

→ Le forze → 1. deformazione (su corpo vincolato) (nota: le forze sono vettori)  
 → 2. movimento (su corpo libero)

questi due aspetti suggeriscono due diverse definizioni operative.

1. allungamento di una molla opportunamente calibrata (dinamometro)
2. misura dell'accelerazione di una certa massa

→ Forze fondamentali in natura:

forza elettrica	} forza e.m. (Maxwell, 1865)	} forza elettrodebole (Glashow, Salam, Weinberg) (Rubbia, van der Meer) 1979 - 1983	} SUSY ? ?	} GUT ?
forza magnetica				
forza nucleare debole				
forza nucleare forte (QCD)				
forza gravitazionale (Newton, 1686)				

→ Le leggi di Newton di forze esterne agenti su di esso,

I) In assenza un corpo persevera nello stato di quiete o di moto rettilineo uniforme (legge di inerzia di Galileo)

vale nei sistemi di riferimento inerziali: (es. "stelle fisse")

in sistemi non-inerziali: non vale (es. bagagliaio dell'auto)

II) In un sistema inerziale,  $\boxed{\sum \vec{F} = m\vec{a}}$

(talvolta anche  $\vec{F} = m\vec{a}$ )

$m$ : massa (inerziale del corpo)

se misuro la massa  $\Rightarrow$  ho definizione operativa di forza

1 N  $\Rightarrow$  intensità che impartisce ad  $m$  di 1 kg una accelerazione di 1 m/s<sup>2</sup>

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (\text{SI})$$

$$= 10^3 \text{ g} \cdot \frac{10^2 \text{ cm}}{\text{s}^2} = 10^5 \frac{\text{g cm}}{\text{s}^2} = 10^5 \text{ dyne (cgs)} \quad (17)$$

### III) Dati due corpi 1 e 2

se 1 esercita  $\vec{F}_{12}$  su 2, allora 2 esercita  $\vec{F}_{21}$  su 1 e

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

e  $\vec{F}_{12}$  e  $\vec{F}_{21}$  hanno la stessa retta di applicazione.

\* Esempi \*  $\left\{ \begin{array}{l} \text{oggetto appoggiato su tavolo} \\ \text{" attaccato a fune} \end{array} \right.$

### → Conservazione della quantità di moto

Quantità di moto  $\vec{q} = m\vec{v}$

In un sistema isolato ( $\sum \vec{F}_{est} = 0$ )  $\Rightarrow \frac{d}{dt} \left[ \sum_{i=1}^N \vec{q}_i \right] = 0$

Esempio: sistema a 2 corpi

sistema a N corpi  
ovvero  $\sum_{i=1}^N \vec{q}_i = \text{costante}$

II principio:  $\vec{a}_1 = \frac{\vec{F}_{21}}{m_1} = \frac{d\vec{v}_1}{dt}$

$$\vec{F}_{21} = \frac{d(m_1\vec{v}_1)}{dt} = \frac{d\vec{q}_1}{dt}$$

$$\vec{a}_2 = \frac{\vec{F}_{12}}{m_2} = \frac{d\vec{v}_2}{dt}$$

$$\vec{F}_{12} = \frac{d(m_2\vec{v}_2)}{dt} = \frac{d\vec{q}_2}{dt}$$

per il III principio  $\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$

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

$$\frac{d\vec{q}_1}{dt} + \frac{d\vec{q}_2}{dt} = 0$$

$$\frac{d}{dt} (\vec{q}_1 + \vec{q}_2) = 0 \Rightarrow \vec{q}_1 + \vec{q}_2 \text{ è costante.}$$

