

Lez 7 201015

Dinamica

- La dinamica studia le cause delle variazioni moto e le sue relazioni con le variabili cinematiche, ovvero le **interazioni del punto materiale con l'ambiente circostante** che ne variano lo stato di moto
- L'accelerazione e' la variabile che caratterizza i cambiamenti nel moto
- Si chiama **forza** ogni agente fisico che imprime accelerazione a un corpo, cioe' la **forza e' la grandezza che esprime e misura l'interazione fra sistemi fisici**

La forza e' un vettore

- Se due o piu' forze agiscono, possiamo comporle per trovare la forza netta **risultante** e viceversa, ogni forza puo' essere scomposta in componenti lungo direzioni "opportune"
- Una sola forza che agisce produce lo stesso effetto che verrebbe prodotto da tutte le forze componenti agenti insieme su di esso.

E' il **principio di sovrapposizione delle forze** $\underline{F}_{\text{tot}} = \sum_i \underline{F}_i$

I legge: enunciato preciso

- Dire che per un corpo $F=0$ non implica che non agiscano forze, ma che la loro risultante è nulla
- La prima legge di Newton può essere riformulata:

quando la forza netta è nulla, la velocità del corpo non può cambiare, cioè $\underline{a}=0$ rispetto ad un osservatore inerziale

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

- LE VARIE OSSERVAZIONI Sperimentali sulla misura di forze, masse ed accelerazioni, furono riassunte da Newton in un'unica equazione.

$$\sum_i \vec{f}_i = m \vec{a}$$

- m e' la massa del punto materiale, e' una grandezza scalare.

- \vec{a} e' l'accelerazione del punto

- $\sum \vec{f}$ e' la somma vettoriale di tutte le forze che agiscono sul punto.

- L'equazione vettoriale equivale a tre equazioni scalari

$$\sum f_x = m a_x$$

$$\sum f_y = m a_y$$

$$\sum f_z = m a_z$$

- L'accelerazione del punto lungo un'asse dipende solo dalle proiezioni delle forze lungo quell'asse

2a legge di Newton

L'accelerazione prodotta da una forza e' proporzionale alla forza stessa.

Il fattore di proporzionalita' e' la massa m , che misura l'inerzia del corpo.

NON misura la quantita' di materia del corpo

Se la risultante delle forze, F_{net} e' nulla, cioe' le forze si compensano fra loro, anche a e' nulla. In tal caso si dice che le forze sono in **equilibrio**

La forza

- CLASSIFICHiamo LE FORZE IN DUE CATEGORIE:
FORZE DI CONTATTO E FORZE CHE AGISCONO A DISTANZA
(PIÙ AVANTI VEDREMO CHE ESISTONO SOLO LE SECONDE,
MENTRE NEL SEGUITO FAREMO DEGLI ESEMPI USANDO
LE PRIME).

Le forze fondamentali (Interazioni fondamentali)

• FORZA GRAVITAZIONALE

DUE CORPI DI MASSA m_1 E m_2 SI ATTRAGGONO CON LA FORZA

$$|\vec{F}| = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (\text{legge della gravitazione di Newton})$$

- E' L'INTERAZIONE DOMINANTE SU SCALA MACROSCOPICA

• FORZA ELETTRONAGNETICA

DUE CORPI CARICHI IN QUIETE SI ATTRAGGONO (O RESPINGONO CON LA FORZA:

$$|\vec{F}| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad (\text{legge di Coulomb})$$

Cfr. Elettromagnetismo

- FORZA DI LEGAME ELETTRONE NUCLEO
- TUTTI I LEGAMI CHIMICI SONO DI NATURA ELETTRONAGNETICA
- TUTTE LE FORZE DI CONTATTO (ATTRITO, TENSIONE, FORZA NORMALE, ETC..) SONO MANIFESTAZIONI DELLA FORZA ELETTRONAGNETICA

• FORZA NUCLEARE FORTE

TIENE LEGATI I PROTONI E I NEUTRONI NEI NUCLEI

- HA UN RAGGIO DI INTERAZIONE MOLTO PICCOLO ($\sim 10^{-15} \text{ m}$)

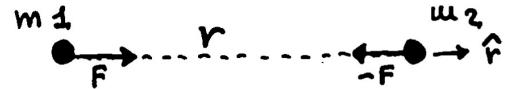
PER CUI SI MANIFESTA SOLO ALL'INTERNO DEI NUCLEI

Fisica nucleare, delle particelle

• FORZA NUCLEARE DEBOLE

E' RESPONSABILE DEI DECADIMENTI RADIODATTIVI DI ALCUNI NUCLEI ED E' ALLA BASE DELLE REAZIONI DI FUSIONE NELLE STELLE

- NON COSTITUISCE ALCUN STATO LEGATO



- DUE CORPI QUALSIASI (TERRA-PENNA, TERRA-LUNA, TAVOLO-PENNA) TENDONO AD ATTRARSI CON UNA FORZA PARI A:

$$|\vec{F}| = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

- G È LA COSTANTE DI GRAVITAZIONE UNIVERSALE

$$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$$

- M È LA MASSA GRAVITAZIONALE DI UN CORPO

- R È LA DISTANZA TRA I DUE CORPI

- LA FORZA È DIRETTA LUNGO LA RETTA CONGIUNGENTE I DUE CORPI
ED È ATTRATTIVA

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

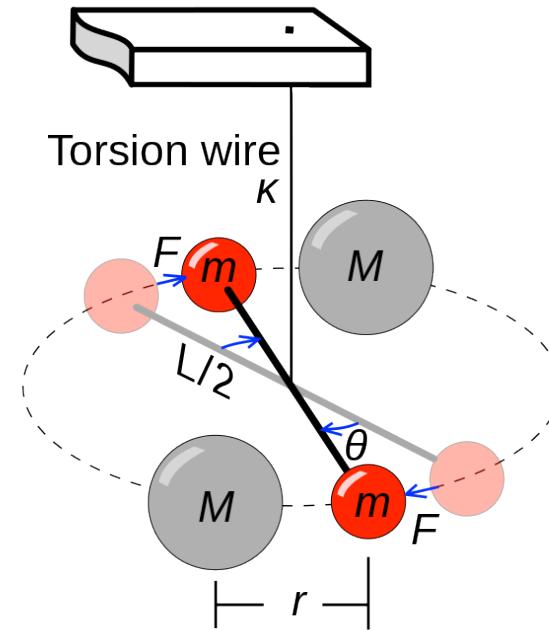
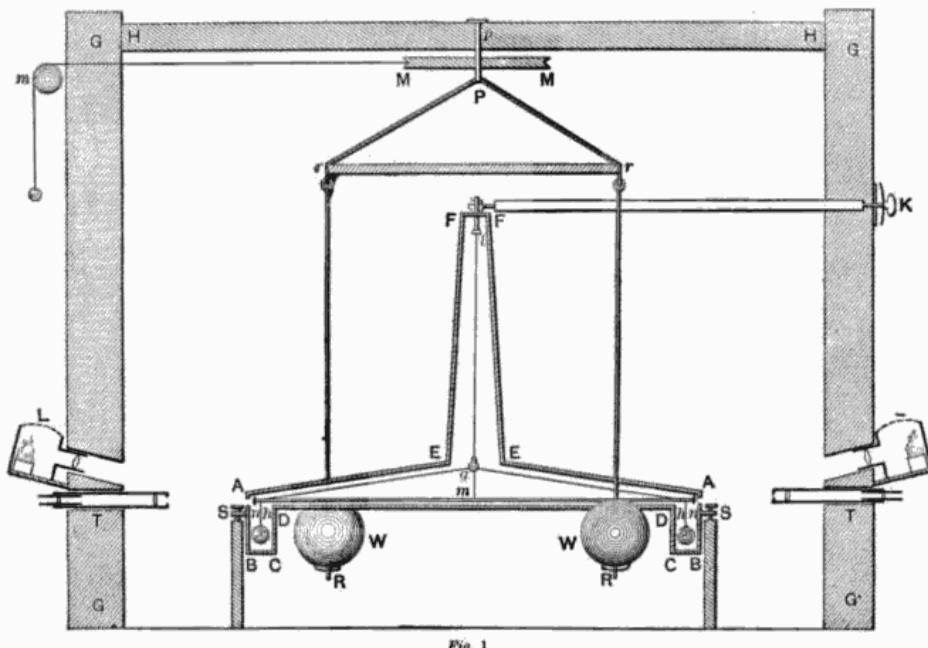
- LA MASSA GRAVITAZIONALE È LA MASSA INERZIALE ($\vec{F} = m \vec{a}$)
SONO DUE COSÌ CONCETTUALMENTE DISTINTE.
Sperimentalmente si è trovato che sono la stessa cosa,
ad esempio l'indipendenza del periodo di oscillazione di
un pendolo dalla massa che oscilla.

