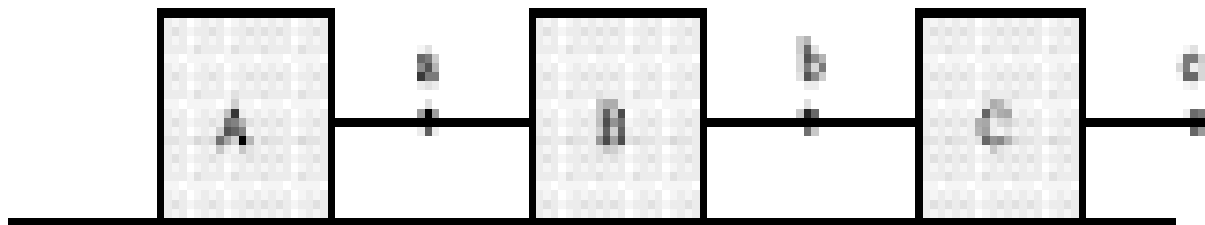
In questo caso la corda applica a  $M$  tutta la forza  $\vec{F}$

Se potessimo misurare la forza in un punto qualunque della corda troveremmo sempre  $\vec{F}$

Chiamiamo **Tensione** il modulo di  $F$

## Proprietà delle corde

da un estremo all'altro di una corda ideale di massa=0 la tensione non cambia



Esempio: trovare le tensioni in a e b se in c è applicata la forza F

Si comincia dal corpo in fondo alla fila, A

$$T_a = m_a a$$

$$T_b - T_a = m_b a$$

$$T_c - T_b = m_c a$$

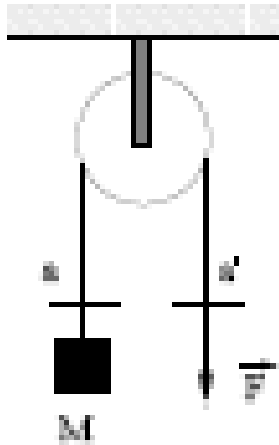
$$T_c = F$$

Sommando membro a membro

$$T_a + T_b - T_a + T_c - T_b = F = (m_a + m_b + m_c) a$$

Poi si trovano le tensioni in a e b.

## Carrucole



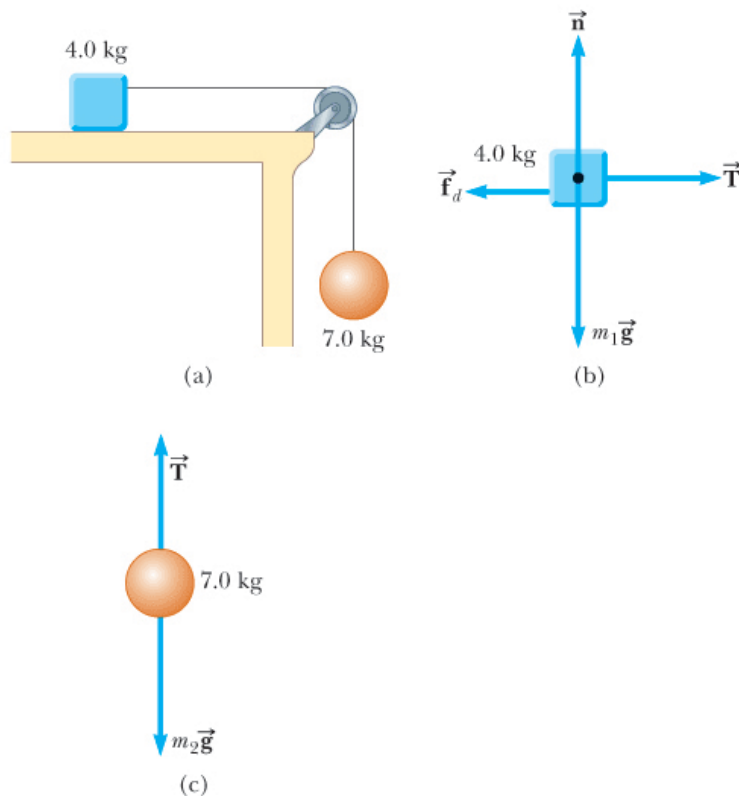
In pratica servono a cambiare la direzione o il verso di una forza che viene applicata alla fune che scorre sulla carrucola

