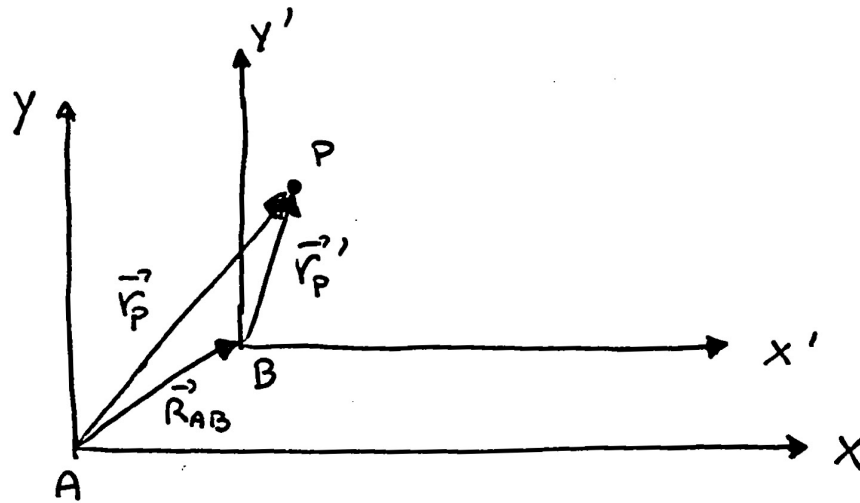


Lez 5 12/10/2016

- Lezioni in http://www.fisgeo.unipg.it/~fiandrin/didattica_fisica/did_fis1617/

Moto relativo in 2 e 3 dim



$$\vec{r}_P = \vec{r}_{AB} + \vec{r}_P' \quad \bullet \text{ posizione del punto } P$$

- VELOCITA' DEL PUNTO P

$$\vec{V}_P = \frac{d\vec{r}_P}{dt} = \frac{d\vec{r}_{AB}}{dt} + \frac{d\vec{r}_P'}{dt}$$

- SUPPONIAMO CHE IL SISTEMA B SI MUOVA CON VELOCITA' COSTANTE \vec{V}_{AB} RISPETTO AL SISTEMA A

$$\bullet \vec{V}_P = \vec{V}_{AB} + \vec{V}_P'$$

- CALCOLIAMO L'ACCELERAZIONE:

$$\vec{a}_P = \frac{d\vec{V}_P}{dt} = \frac{d\vec{V}_{AB}}{dt} + \frac{d\vec{V}_P'}{dt}$$

$$\vec{a}_P = \vec{a}_P'$$

IL TERMINALE DELL'AEROPORTO DI GINEVRA HA UN MARCIAPED
MOBILE PER TRASFERIRE RAPIDAMENTE I PASSEGGERI IN UN LUNGO
CORRIDOIO. PIETRO, CHE CAMMINA NEL CORRIDOIO SENZA USARE IL
MARCIAPED MOBILE, IMPIEGA 150 S PER PERCORRERLO.

PAOLO, CHE SE VE STA FERMO SUL MARCIAPED MOBILE, COPRE LA
STESSA DISTANZA IN 70 S. MARIA NON SOLO USA IL MARCIAPED
MOBILE, MA CAMMINA NELLA STESSA DIREZIONE, ALLO STESSO PASSO
DI PIETRO. QUANTO TEMPO IMPIEGHERA' MARIA?

o o o o

L = LUNGHEZZA DEL CORRIDOIO



$$V_{PIETRO} = \frac{L}{T_{PIETRO}} = \frac{L}{150} \text{ m/s}$$

$$V_{PAOLO} = \frac{L}{T_{PAOLO}} = \frac{L}{70} \text{ m/s}$$

$$V_{MARIA} = V_{PAOLO} + V_{PIETRO}$$

$$T_{MARIA} = \frac{L}{V_{MARIA}} = \frac{L}{V_{PAOLO} + V_{PIETRO}}$$

$$= \frac{L}{\frac{L}{150} + \frac{L}{70}} = \frac{1}{\frac{1}{150} + \frac{1}{70}} = \frac{150 \cdot 70}{150 + 70} = 47.7 \text{ s}$$

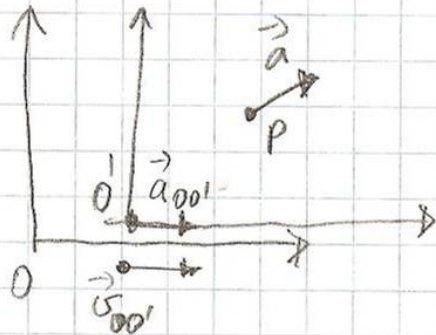
Esercizio

Principio di inerzia

- NON TUTTI I RIF. SONO INERZIALI. INFATTI DAI MOTI RELAT.