Forza a distanza: gravitazione

Misure di G

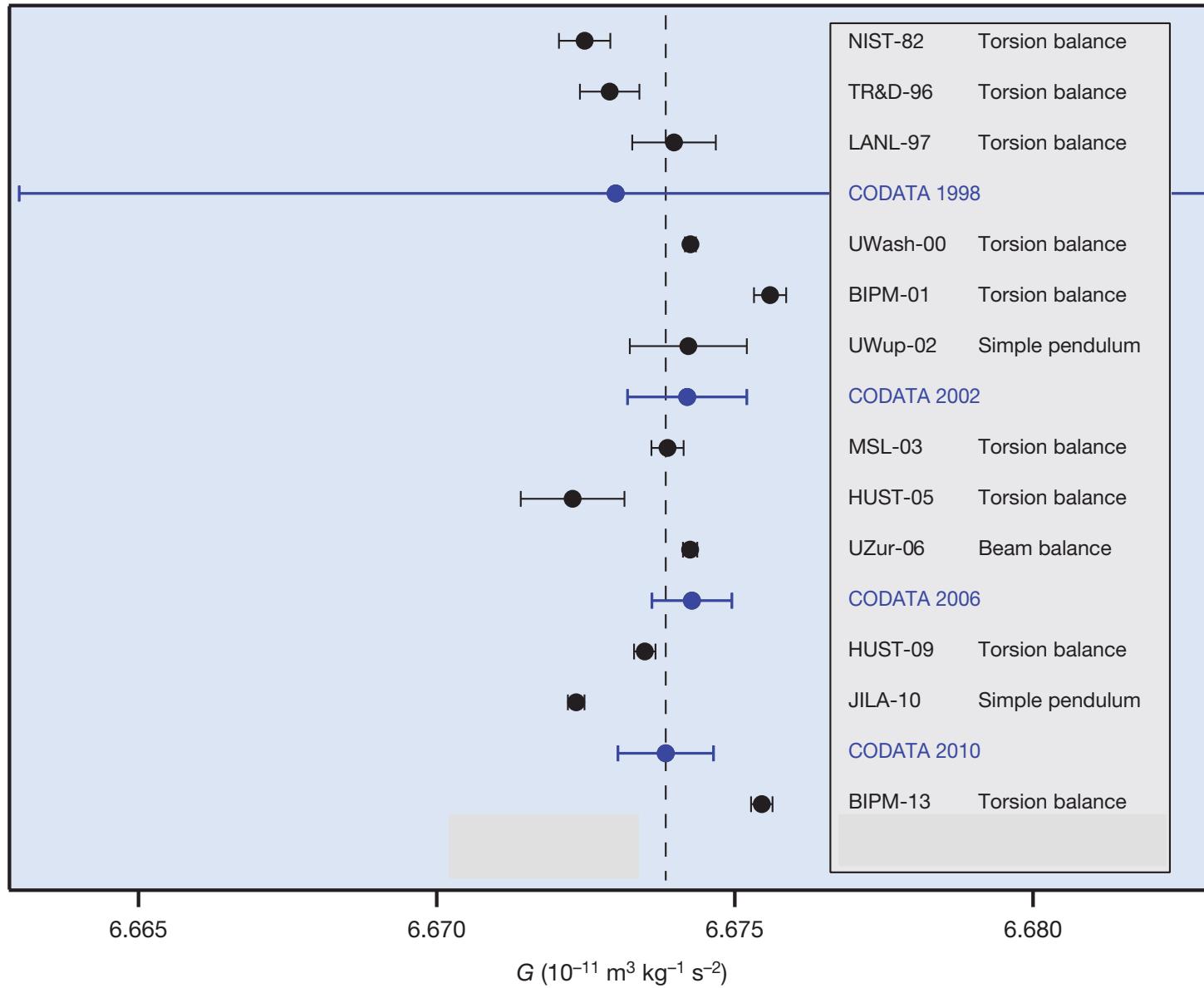
$$g = \frac{GM_T}{R_T^2}$$

Scarsa accuratezza nella conoscenza
di masse e raggi dei pianeti



Cavendish Experiment
(1798)

Misure di G



Misure di G

Source of the CODATA internationally recommended values

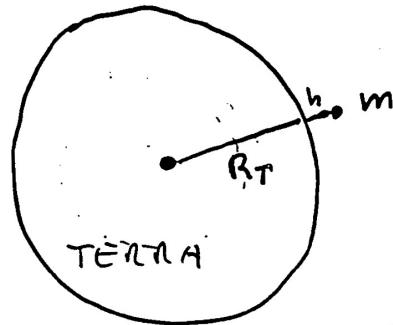
<http://physics.nist.gov/cuu/Constants/bibliography.html>

G Value $6.6742 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$

Standard uncertainty $0.0010 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$

Relative standard uncertainty 1.5×10^{-4}

Concise form $6.6742(10) \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$



$$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$$

$$R_T = 6.37 \cdot 10^6 m$$

$$M_T = 5.98 \cdot 10^{24} kg$$

$$|\vec{F}| = G \frac{m \cdot m}{r^2}$$

- DATO CHE LA FORZA E' INVERSAEMENTE PROPORTIONALE AL QUADRATO DELLA DISTANZA, SI PUO' PENSARE CHE TUTTA LA MASSA DELLA TERRA SIA CONCENTRATA AL CENTRO DELLA TERRA.
(legge di Gauss)

$$|\vec{F}| = G \frac{M_T m}{|R_T + h|^2} \approx G \frac{M_T}{R_T^2} \cdot m$$

$$G \frac{M_T}{R_T^2} = g = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{5.98 \cdot 10^{24}}{(6.37 \cdot 10^6)^2} = 9.83 m/s^2$$

N.B. OCCORRE CONSIDERARE ANCHE LA FORZA CENTRIFUGA
DOVUTA ALLA ROTAZIONE TERRESTRE. $m \omega^2 R$

- ALL' EQUATORIO L' EFFETTO E' MASSIMO

$$\omega^2 R_T = 0.03 m/s^2$$

- QUESTO VALORE VA SOTTRATTO A $9.83 m/s^2$

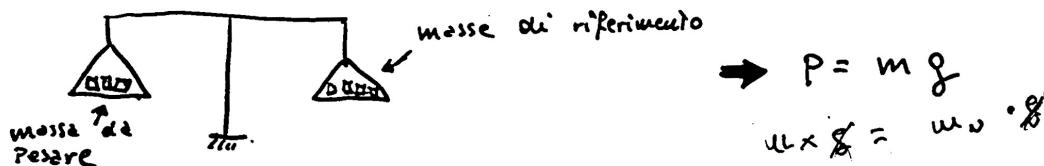
Forza di gravità in prox della superficie terrestre

