

→ 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/s²

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

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

III) Dati due corpi, 1 e 2,

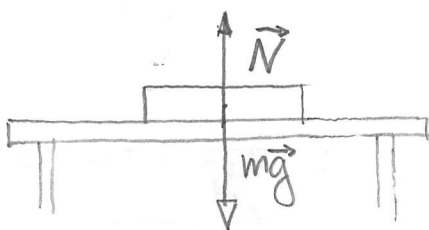
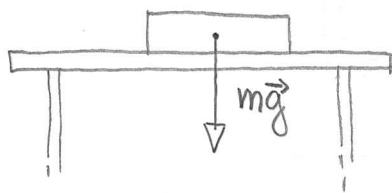
se 1 esercita \vec{F}_{12} su 2, allora 2 esercita \vec{F}_{21} su 1 e

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

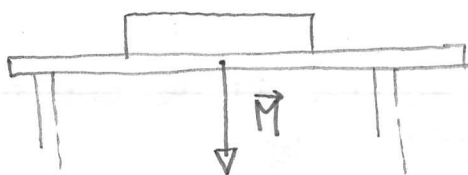
inoltre \vec{F}_{12} ed \vec{F}_{21} giacciono sulla stessa retta di applicazione



Attenzione a non confondere le conseguenze della II e della III legge. Esempio: libro appoggiato su tavolo



$$m\vec{g} + \vec{N} = 0$$



① sul libro agisce la forza peso
 $\vec{P} = m\vec{g}$ con m massa del libro
e $g = 9,8 \frac{m}{s^2}$
diretta verticalmente \downarrow

② tuttavia il libro non accelera ($\vec{a}=0$)
Allora per la II legge $\Sigma \vec{F} = 0$.
Per avere $\Sigma \vec{F} = 0$ devo avere
una forza \vec{N} agente sul libro
esercitata dal tavolo sul libro

③ per la III legge, visto che
il tavolo esercita \vec{N} sul libro,
allora il libro esercita \vec{M}
sul tavolo, con $\vec{M} = -\vec{N}$

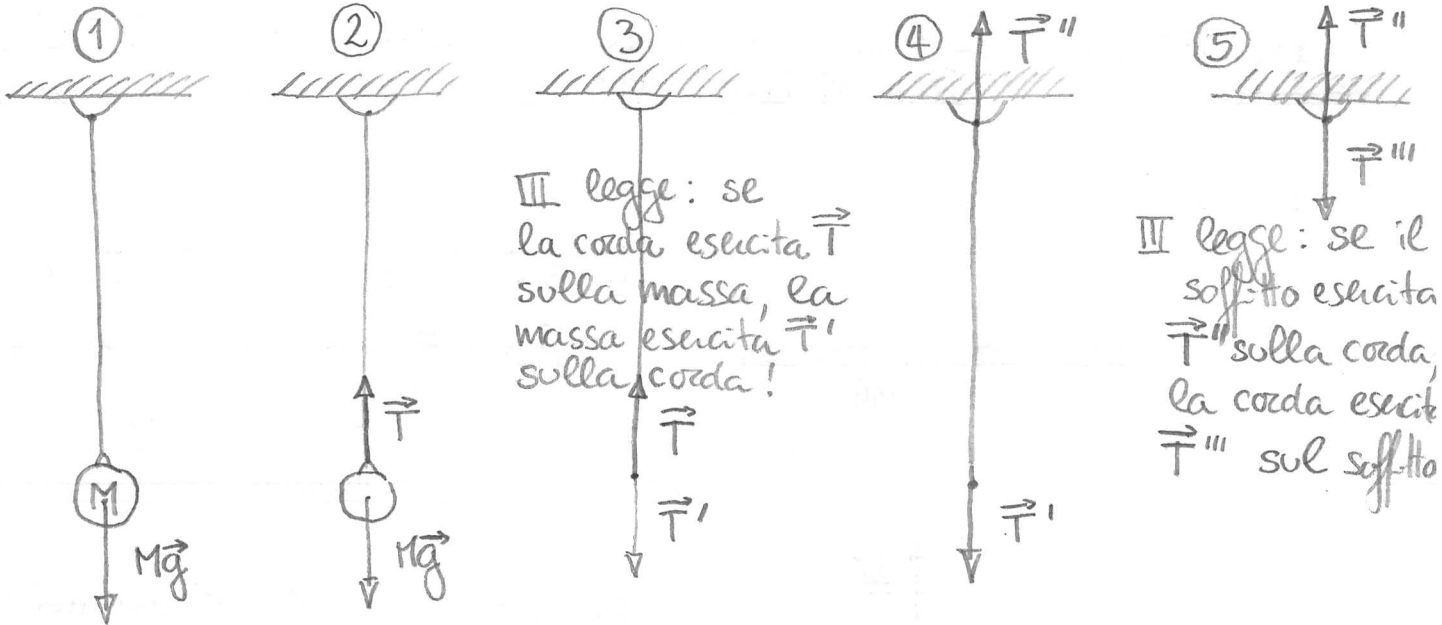
Chiaramente vale $|m\vec{g}| = |\vec{P}| = |\vec{N}| = |\vec{M}|$. Tutte queste forze
sono verticali; con $\vec{P} = m\vec{g} = \vec{M}$ che puntano verso il basso
ed \vec{N} diretta verso l'alto

