DINAMICA

NB: non ho trattato le parti barrate con "----"

30-31 ottobre 2024

→ **Le forze** → 1. deformazione (su corpo vincolato)
→ 2. movimento (su corpo libero)

(nota: le forze sono vettori)

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

→ **Le leggi di Newton**

I) In assenza di forze esterne agenti su di esso, 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, $\boxed{\Sigma \vec{F} = m\vec{a}}$

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

m : massa (inerziale del corpo)

se misuro la massa ⇒ ho definizione operativa di forza

$1\,N$ ⇒ intensità che impartisce ad m di 1 kg una accelerazione di $1\ m/s^2$

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

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

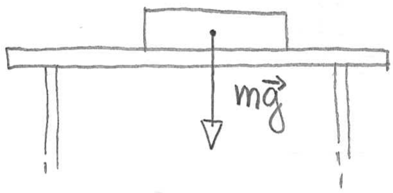
III) Dati <u>due</u> corpi, 1 e 2,

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

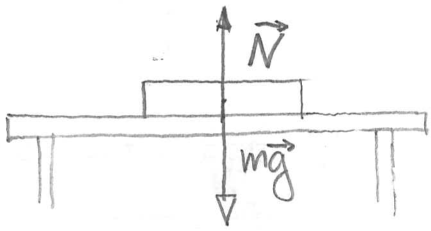
$$\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$$

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

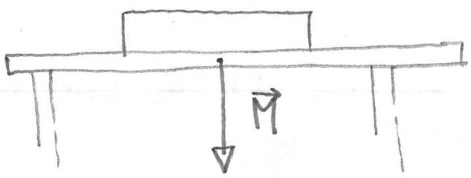


① sul libro agisce la forza peso $\vec{P} = m\vec{g}$ con m massa del libro e $g = 9{,}8\ \frac{m}{s^2}$ diretta verticalmente ↓