- NEL CASO IN CUI IL CORPO SIA VICINO ALLA SUPERFICIE TERRESTRE SI HA:

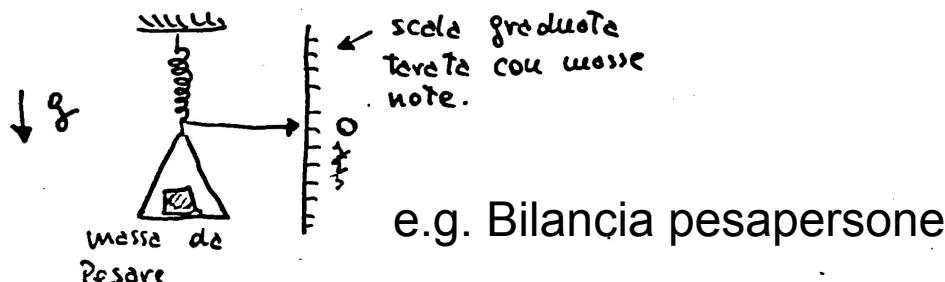
$$|\vec{P}| = m g \quad g = 9.80 \text{ m/s}^2$$

oppure $\vec{P} = -m g \uparrow$ oppure $\vec{P} = m \vec{g}$

- LA MASSA DI UN CORPO È DEFINITO IN MANIERA UNIVOCÀ, MENTRE IL PESO NON LO È. IL VOSTRO PESO SULLA LUNA SARÀ DIVERSO, MENTRE LA VOSTRA MASSA NON LO È.
- IL PESO SI MISURA IN UN SISTEMA DI RIFERIMENTO INERZIALE
- MISURA DELLA MASSA CON UNA BILANCIA A BRACCI



- BILANCIA A MOLLA (DINAMOMETRO)



Forza peso

Il **peso** di un corpo è il **modulo** della forza netta richiesta per evitare che il corpo cada, cioè necessario a bilanciare la forza di gravità agente sul corpo, misurata da un osservatore a terra

Forza peso

Il peso di un corpo va misurato in condizioni di accelerazione verticale nulla: e' corretto pesarsi in bagno o in treno a velocita' costante. Ma se vi pesate in ascensore quando accelera o decelera, troverete una misura diversa.

Si parla in tal caso di peso apparente

Attenzione! Il peso di un corpo **NON e' la massa** di quel corpo. Esso e' il modulo di una forza legato alla massa dalla relazione scalare $P=mg$ (e non $P=m$)

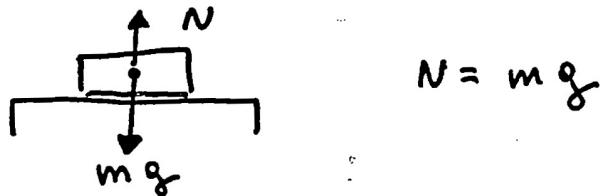
Se ci spostiamo in una regione in cui g assume un valore diverso ANCHE il peso sara' diverso, mentre la massa (intrinseca al corpo) **NON** cambia

Nel linguaggio comune la confusione tra peso e massa e' cosi' radicata da richiedere continua attenzione. Se chiedete al pasticciere quanto pesa una torta, non potete aspettarvi che vi risponda 14.7 N (risposta coerente) al posto di un piu' probabile 1.5 kg (incoerente). Stara' a voi, se dovesse essere importante, interpretare l'equivoca risposta, per esempio ipotizzando che il pasticciere vi abbia fornito il valore della massa e sarebbe stato formalmente corretto se la vostra domanda fosse stata "che massa ha questa torta?"

Forze di contatto: vincoli

- FORZA NORMALE

QUANDO UN CORPO COMPARTE UNA SUPERFICIE RICEVE UNA FORZA PERPENDICOLARE ALLA SUPERFICIE STESSA.



$$N = m g$$

Sono dette anche **reazioni vincolari** o semplicemente **vincoli**: sono condizioni che limitano e/o condizionano il moto.

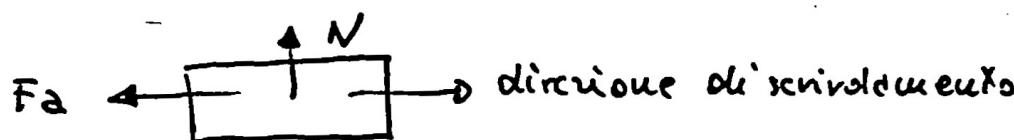
Esempio: un libro poggiato su un tavolo orizzontale. Se non ci fosse, il libro cadrebbe sotto l'azione del peso. La presenza del tavolo impedisce al libro di cadere → e' come se ci fosse una forza applicata al libro diretta lungo la normale al tavolo che si oppone al peso (dovuta alle forze di legame che tengono insieme le molecole del tavolo); o anche rotaie, fili inestensibili,...

Il trucco consiste nel sostituire il vincolo con una forza ortogonale al vincolo applicata al corpo soggetto al vincolo che produca lo stesso effetto sul moto

Forze di contatto

● ATTRITO

Un corpo che scivola su una superficie viene ostacolato dalla resistenza della superficie



Più esattamente: è una forza che si oppone al moto relativo di traslazione di due superfici ruvide poste a contatto, parallela alle due superfici

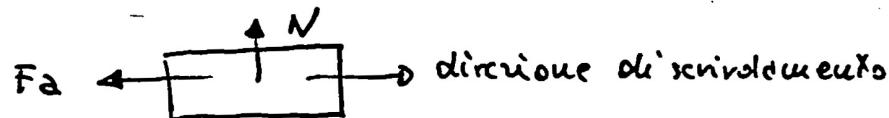
L'attrito è fondamentale e inevitabile:

- Se dominasse, incollerebbe ogni cosa a contatto, bloccherebbe ogni ruota che gira o asse rotante (eg il 20% della benzina è utilizzato per vincere gli attriti del motore e trasmissione)
- Se fosse completamente assente, non potremmo camminare ma solo scivolare, le auto non si muoverebbero, chiodi e viti sarebbero inutili, vedremmo sciogliersi tutti i nodi e cuciture (...addio vestiti)

Proprieta' dell'attrito

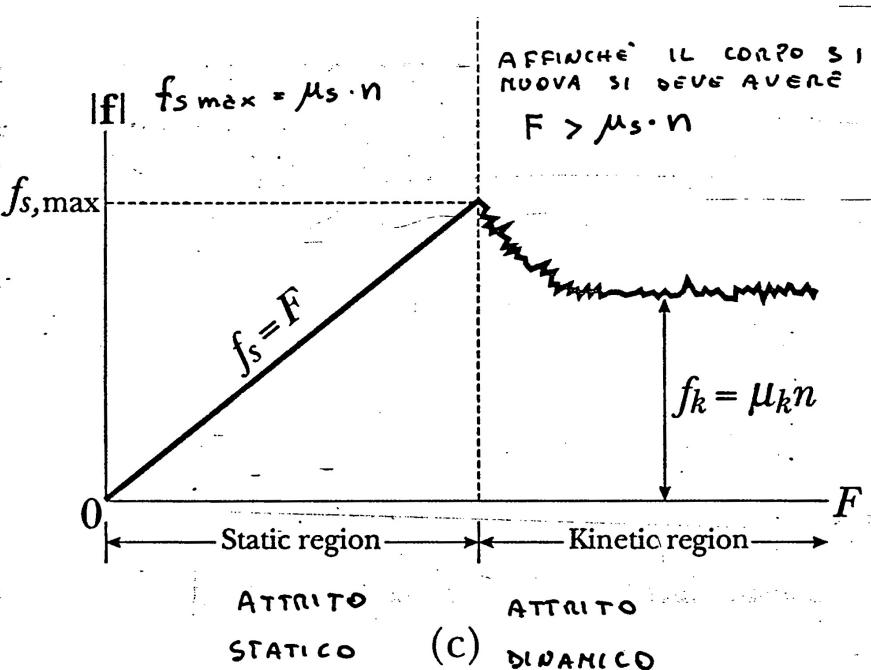
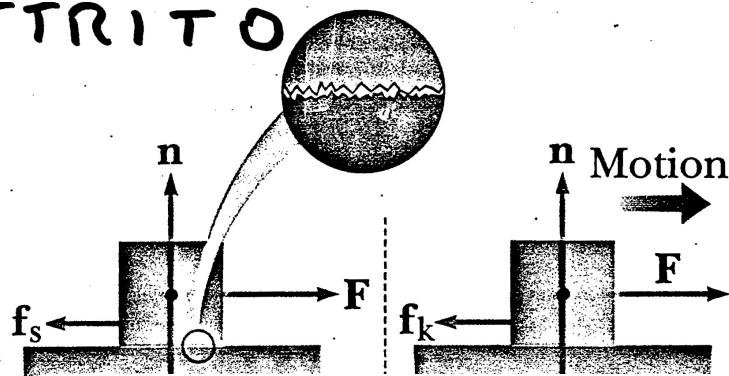
Gli esperimenti mostrano che, quando un corpo e' premuto contro una superficie da una forza F_N e un'altra forza F tende a far slittare il corpo lungo la superficie, la forza di attrito risultante ha le seguenti proprietà:

- Se il corpo e' in quiete, f_s e la componente di F parallela alla superficie, F_k , hanno la stessa intensità con f_s diretta nel verso opposto a F_k
- L'intensità di f_s può raggiungere un $\max f_{s,\max}$ dato da $f_{s,\max} = \mu_s F_N$ dove F_N è la risultante delle componenti delle forze esterne agenti sul corpo ortogonali alla superficie di contatto, oltre il quale si mette in moto (NB: il modulo di F_N !). μ_s è il coeff. di attrito statico
- Se il corpo comincia scivolare lungo al superficie, l'intensità della forza di attrito decresce rapidamente fino al valore $f_k = \mu_k F_N$, dove μ_k è il coeff. di attrito dinamico ($< \mu_s$)
- F_N misura la fermezza con cui il corpo preme contro la superficie
- μ_s e μ_k sono adimensionali e vanno determinati sperimentalmente caso per caso



NB: la forza di attrito e' sempre opposta al verso del moto

ATTRITO



- Quando due superfici sono poste a contatto, i loro punti di sporgenza (micro o macro irregolarità) si toccano e molti punti si saldano a freddo. Le microsaldature danno luogo all'attrito statico.
- Man mano che F cresce, f_s cresce e neutralizza F , fino al valore di "strappo" C , oltre il quale le micro sald. si rompono e il corpo inizia muoversi.
- Durante il moto si ha una successione continua di saldature e strappi: l'attrito dinamico f_k e' la risultante (vettore) delle forze dovute ai microcontatti casuali. Durante il moto ci sono meno micicontatti $\rightarrow f_k < f_s$
- Se si premono una contro l'altra maggiormente le superfici, ci sono piu' micicontatti \rightarrow l'attrito cresce
- Il tipico rumore stridulo dello sfregamento di due superfici secche e' dovuto a questi brevissimi periodi di adesione e slittamento (esempio: gesso o unghie sulla lavagna)

Forze di contatto

• TENSIONE

QUANDO UN FILO INESTENSIBILE È FISSATO A UN CORPO È TIRATO SI DICE CHE È SOTTO TENSIONE.

ESSO ESERCITA SUL CORPO UNA TRAZIONE T .

IL FILO È IN GRADO DI TRASMETTERE UNA FORZA.

N.B. SE SI SUPpone IL FILO PRIVO DI MASSA, LA TENSIONE È LA STESSA IN TUTTI I PUNTI

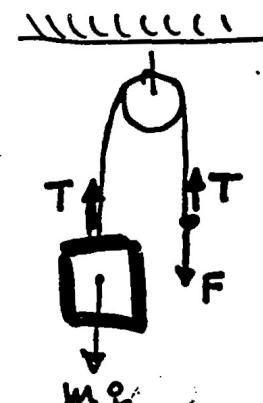


— CARRUCOLA

LE CARRUCOLE SONO IN GRADO

DI CAMBIARE LE DIREZIONI

DELLE FORZE



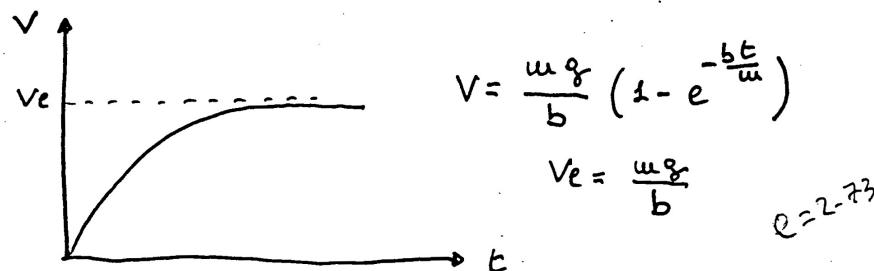
RESISTENZA DEL NEZZO

- UN CORPO CHE SI MUOVE IN UN NEZZO VISCOSE SUBISCE UNA RESISTENZA ESPRIMIBILE CONE:

$$\vec{R} = -b \vec{v}$$

- L'EQUAZIONE DEL MOTO DI UN CORPO IN CADUTA LIBERA

$$mg - bv = ma \quad \text{eq. differenziale}$$



- AD ALTE VELOCITA' LA RESISTENZA E' PROPORZIONALE A v^2 . NELL'ARIA SI PUO' SCRIVERE (FORMULA EMPIRICA)

$$D = \frac{1}{2} C \rho A v^2$$

C = COEFFICIENTE AERODINAMICO

ρ = DENSITA' DELL'ARIA

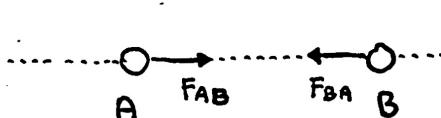
A = AREA EFFICACE DELLA SEZIONE TRASVERSALE

$$mg - \frac{1}{2} C \rho A v^2 = ma$$

$$mg - \frac{1}{2} C \rho A V_e^2 = 0$$

$$\Rightarrow V_e = \sqrt{\frac{2mg}{C \rho A}}$$

AD UNA AZIONE CORRISPONDE UNA REAZIONE
UGUALE E CONTRARIA



$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

SE IL CORPO A AGISCE SUL CORPO B CON UNA FORZA \vec{F}_{AB}
ALLORA IL CORPO B REAGISCE SUL CORPO A CON UNA
FORZA $-\vec{F}_{AB}$

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

Le forze tra i corpi si
chiamano coppia di azione-
reazione

Le due forze agiscono su corpi DIVERSI

- IL CORPO A HA MASSA m_A mentre il corpo B ha massa m_B

$$\Rightarrow \vec{F}_{BA} = m_B \cdot \vec{a}_B$$

$$\vec{F}_{AB} = m_A \cdot \vec{a}_A$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

$$m_B \cdot \vec{a}_B = -m_A \cdot \vec{a}_A$$

$$\vec{a}_B = -\frac{m_A}{m_B} \cdot \vec{a}_A$$

- SE $m_B \gg m_A \Rightarrow \vec{a}_B = 0$

- Ex: $m_B = \text{TERRA}$; $m_A = \text{MELA}$

3^a legge di Newton

Si dice che due corpi interagiscono quando ciascuno di essi esercita sull'altro una forza (p.es si attirano o si respingono)