### → Enunciato alternativo del II principio

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

$$= m \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{q}}{dt}$$

$$\Rightarrow \boxed{\vec{F} = \frac{d\vec{q}}{dt}}$$

### → La forza gravitazionale

17 marzo 2021

Vicino alla superficie terrestre  $\vec{F} = m\vec{g}$

con  $g = 9,8 \frac{m}{s^2}$

e  $\vec{g}$  diretto verticalmente verso il basso

• in generale

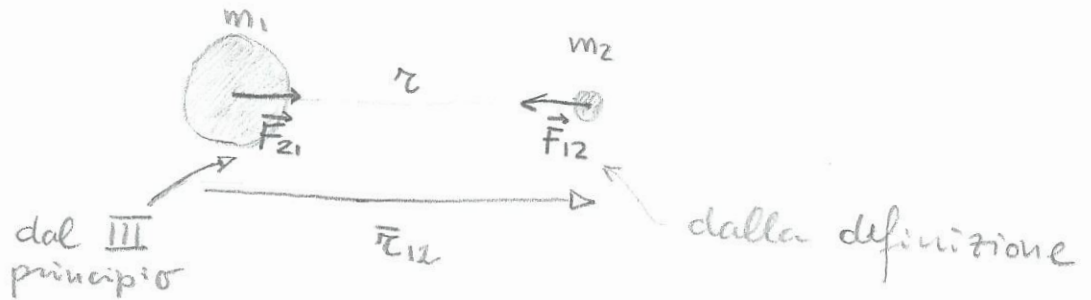
$$\vec{F}_{12} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r}_{12}$$

con  $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{N m^2}{kg^2}$  (costante gravitazionale di Newton)

$m_1, m_2$  massa dei 2 corpi

$r$  distanza tra i 2 corpi,  $r = |\vec{r}_{12}|$

$\hat{r}_{12} = \frac{\vec{r}_{12}}{r}$  versore diretto da 1 a 2



• Il caso  $\vec{F} = m\vec{g}$  è una riduzione del caso generale al caso:

$$\vec{F}_{TO} = -G \frac{M_T m_0}{R_T^2} \hat{r}_{TO}$$

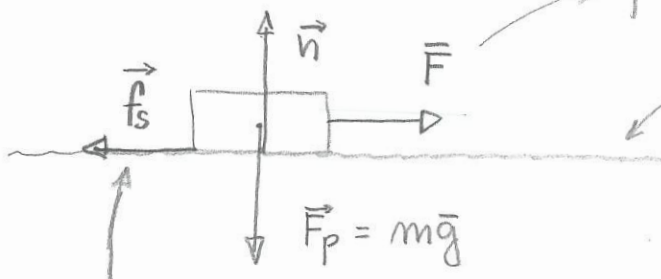
Terra  
Oggetto

$$\frac{GM_T}{R_T^2} = g = 9,8 \frac{m}{s^2}$$

\* anticipare qui la breve trattazione sul baricentro (→ 25)

→ La forza di attrito

→ statico



forza applicata  $\leq f_{s, max}$

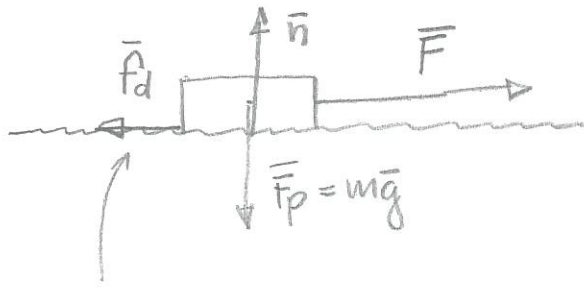
superficie scabra = non perfettamente liscia

coeff. di attrito statico

$$f_s \leq f_{s, max} = \mu_s \cdot n$$

forza di attrito statico  
L'oggetto sta fermo.

→ dinamico



coeff. attrito dinamico

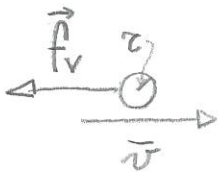
forza di attrito dinamico  $f_d = \mu_d n$

$\mu_s$  e  $\mu_d$  sono numeri (adimensionali), generalmente  $\leq 1$  e  $\mu_d \leq \mu_s$

→ viscoso

La forza di attrito viscoso si manifesta quando un corpo si muove in un fluido viscoso. Tale forza si oppone al moto e la sua intensità è proporzionale alla velocità  $v$ .