Se hanno massa nulla l'unico loro effetto è di cambiare la direzione della forza ma non alterano la tensione della fune

Se  $T = |F|$  in  $a'$  avremo ancora la stessa tensione in  $a$  (carrucola e corda  $m=0$ )

Allora la forza applicata al blocchetto vale

$$F_y = F - Mg \text{ (asse } y \text{ verso l'alto, } Mg \text{ verso il basso)}$$



**FIGURA 5.6**

(Esempio 5.3) (a) Due oggetti connessi mediante un filo leggero che passa su una puleggia priva d'attrito. (b) Diagramma di corpo libero per il cubo che scivola. (c) Diagramma di corpo libero per la palla sospesa.

$$m_1 a = T$$

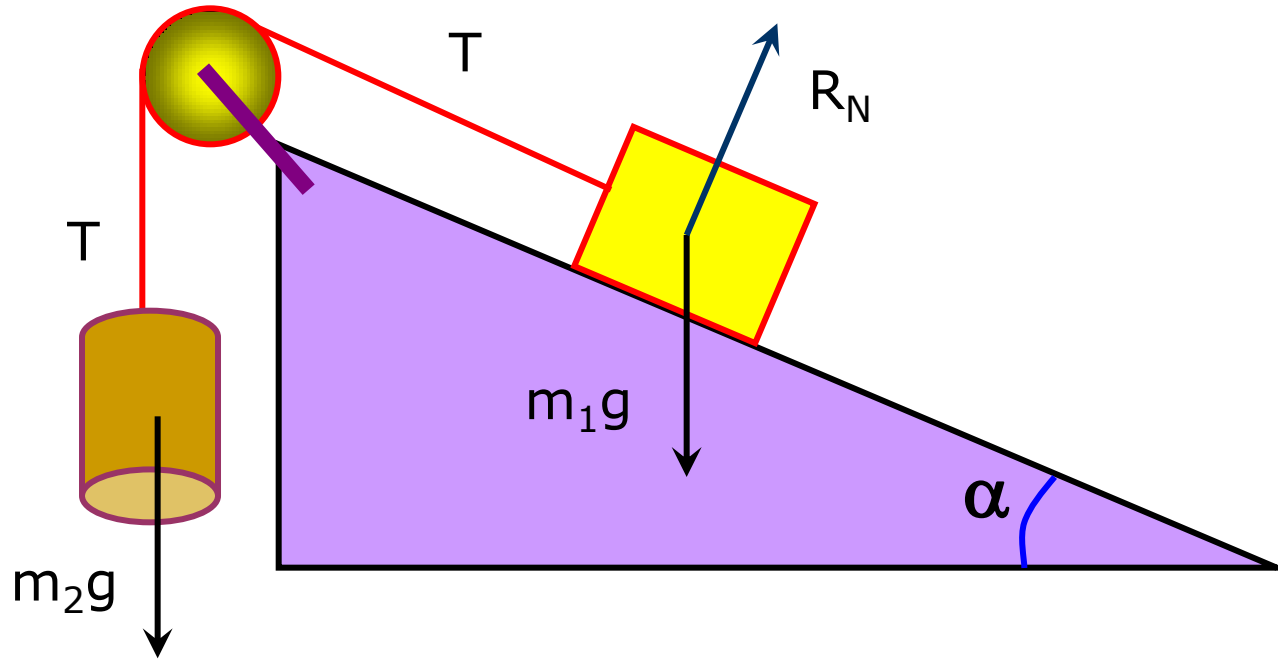
$a > 0$  verso destra

$$m_2 a = m_2 g - T$$

$a > 0$  verso il basso