III Principio della dinamica

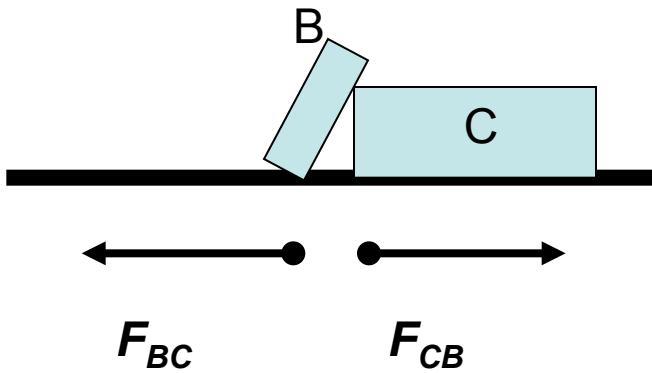
Possiamo anche dire:

- **III Legge** (Principio di azione e reazione)
Quando due corpi interagiscono (in qualunque modo) si scambiano una forza, la forza che il primo corpo esercita sul secondo F_2 è opposta alla forza che il secondo esercita sul primo F_1

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

- *Le due forze agiscono una sul primo corpo l'altra sul secondo corpo, hanno la stessa intensità, la stessa direzione ma verso opposto.*

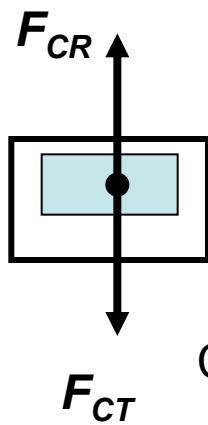
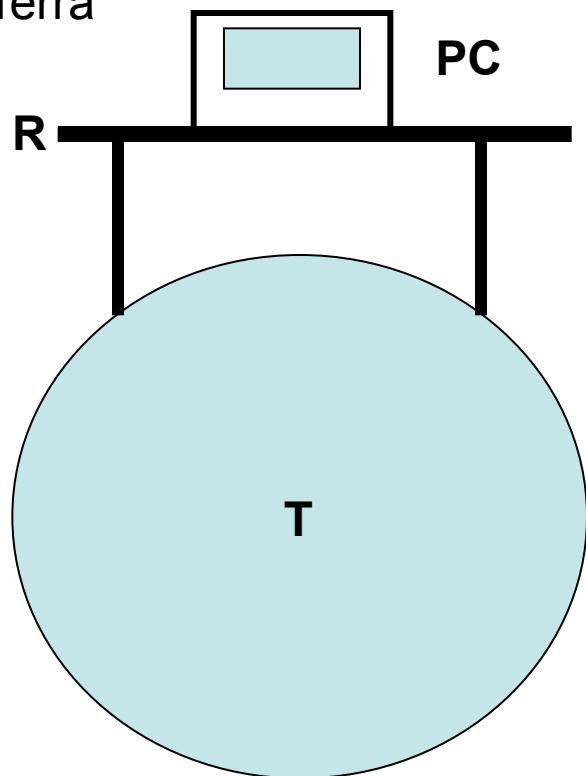
Esempi di azione-reazione



Il libro B poggia sulla cassetta C.
Il libro e la cassetta interagiscono!
Il libro B esercita una forza F_{BC} orizzontale sul libro e il libro esercita una forza F_{CB} sulla cassetta

Esempi di azione-reazione

Prendiamo un computer poggiato in quiete su un tavolo, il quale a sua volta poggia per terra \rightarrow il computer interagisce con il tavolo che interagisce con la Terra



Esaminiamo il computer: quali forze agiscono su esso?

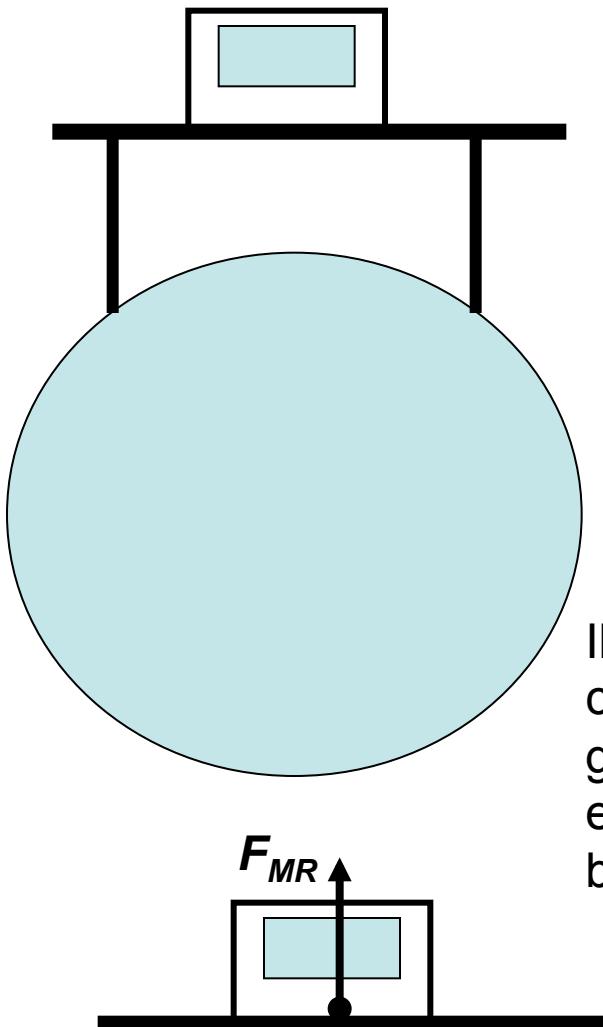
- 1) la forza di gravità della Terra F_{CT}
- 2) la reazione normale esercitata dal tavolo F_{CR}

Costituiscono una coppia azione-reazione?

NO

Perche' sono forze applicate a UN SOLO corpo \rightarrow le coppie azione-reazione sono APPLICATE a corpi DIVERSI

Esempi di azione-reazione



Se la Terra attrae il computer con forza F_{CT} , e' altrettanto vero che la Terra e' attrata dal PC con forza $-F_{CT}$

Costituiscono una coppia azione-reazione?

SI

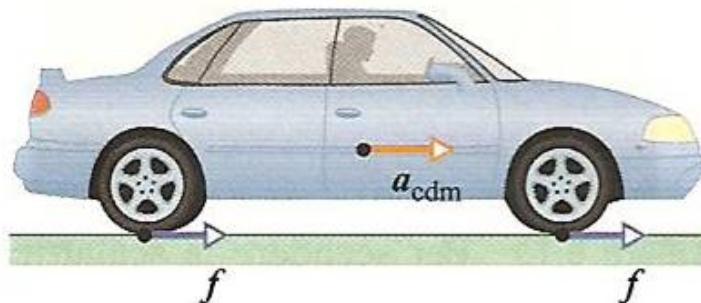
Perche' sono forze applicate a DIVERSI corpi (PC-Terra)

Il tavolo esercita una forza normale F_{CR} sul PC (quella che impedisce al PC di cadere sotto l'azione della gravita'). Se mi metto dal punto di vista del tavolo, il PC esercita una forza normale sul tavolo, diretta verso il basso $F_{RC} = -F_{CR}$

Costituiscono una coppia azione-reazione?

SI (PC-Tavolo)

Attrito: reazione



La figura 8.17 illustra un altro esempio. Un motore accresce la velocità di un'auto a quattro ruote motrici. In tale accelerazione il motore costringe le ruote a spingere indietro premendo sull'asfalto. Questa spinta suscita forze d'attrito f che agiscono su ciascun pneumatico e sono dirette in avanti. La forza esterna complessiva F , somma di tali forze d'attrito, che la pavimentazione applica all'auto, ne causa l'accelerazione

UN CAVALLO TIRA UNA SLITTA CON UNA FORZA ORIZZONTALE, PROCURANDOLE UN'ACCELERAZIONE. LA TERZA LEGGE DI NEWTON DICÈ CHE LA SLITTA ESERCITA SUL CAVALLO UNA FORZA UGUALE E OPPosta. STANNO COSÌ LE COSE, COME PUò LA SLITTA ESSERE ACCELERATA? SOTTO QUALI CONDIZIONI IL SISTEMA (CAVALLO-SLITTA) SI MUOVE CON VELOCITÀ COSTANTE?