$$\vec{v} = \vec{v}_{00'} + \vec{v}' \Rightarrow \vec{a} = \vec{a}_{00'} + \vec{a}' \Rightarrow \vec{a} \neq \vec{a}' \text{ se } \vec{a}_{00'} \neq 0 \text{ e}$$

$$\vec{a}' = \vec{a}_{00'} \text{ se } \vec{a} = 0 \Rightarrow \text{In } O', P \text{ possiede accel. che non e' dovuta}$$



ad interazioni fisiche con altri corpi, ma solo al fatto che O' è accelerato rispetto ad $O \Rightarrow$ Un osserv. in O' vede P "accelerare" (i.e. cambiare \vec{v}) SENZA cause fisica

Puo' tenere conto di $\vec{a}_{00'}$, ma la descrizione è più complicata in O' rispetto ad O (assunto inerziale) \Rightarrow "CAUSE APPARENTI"

- I RIFERIMENTI INERZIALI SONO QUELLI IN CUI COMPAIONO SOLO CAUSE FISICHE (e quindi la descrizione è la più semplice possibile)

Principio di inerzia

- TROVATO UN SISTEMA DI RIFERIMENTO INERZIALE TUTTI GLI ALTRI CHE SI MUOVONO RISPETTO A QUESTO DI MOTO RETTILINEO UNIFORME SONO ANCH'ESSI INERZIALI.
- QUINDI IL PRIMO PRINCIPIO DELLA DINAMICA O PRIMA LEGGE DI NEWTON, PUO' ESSERE FORMULATO COME:

Un corpo non soggetto a interazioni o rimane in quiete o si muove di moto rettilineo uniforme rispetto a un sistema inerziale

➡ LA PRIMA LEGGE E' UNA DEFINIZIONE DI UN SISTEMA DI RIFERIMENTO INERZIALE

L'inerzia di un corpo e' la sua tendenza a permanere nel suo stato di moto in assenza di agenti esterni

- NB: nessuna interazione puo' significare:
 - Corpo isolato
 - Soggetto a interazioni che si annullano a vicenda (si assume che l'interazione totale di piu' agenti sia la sovrapposizione delle interazioni dei singoli agenti)
- Occorre un'interazione netta per cambiare lo stato di moto di un punto materiale
- Un punto materiale si “oppone” alla variazione dello stato di moto. **L'inerzia e' data dal rapporto tra l'agente dell'interazione e la variazione di moto che produce**

- Per definizione, le interazioni vengono descritte dalle forze
- Le variazioni di moto dalle accelerazioni
- quindi l'inerzia misura il rapporto tra la forza che agisce e l'accelerazione prodotta: se non ci fosse inerzia, qualsiasi interazione produrrebbe accelerazioni infinite o viceversa potremmo avere accelerazioni $\neq 0$ con forze $= 0$...ma non e' quello che si osserva sperimentalmente!
- Abbiamo bisogno di un numero che caratterizzi questa opposizione: la massa

Misura della Forza

- SAPPIAMO CHE APPLICANDO UNA FORZA AD UN CORPO NE CAMBIAMO LO STATO DI MOTO, VALE A DIRE PROVOCHIAMO UN'ACCELERAZIONE.

- SAPPIAMO MISURARE LE ACCELERAZIONI DI UN CORPO, POSSIAMO QUINDI MISURARE ANCHE LE FORZE
[MISURA DINAMICA]

- Scegliamo un corpo di riferimento (arbitrario) che usiamo come campione per la definizione della "forza"

[LA SCELTA DELL'UNITA' DI MISURA E' ARBITRARIA].

- APPLICHIAMO UNA FORZA AL CORPO DI RIFERIMENTO ;
LA FORZA CHE PROVOCA UN'ACCELERAZIONE UNITARIA,
CIOE' DI 1 m/s^2 VERRA' DEFINITA COME FORZA UNITARIA.
NEL SISTEMA MKS SI MISURA IN NEWTON N .

- LA FORZA CHE PROVOCA UN'ACCELERAZIONE DEL CORPO DI RIFERIMENTO DI 2 m/s^2 SARA DI $2 N$.

ALL'ACCELERAZIONE DI 4 m/s^2 CORRISPONDE UNA FORZA DI $4 N$ E COSI' VIA.

- L'ACCELERAZIONE È UN VETTORE, E LA FORZA?
- SAPPIAMO CHE POSSIAMO APPLICARE LA STESSA FORZA IN DIVERSE DIREZIONI, MA CIÒ NON BASTA PER ASSEGNARE IL CARATTERE VETTORIALE DI UNA GRANDEZZA.
- LA DIREZIONE LUNGO LA QUALE APPLICHIAMO LA FORZA È LA STESSA DELL'ACCELERAZIONE RISULTANTE, MA ANCORA NON BASTA.
- LA FORZA AFFINCHÉ' ABBAIA LE PROPRIETÀ' DI UN VETTORE DEVE SODDISFARLE LE STESSÉ REGOLE DI SOMMA E SCOMPOSIZIONE PROPRIE DEI VETTORI

$$\vec{F}_3 = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

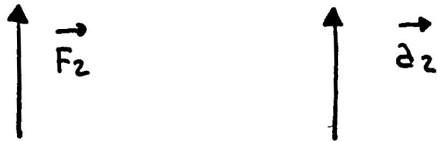
$$\vec{F} = F_x \hat{i} + F_y \hat{j} + F_z \hat{k}$$