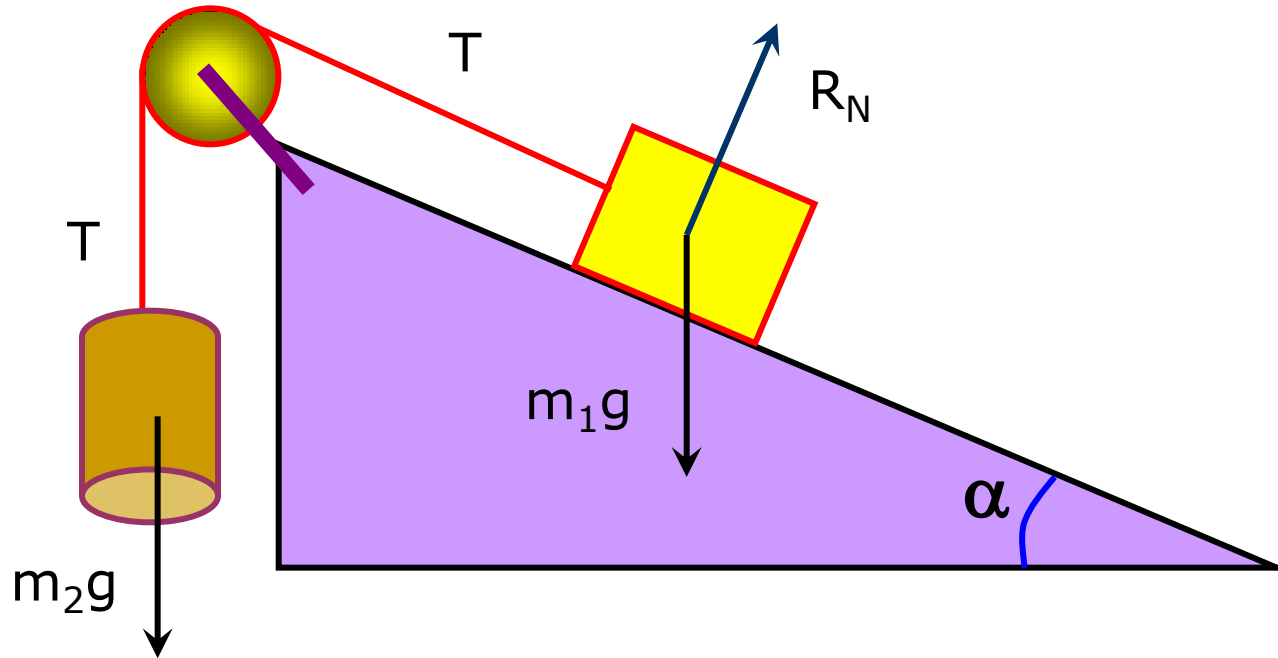


$$a = \frac{m_2}{m_1 + m_1} g$$



Quali sono i casi limite da considerare?

Cosa ci aspettiamo nei casi limite?



Su 1  $\rightarrow$  risultanti delle forze lungo il piano:  $m_1g - T$

$$m_1 a_1 = m_1 g \sin \alpha - T$$

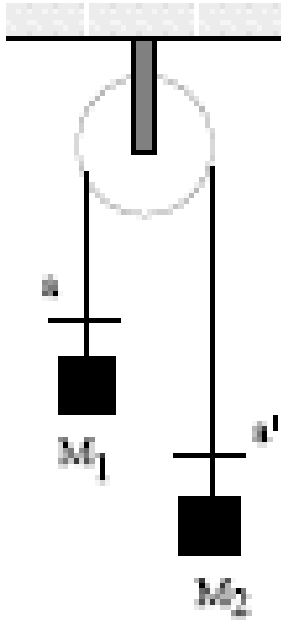
Su 2  $\rightarrow m_2 a_2 = T - m_2 g$

Con questa scelta degli assi  $a_1 = a_2 = a$

$$a = g \frac{m_1 \sin \alpha - m_2}{m_1 + m_2}$$

*Vedere i casi  
estremi*

## Macchina di Atwood



Se la corda e la carrucola hanno massa nulla  
la tensione è la stessa in  $a$  e  $a'$

Chiamiamola  $T$

$$M_1 a_1 = T - M_1 g$$

$$M_2 a_2 = T - M_2 g$$

$$\Rightarrow \Rightarrow \mathbf{a_1 = -a_2}$$

$$a_1 = g \frac{M_2 - M_1}{M_2 + M_1}$$