- LE DUE FORZE (AZIONE E REAZIONE) CHE INTERVENGONO NELLA TERZA LEGGE DI NEWTON AGISCONO SU CORPI DIVERSI

- NELLA SECONDA LEGGE DI NEWTON

$$\sum_i^N \vec{f}_i = m \vec{a}$$

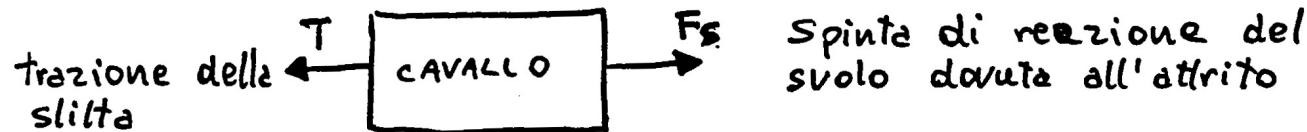
BISOGNA CONSIDERARE TUTTE E SOLO LE FORZE CHE AGISCONO SUL CORPO DI MASSA m

- CONSIDERIAMO IL CAVALLO: CON LE ZAMPE SPINGE IL SUOLO ALL'INDIETRO. IL SUOLO REAGISCE SPINGENDO IL CAVALLO IN AVANTI

N.B. SE NON VI È ATTRITO TRA GLI ZOCCOLI ED IL SUOLO, IL CAVALLO NON SI MUOVE

Fisica ragionata: azione e reazione

- CAVALLO



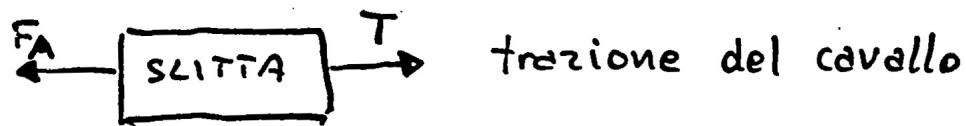
- $|F_s|$ = FORZA CON LA QUALE LE ZAMPE DEL CAVALLO SPINGONO IL SUOLO
(N.B. conta solo la componente orizzontale per il moto)
- SECONDA LEGGE DI NEWTON

$$F_s - T = m_c a \quad [m_c = \text{massa del cavallo}]$$

$$\Rightarrow \begin{cases} F_s = T \Rightarrow a = 0 & \text{IL CAVALLO SI MUOVE CON VELOCITÀ COSTANTE} \\ F_s > T \Rightarrow a > 0 & \text{IL CAVALLO ACCELERA IN AVANTI} \\ F_s < T \Rightarrow a < 0 & \text{IL CAVALLO ACCELERA INDIETRO} \end{cases}$$

- SLITTA

forza di
attrito della
slitta



- SECONDA LEGGE DI NEWTON APPLICATA ALLA SLITTA

$$T - F_A = m_s a \quad [m_s = \text{massa della slitta}]$$

$$\Rightarrow \begin{cases} T = F_A \Rightarrow a = 0 & \text{LA VELOCITÀ DELLA SLITTA È COSTANTE (OPPURE NULLA)} \\ T > F_A \Rightarrow a > 0 & \text{LA SLITTA ACCELERÀ IN AVANTI} \\ T < F_A \Rightarrow a < 0 & \text{LA SLITTA ACCELERÀ ALL'INDIETRO} \\ & [TENDÈ A FERMARSI] \end{cases}$$

AZIONE E REAZIONE : ESEMPIO CAVALLO PIÙ SLITTA

- μ_s = COEFFICIENTE ATTRITO STATICO SLITTA-SUOLO = 0.5
- μ_d = " " DINAMICO " " = 0.4
- m_s = MASSA DELLA SLITTA = 100 kg
- m_c = MASSA DEL CAVALLO = 500 kg
- F_s = FORZA DEL CAVALLO = 800 N



- IPOTESI : FUNE PRIVA DI ~~MASSA~~ ATTRITO \Rightarrow LA TENSIONE
E' LA STESSA IN TUTTI I PUNTI DELLA FUNE
- IPOTESI : FUNE INESTENSIBILE \Rightarrow GLI SPOSTAMENTI DEL
CAVALLO SONO UGUALI AGLI SPOSTAMENTI DELLA SLITTA
 \Rightarrow L'ACCELERAZIONE DEL CAVALLO E' UGUALE A QUELLA
DELLA SLITTA

- FORZA DI ATTRITO DELLA SLITTA

$$F_{As} = \mu_s \cdot N = \mu_s \cdot m_s \cdot g \quad [\text{Forza di attrito statico}]$$

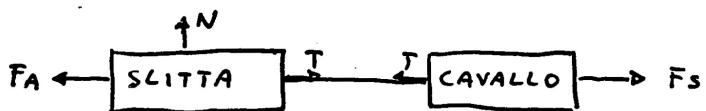
$$F_{Ad} = \mu_d \cdot N = \mu_d \cdot m_s \cdot g \quad [\text{Forza di attrito dinamico}]$$

- LEGGE DI NEWTON PER IL CAVALLO E LA SLITTA

$$\begin{cases} F_s - T = m_c \cdot \ddot{a} \\ T - F_d = m_s \cdot \ddot{a} \end{cases}$$

- LE INCOGNITE SONO T E \ddot{a} (TENSIONE DELLA CORDA E ACCELERAZIONE DEL SISTEMA)

AZIONE E REAZIONE : ESEMPIO



$$\begin{cases} F_s - T = m_c \cdot a \\ T - F_a = m_s \cdot a \end{cases}$$

- SOMMIANDO LE DUE EQUAZIONI PER ELIMINARE T

$$F_s - T + T - F_a = m_c \cdot a + m_s \cdot a = (m_c + m_s) a$$

$$a = \frac{F_s - F_a}{m_c + m_s}$$

- LA SLITTA SI METTE IN MOTO SE $F_s > F_{a_s}$

$$F_s > \mu_s \cdot m_s \cdot g = 0.5 \cdot 100 \cdot 9.8 = 490 \text{ N}$$

$F_s = 800 \text{ N} \Rightarrow$ LA SLITTA SI MUOVE.

- PER TROVARE L'ACCELERAZIONE USIAMO L'ATTRITO DINAMICO

$$a = \frac{F_s - F_{a_d}}{m_c + m_s} = \frac{F_s - \mu_d \cdot m_s \cdot g}{m_c + m_s} = \frac{800 - 0.4 \cdot 100 \cdot 9.8}{500 + 100} = 0.68 \text{ m/s}^2$$

- TROVIANO ORA LA TENSIONE DELLA FUNE USANDO, AD ESEMPIO, LA PRIMA EQUAZIONE

$$F_s - T = m_c \cdot a \Rightarrow T = F_s - m_c \cdot a =$$

$$= 800 - 500 \cdot 0.68 = 460 \text{ N}$$

- AFFINCHÉ UN CORPO PUNTIFORME (NON CONSIDERIAMO LE ROTAZIONI) RIMANGA IN EQUILIBRIO (OVRERO IN QUIETE IN UN OPPORTUNO SISTEMA DI RIFERIMENTO) SI DEVE AVERE:

$$\sum_{i=1}^N \vec{F}_i = 0 \quad ; \quad \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_i + \dots + \vec{F}_N = 0$$