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

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

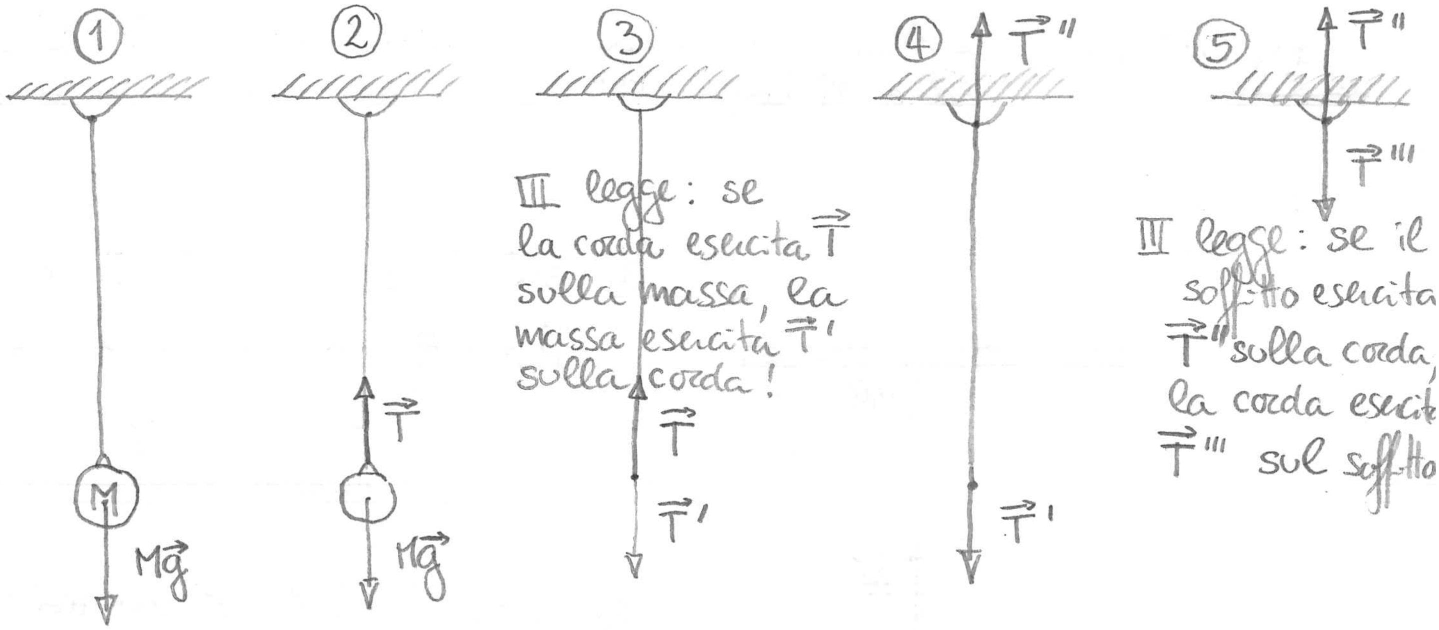


③ <u>per la III legge</u>, visto che il tavolo esercita $\vec{N}$ sul libro, allora il libro esercita $\vec{M}$ sul tavolo, con $\vec{M} = -\vec{N}$

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 <u>per la II legge</u> $\Sigma\vec{F} = 0$ Esiste allora una forza $\vec{Q}$ esercitata dal pavimento sul tavolo, tale che $\vec{M} + m'\vec{g} + \vec{Q} = 0$. Poi <u>per la III legge</u>, 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:



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

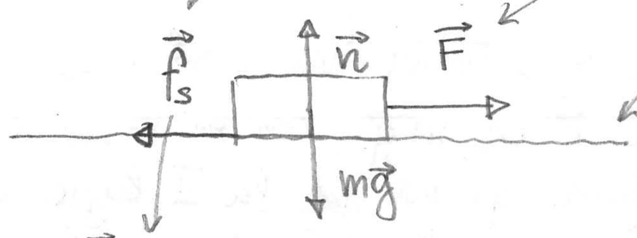
→ FORZE D'ATTRITO

→ statico

forza d'attrito statico

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

superficie scabra (non liscia)

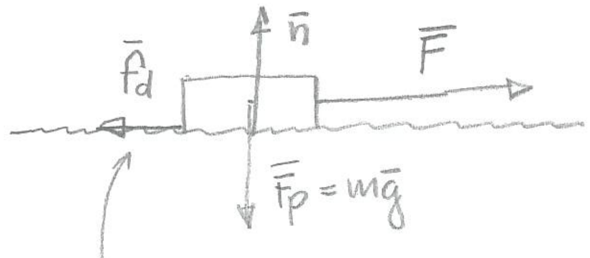


$|\vec{f}_s| = |\vec{F}|$ (l'oggetto sta fermo)

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

coefficiente attrito statico

→ dinamico



coeff. attrito dinamico

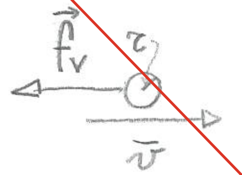
forza di attrito dinamico $\quad f_d = \mu_d n$

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 η = viscosità

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

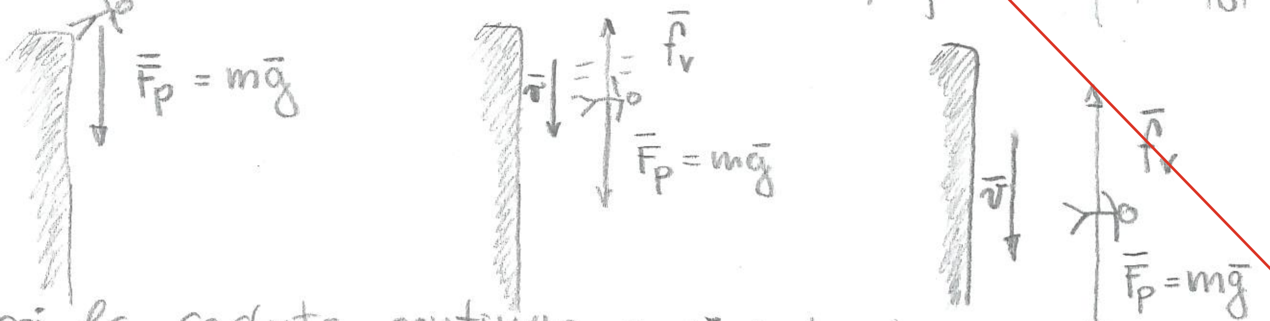
non ha un nome proprio!