Es.



con  $\vec{f}_v = -6\pi\eta r \vec{v}$

con  $\eta =$  viscosità

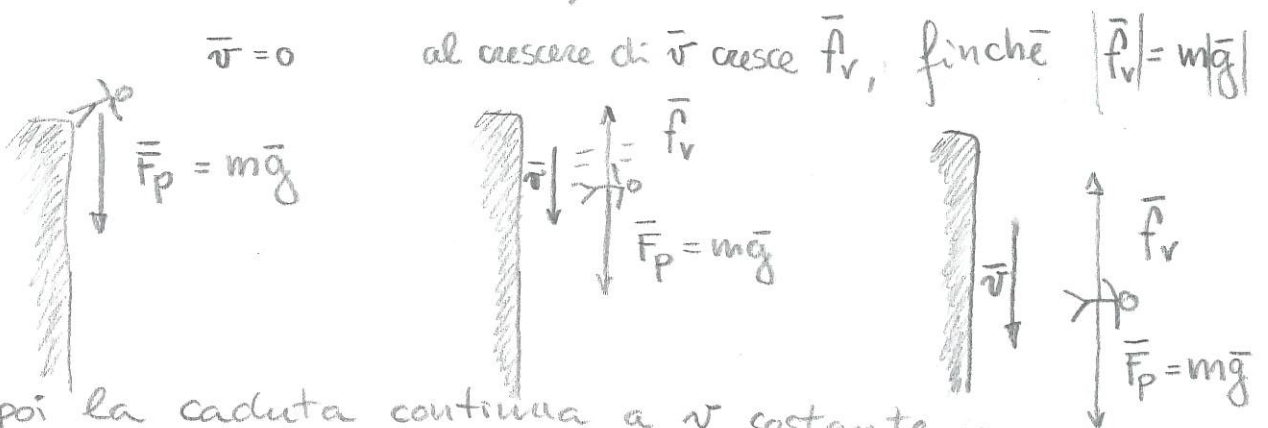
$$[\eta] = \frac{[f_v]}{[r][v]} = \frac{[M][L][t^{-2}]}{[L][L][t^{-1}]} = [M][L^{-1}][t^{-1}]$$

in c.g.s. l'unità è  $\frac{g}{cm s} =$  poise

non ha un nome proprio!

in SI (MKS) "  $\frac{kg}{m s} = \frac{10^3 g}{10^2 cm s} = 10$  poise = decapoise

Se ad esempio una persona si lancia "nel vuoto" (si dice così ma si intende "in aria")

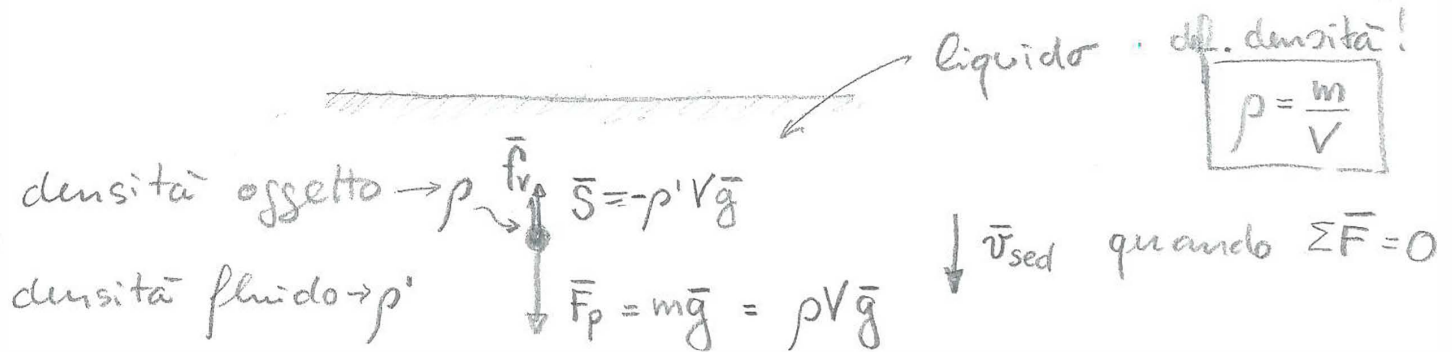


20 e poi la caduta continua a  $v$  costante ...

## → Sedimentazione

Un discorso analogo si può fare per un corpo che "cade" in un liquido. Tuttavia in questo caso non si può trascurare la "spinta di Archimede":

"Un corpo immerso in un fluido riceve una spinta, dal basso verso l'alto, di intensità pari al peso del fluido spostato" (Archimede, circa 250 a.C.)