CIO È LA SOMMA VETTORIALE DI TUTTE LE FORZE AGENTI SUL CORPO DEVE ESSERE NULLA

- SE LUNGO UNA DATA DIREZIONE LA SOMMA VETTORIALE È DIVERSA DA ZERO, IL CORPO INIZIERÀ AD ACCELERARE LUNGO QUELLA DATA DIREZIONE:

$$\sum_{i=1}^N \vec{F}_x^i = m \ddot{x} \Rightarrow \ddot{x} = \frac{1}{m} \left(\sum_{i=1}^N \vec{F}_x^i \right)$$

(DALLA CONOSCENZA DI \ddot{x} SI RISALE ALLA LEGGE DEL MOTO)

N. B. LA RISOLUZIONE DI GRAN PARTE DEGLI ESERCIZI DI DINAMICA CONSISTE NELL'APPLICAZIONE DI QUESTO PRINCIPIO

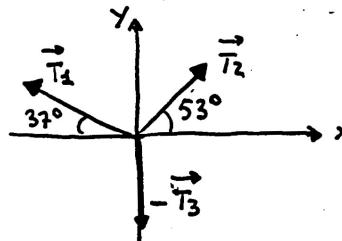
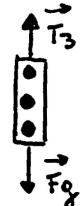
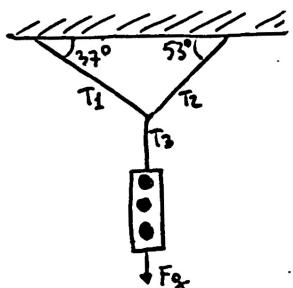
N. B. IL MOTO LUNGO I TRE ASSI CARTESIANI PUO' ESSERE TRATTATO SEPARATAMENTE, CIOÈ IL CORPO PUO' AVERE CONTEMPORANEAMENTE $\ddot{x} \neq \ddot{y} \neq \ddot{z}$.

LA SCELTA DEI TRE ASSI CARTESIANI È LIBERA E VA FATTA CERCANDO DI SEMPLIFICARE LA SOLUZIONE DEL PROBLEMA, AD ESEMPIO FACENDO IN MODO CHE $\ddot{x} \neq 0$; $\ddot{y} = 0$; $\ddot{z} = 0$

Equilibrio di forze

SENAFORO SOSPESO

UN SENAFORO DI PESO 125 N PENDE DA UN CAVO
LEGATO A DUE ALTRI CAVI TRATTENUTI DA UN SUPPORTO
COME IN FIGURA. DETERMINARE LA TENSIONE DEI TRE CAVI



- AFFINCHÉ IL SENAFORO NON CADA DOBBIAMO AVERE:

$$\vec{F}_g + \vec{T}_3 = 0 \Rightarrow \vec{T}_3 = -\vec{F}_g \Rightarrow |\vec{T}_3| = |\vec{F}_g| = \underline{125\text{ N}}$$

- INOLTRE LA SOMMA VETTORIALE DELLE TRE TENSIONI
DEVE ESSERE NULLA

$$\vec{T}_1 + \vec{T}_2 + (-\vec{T}_3) = 0$$

PROIETTIAMO SUI DUE ASSI:

$$\begin{cases} -|T_3| \cos 37^\circ + |T_2| \cos 53^\circ = 0 \\ |T_3| \sin 37^\circ + |T_2| \sin 53^\circ - |T_1| = 0 \end{cases}$$

- DALLA PRIMA ABBIAMO:

$$|T_2| = |T_3| \frac{\cos 37^\circ}{\cos 53^\circ} = 1.33 \cdot |T_3|$$

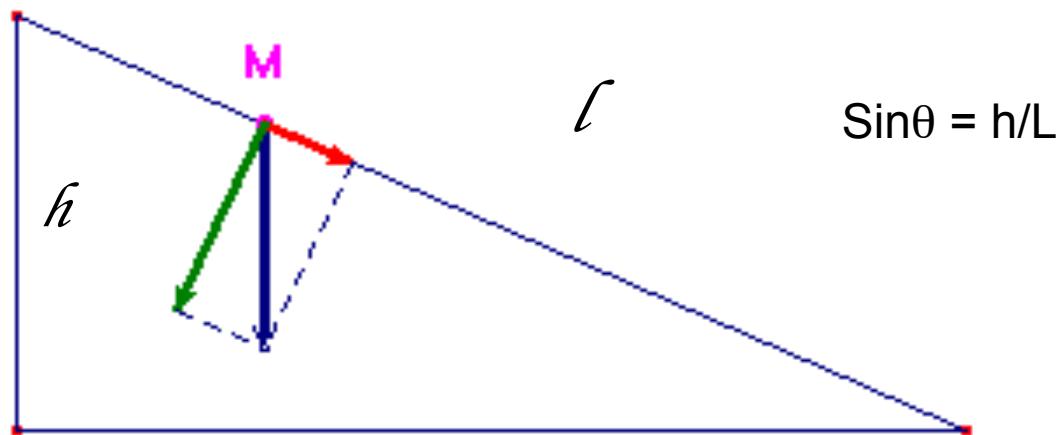
$$\Rightarrow |T_1| \sin 37^\circ + (1.33 \cdot |T_3|) \cdot \sin 53^\circ - 125 = 0$$

$$|T_1| = \frac{125}{\sin 37^\circ + 1.33 \cdot \sin 53^\circ} = \underline{75.1\text{ N}}$$

$$|T_2| = 1.33 \cdot |T_1| = 1.33 \cdot 75.1 = \underline{99.8\text{ N}}$$

Piano inclinato

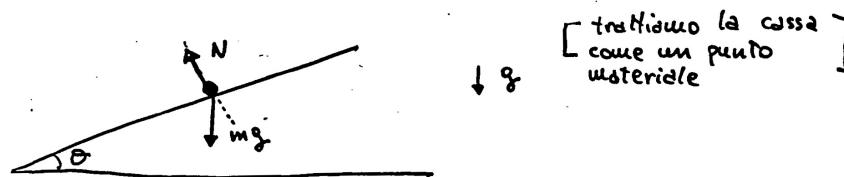
- Il peso può essere pensato scomposto in due forze: una parallela al piano ed una perpendicolare ad essa. Quest'ultima è controbilanciata dal piano stesso:



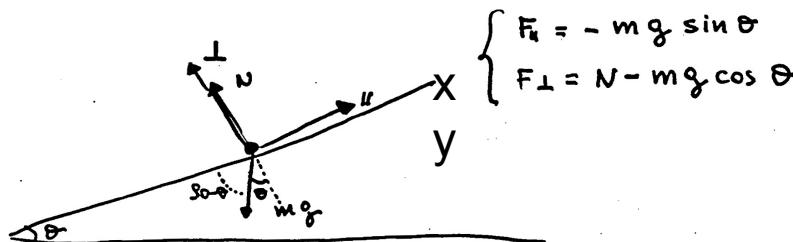
- Maggiore inclinazione \Rightarrow maggiore componente della forza peso nella direzione del moto
- La componente del peso nella direzione del moto è
 $P_P = Ph/l \Rightarrow a = gh/l$
- Se il corpo parte da fermo arriva in fondo con la velocità $v^2 = 2gh$

CASSA SU UN PIANO INCLINATO LISCIO

UNA CASSA DI MASSA m È POSTA SU UN PIANO INCLINATO LISCIO FORMANTE UN ANGOLO θ CON L'ORIZZONTALE.
TROVARE L'ACCELERAZIONE DELLA CASSA DOPO CHE VIENE ABANDONATA.