Il ragionamento precedente si potrebbe ora applicare al
tavolo. Sul tavolo agiscono \vec{M} ed $m'\vec{g}$, con m' massa del tavolo.
Tuttavia il tavolo non accelera, quindi per la II legge $\Sigma \vec{F} = 0$
Esiste allora una forza \vec{Q} esercitata dal pavimento sul
tavolo, tale che $\vec{M} + m'\vec{g} + \vec{Q} = 0$. Poi per la III legge,

visto che il pavimento esercita \vec{Q} sul tavolo, allora il tavolo esercita $\vec{R} = -\vec{Q}$ sul pavimento.

Ulteriore esempio: massa M appesa al soffitto tramite una corda di massa trascurabile.

Visivamente:



III legge: se la corda esercita \vec{T} sulla massa, la massa esercita \vec{T}' sulla corda!

III legge: se il soffitto esercita \vec{T}'' sulla corda, la corda esercita \vec{T}''' sul soffitto

II legge sulla massa

$$M\vec{g} + \vec{T} = 0$$

II legge sulla corda

$$\vec{T}' + \vec{T}'' = 0$$

Chiaramente $|M\vec{g}| = |\vec{T}| = |\vec{T}'| = |\vec{T}''| = |\vec{T}'''|$.

Tutte le forze sono verticali, con $M\vec{g}$, \vec{T}' e \vec{T}''' dirette verso il basso, mentre \vec{T} e \vec{T}'' sono dirette verso l'alto.

In pratica la corda, tesa e priva di massa, non fa altro che "trasferire" $M\vec{g}$ dalla massa M al soffitto.

Sul soffitto infatti agisce $\vec{T}''' = M\vec{g}$.

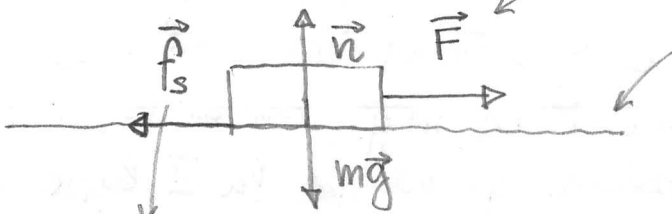
→ FORZE D'ATTRITO

→ statico

forza d'attrito statico

forza applicata $|\vec{F}| \leq f_{s,max}$

superficie scabra (non liscia)

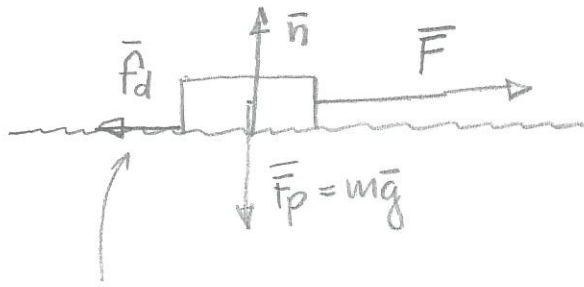


$|\vec{f}_s| = |\vec{F}|$ (l'oggetto sta fermo).

$$|\vec{f}_s| \leq f_{s,max} = \mu_s \cdot |\vec{n}|$$

coefficiente attrito statico (19)

→ dinamico



coeff. attrito dinamico

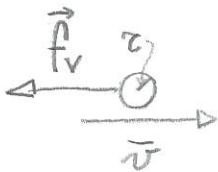
forza di attrito dinamico $f_d = \mu_d n$

μ_s e μ_d sono numeri (adimensionali), generalmente ≤ 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

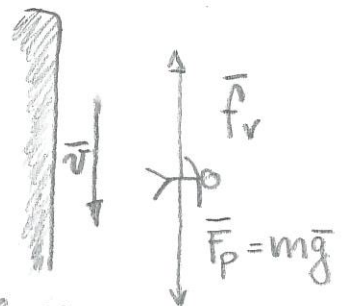
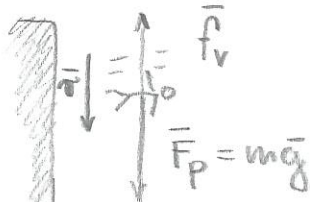
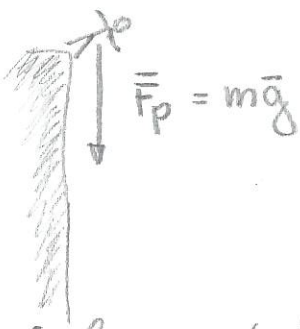
non ha un nome proprio!