All'equilibrio:  $\rho V g = \rho' V g + 6\pi \eta r v_{sed}$

$$v_{sed} = \frac{(\rho - \rho') V g}{6\pi \eta r}$$

$$= \frac{(\rho - \rho') \frac{4}{3} \pi r^3 g}{3 \cdot 6\pi \eta r}$$

$$= \frac{2}{9} \frac{(\rho - \rho') r^2 g}{\eta}$$

v.e.s. = velocità di eritrosedimentazione  
 ! velocità di sedimentazione (libera) degli eritrociti

causata dalla gravità

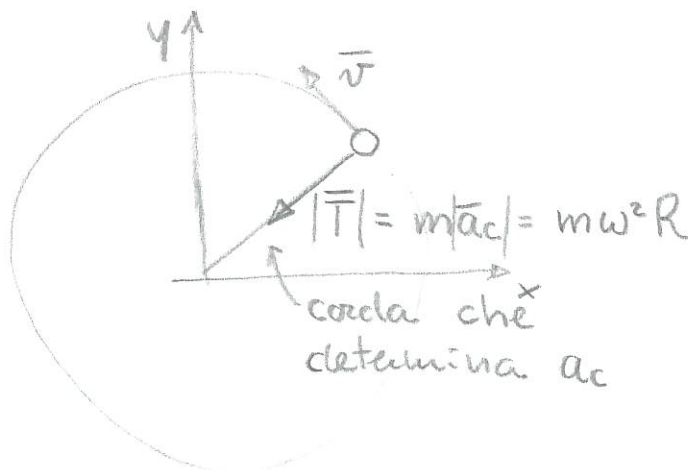
$$v.e.s. \leq 7 \text{ mm/h} \quad \text{OK}$$

$$> 15-20 \text{ mm/h} \quad \text{qualcosa non va}$$

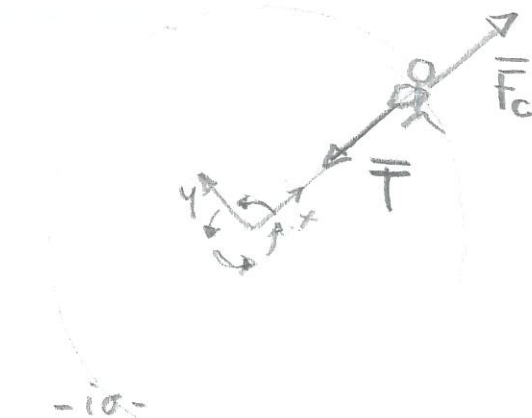
In realtà, visti i valori molto piccoli di  $v_{sed}$ , si usa la centrifugazione, per cui  $g$  viene sostituito da  $\omega^2 R$  che può valere anche  $10^4 - 10^6 g$



# Forza centripeta e centrifuga



corpo che ruota di  
moto circ. uniforme  
sist. di riferimento  
inerziale



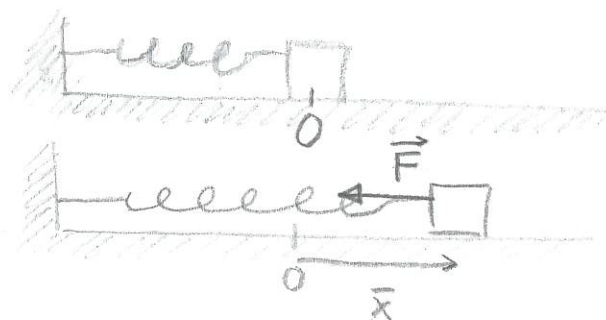
-io-  
osservatore che ruota di  
moto circ. uniforme  
sist. di riferimento rotante  
non-inerziale

⇒ c'è  $\vec{F}_c$  che mi spinge  
all'esterno: mi reggo alla corda  
forza "apparente"  
o "inerziale"

Altre forze "apparenti" per accelerazioni su moti rettilinei  
non-uniformi tipo bus che accelera/frena.

## Forza Elastica

Tipico esempio:



molla in  
equilibrio

$$\vec{F} = -k\vec{x}$$

↑  
verso opposto

$$\left. \begin{array}{l} \text{da } F = -kx \\ F = ma \end{array} \right\} a = -\frac{k}{m}x$$

abbiamo visto nel moto armonico  $a = -\omega^2 x$

$$\Rightarrow \text{ho moto armonico con } \omega^2 = \frac{k}{m}, \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$v = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$T = \frac{1}{v} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

(22)