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

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")

$\bar{v} = 0 \qquad$ al crescere di $\bar{v}$ cresce $\bar{f}_v$, finché $|\bar{f}_v| = m|\bar{g}|$



 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.)

liquido

def. densità! $\boxed{\rho = \frac{m}{V}}$

densità oggetto → ρ $\quad \bar{F}_V \quad \bar{S} = -\rho' V \bar{g}$

densità fluido → ρ' $\quad \bar{F}_p = m\bar{g} = \rho V \bar{g}$

↓ v_{sed} quando $\Sigma \bar{F} = 0$

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

$$v_{sed} = \frac{(\rho - \rho') V g}{6\pi\eta r} = \frac{(\rho-\rho')\frac{4}{3}\pi r^3 g}{6\pi\eta r} = \frac{2}{9}\frac{(\rho-\rho') r^2 g}{\eta}$$

v.e.s. = velocità di eritrosedimentazione

$\stackrel{!}{=}$ velocità di sedimentazione (libera) degli eritrociti

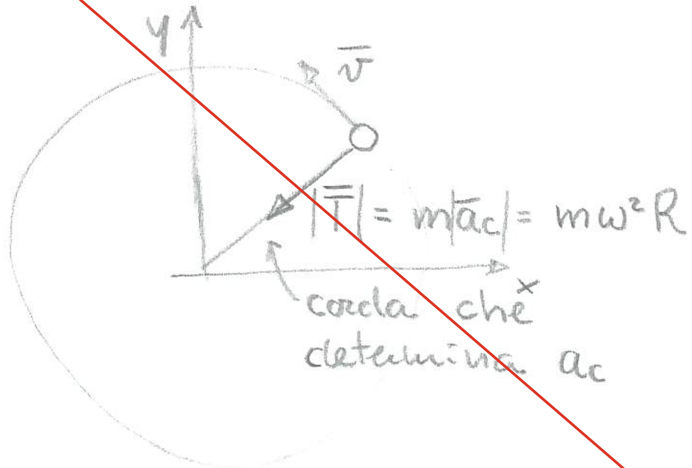
causata dalla gravità

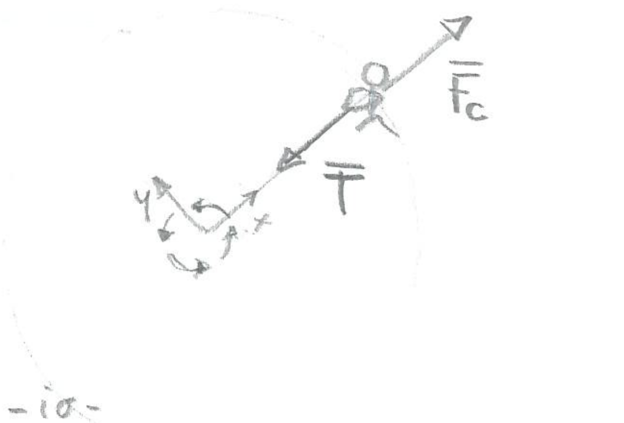
v.e.s $\leq$ 7 mm/h OK

$>$ 15-20 mm/h 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

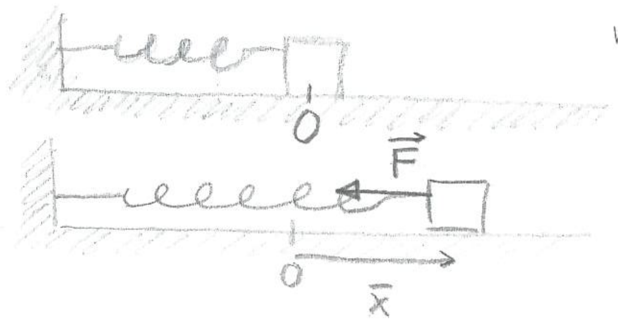
sist. di riferimento rotante non - inerziale

$\Rightarrow$ c'è $\bar{F}_c$ 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

$\vec{F} = -K\bar{x}$

verso opposto

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

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

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

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

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