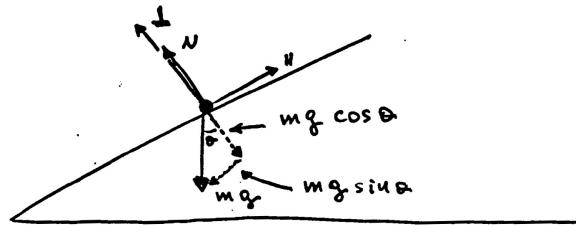
- SULLA CASSA AGISCONO SOLO DUE FORZE:
 - LA FORZA PESO mg DIRETTA VERSO IL BASSO
 - LA REAZIONE N DEL PIANO, ORTOGONALE AL PIANO STESSO, CHE IMPEDISCE AL CORPO DI SPROFONDARE NEL PIANO STESSO.
 - IL PIANO È LISCIO QUINDI NON VI È FORZA D'ANTRITO
- PROIETTIAMO TUTTE LE FORZE LUNGO UN ASSE PARALLELO AL PIANO INCLINATO ED UNO ORTOGONALE AL PIANO



N. B. PER $\theta = 0$ ABBIAMO $F_{\parallel} = 0$ E $F_{\perp} = N - mg$

Tracciate il diagramma vettoriale delle forze agenti

NB: conviene scegliere un asse (p.es x) parallelo al piano inclinato poiche' e' il piano lungo il quale avviene il moto



- LE PROIEZIONI DELLE FORZE SONO:

$$\begin{cases} F_{\parallel} = -mg \sin \theta \\ F_{\perp} = N - mg \cos \theta \end{cases}$$

- POSSIAMO APPLICARE ORA LA LEGGE DI NEWTON

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

$$\begin{cases} F_{\parallel} = m a_{\parallel} \Rightarrow -mg \sin \theta = m a_{\parallel} \\ F_{\perp} = m a_{\perp} \Rightarrow N - mg \cos \theta = m a_{\perp} \end{cases}$$

- SAPPIAMO CHE LA CASSA NON SPLOPPIA DENTRO IL PIANO INCLINATO, QUINDI $a_{\perp} = 0$

[LA CASSA ERA FERMA E CONTINUA A MANTENERE FERMA]
LUNGO L'ASSE \perp

$$a_{\perp} = 0 \Rightarrow N - mg \cos \theta = 0 \Rightarrow N = mg \cos \theta$$

- LA REAZIONE NORMALE DEL PIANO VALÈ:

$$N = mg \cos \theta$$

- LUNGO L'ASSE PARALLELO AL PIANO LA CASSA SI MUOVE ED HA ACCELERAZIONE PARI A:

$$-mg \sin \theta = ma_{\parallel} \quad [\text{le masse si semplificano}]$$

$$a_{\parallel} = -g \sin \theta$$

N.B. IL SEGNO - DIPENDE DALL'ORIENTAZIONE SCELTA PER a_{\parallel}

Piano inclinato

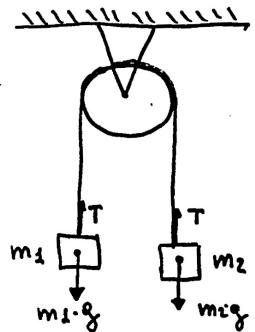
- Usare profili in alluminio o canaline (sezione a forma di U) e una pila di sostegni
- Verificare con un dinamometro (o con un elastico) che maggiore inclinazione implica maggiore forza agente sul corpo.
- Far scivolare vari oggetti (palline, macchinine, ecc.)
- Sapone o cera per ridurre l'attrito
- Prendere i tempi di caduta
- Misurare la distanza percorsa sul piano orizzontale (moto uniformemente decelerato)
- Costruire istogrammi

Ridurre l'attrito

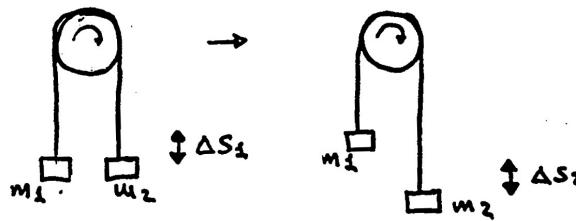
Situazioni con attrito trascurabile:

- Ghiaccio
- Cuscino a gas
- Rotaie a cuscino d'aria

LA MACCHINA DI ATWOOD (CARRUCOLA)



- IPOTESI: LA CORDA È INESTENSIBILE ED HA MASSA TRASCURABILE (RISPETTO A m_1 E m_2)
 \Rightarrow LA TENSIONE T È LA STESSA LUNGO TUTTA LA CORDA
- IPOTESI: ANCHE LA CARRUCOLA È PRIVA DI MASSA (altrimenti dovremmo introdurre il momento d'inerzia)
- I DUE CORPI SONO COLLEGATI DALLA FUNE (INESTENSIBILE); QUINDI GLI SPOSTAMENTI SONO UGUALI



$$|\Delta s_1| = |\Delta s_2|$$

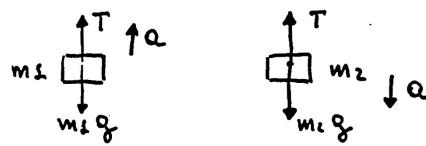
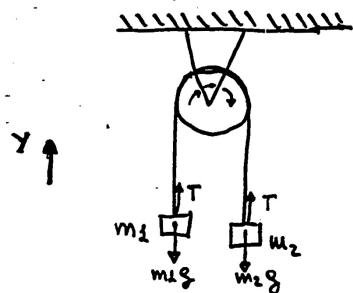
$$|v_1| = |v_2|$$

$$|a_1| = |a_2| = a$$

I DUE CORPI HANNO LA STESSA ACCELERAZIONE A DIRETTA IN VERSO OPPOSTO

$$a_1 = -a \text{ e } a_2 = a$$

MACCHINA DI ATWOOD [...CONTINUA]



- SCRIVIAMO LA LEGGE DI NEWTON SEPARATAMENTE PER I DUE CORPI

$$\begin{cases} T - m_1 \cdot g = m_1 \cdot Q_1 = m_1 \cdot Q \\ T - m_2 \cdot g = m_2 \cdot Q_2 = -m_2 \cdot Q \end{cases} \quad [Q_1 = Q; Q_2 = -Q]$$

- SOTTRAIAMO LA SECONDA EQUAZIONE DALLA PRIMA PER TROVARE L'ACCELERAZIONE

$$(T - m_1 g) - (T - m_2 g) = m_1 Q - (-m_2 Q)$$

$$m_2 g - m_1 g = m_1 Q + m_2 Q$$

$$g (m_2 - m_1) = Q (m_1 + m_2)$$

$$Q = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} g$$

- $m_2 = m_1 \Rightarrow Q = 0$ I DUE CORPI RIMANGONO IN EQUILIBRIO. NON SI MUOVONO
- $m_2 > m_1 \Rightarrow Q > 0$ m_1 VA VERSO L'ALTO E m_2 SI ABBASSA
- $m_2 < m_1 \Rightarrow Q < 0 \Rightarrow Q_1 < 0$ IL CORPO m_1 SI ABBASSA E m_2 SI ALZA

MACCHINA DI ATWOOD [... CONTINUA]

- CALCOLIAMO LA TENSIONE DELLA CORDA

$$\begin{cases} T - m_1 g = m_1 Q \\ T - m_2 g = -m_2 Q \end{cases} \quad Q = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} g$$

INSEGNAMO Q NELLA PRIMA EQUAZIONE

$$\begin{aligned} T &= m_1 g + m_1 Q = m_1 g + m_1 \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} g = \\ &= m_1 g + \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} g - \frac{m_1^2}{m_1 + m_2} g = \\ &= g \left[\frac{m_1 (m_1 + m_2) + m_1 m_2 - m_1^2}{m_1 + m_2} \right] = \\ &= g \left[\frac{m_1^2 + m_1 m_2 + m_1 m_2 - m_1^2}{m_1 + m_2} \right] = \\ &= \boxed{\frac{2 m_1 m_2}{m_1 + m_2} g} \end{aligned}$$

- SE LE DUE MASSE SONO uguali SI HA:

$$T = \frac{2 m^2}{m + m} g = \frac{2 m^2}{2 m} g = \underline{m g}$$