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")

$\vec{v} = 0$

al crescere di \vec{v} cresce \vec{f}_v , finché $|\vec{f}_v| = m|\vec{g}|$

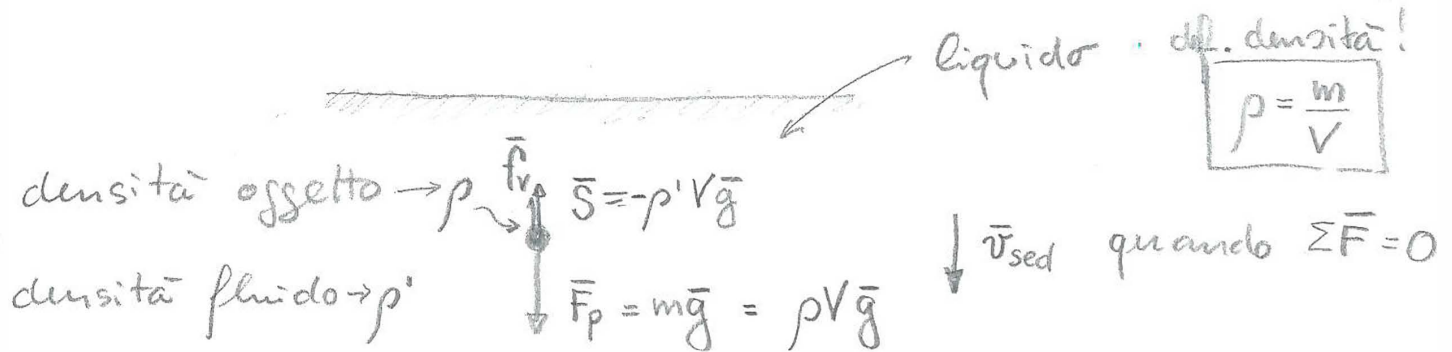


20 e poi la caduta continua a v costante ...

→ 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

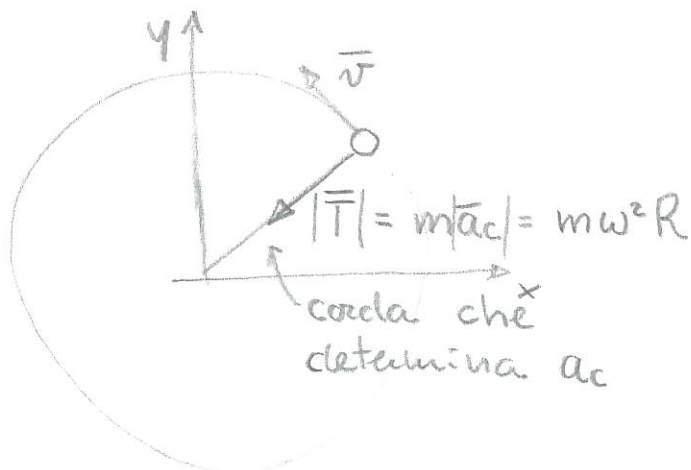
causata dalla gravità

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

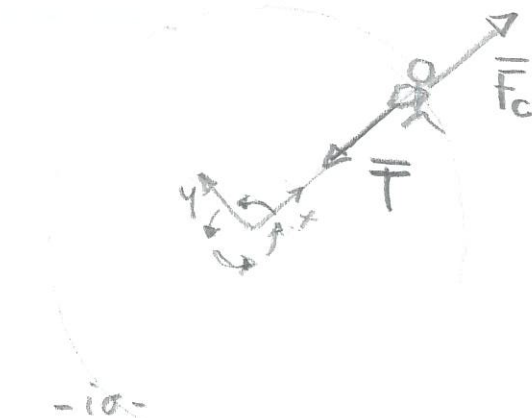
$$> 15-20 \text{ mm/h} \quad \text{qualcosa non va}$$

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



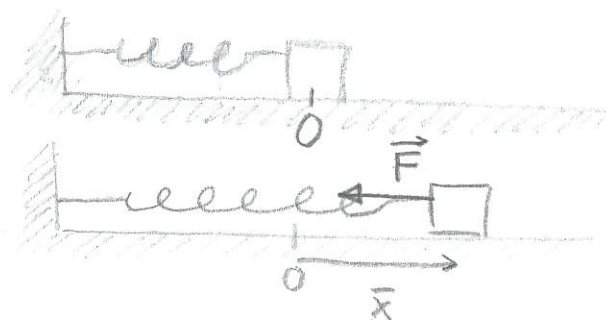
osservatore che ruota di
moto circ. uniforme
sist. di riferimento rotante
non-inerziale

⇒ 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 $a = -\omega^2 x$

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

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

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

(22)