- APPLICHIAMO UNA FORZA \vec{F}_1 AL CORPO DI PROVA
E MISURIAMO \vec{a}_1

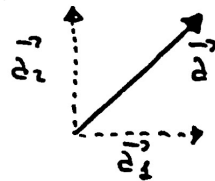
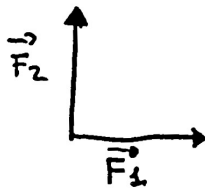


La forza e' un vettore

- APPLICHIAMO POI \vec{F}_2 E MISURIAMO \vec{a}_2



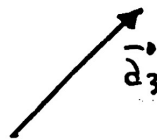
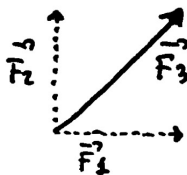
- APPLICHIAMO CONTEMPORANEAMENTE \vec{F}_1 E \vec{F}_2
E VEDIAMO SE L'ACCELERAZIONE RISULTANTE E' UGUALE
A $\vec{a}_1 + \vec{a}_2$



$$\vec{a} = \vec{a}_1 + \vec{a}_2 ?$$

[SI]

- APPLICHIAMO UNA FORZA \vec{F}_3 UGUALE ALLA SOMMA VETTORIALE
DI \vec{F}_1 E \vec{F}_2 . VERIFICHIAMO SE $\vec{a}_3 = \vec{a} = \vec{a}_1 + \vec{a}_2$



- TUTTO CIÒ SI VERIFICA SPERIMENTALMENTE.
LA FORZA E' UN VETTORE.

Forza

- Quindi se due o piu' forze agiscono, possiamo comporle per trovare la forza netta **risultante**
- 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

- Quindi dire che per un corpo $F=0$ non implica che non agiscano forze, ma che la loro risultante e' nulla
- La prima legge di Newton puo' essere riformulata:

quando la forza netta e' nulla, la velocita' del corpo non puo' cambiare, cioe' $\underline{a}=0$ rispetto ad un osservatore inerziale

Forza

- La prima legge di Newton NON e' valida in tutti i sistemi di riferimento ma solo in quelli inerziali (di cui costituisce la definizione)
- Nei riferimenti inerziali la descrizione della dinamica e' la piu' semplice possibile. Negli altri, occorre introdurre **forze apparenti**, non dovute a contatto o interazioni con altri corpi, ma sono solo una manifestazione del fatto che il moto relativo non avviene a velocita' costante

- P. Es. Possiamo assumere che il terreno sia un sistema inerziale, se possiamo trascurare gli effetti della rotazione terrestre: se lanciamo una biglia in un biliardo, distanze e tempi del moto sono tali che possiamo trascurare gli effetti della rotazione.
- Se lanciamo un oggetto dal polo nord verso l'equatore (p es un razzo), un osservatore solidale con Terra (cioe' ancorato al terreno), vedrebbe l'oggetto deviare verso ovest, senza che vi sia alcuna ragione fisica (cioe' forza dovuta a contatto o interazioni con altri corpi). L'effetto e' l'accelerazione (o forza) di Coriolis ed e' una manifestazione che la Terra in questo caso non e' inerziale e quindi il primo principio non vale.
- Per un osservatore inerziale, la deviazione e' dovuta al fatto che la Terra e' ruotata "sotto" l'oggetto durante il tempo di volo. Non c'e' bisogno di introdurre forze fittizie

La massa

- ABBIAMO VISTO CHE APPLICANDO FORZE DIVERSE AL CORPO DI RIFERIMENTO OTTENIAMO ACCELERAZIONI DIVERSE.

- COSA SUCCEDERÀ ORA SE APPLICHIAMO LA STESSA FORZA A CORPI DIVERSI?

OTTENIAMO SEMPRE LA STESSA ACCELERAZIONE?

ACCELERAZIONI DIVERSE?

CHE RELAZIONE C'È TRA LE DIVERSE ACCELERAZIONI?

- APPLICHIAMO LA FORZA UNITARIA AD UN CORPO DIVERSO DAL CORPO DI RIFERIMENTO.

ASSUMIAMO CHE OGNI CORPO ABBA UNA PROPRIETÀ' CHIAMATA MASSA.

LA MASSA DEL CORPO DI RIFERIMENTO SIA m_0 E QUELLA DELL'ALTRO CORPO SIA m_x (MASSA INCOGNITA)

- MISURIAMO UN'ACCELERAZIONE a_x

FACCIAMO LA SEGUENTE CONGETTURA:

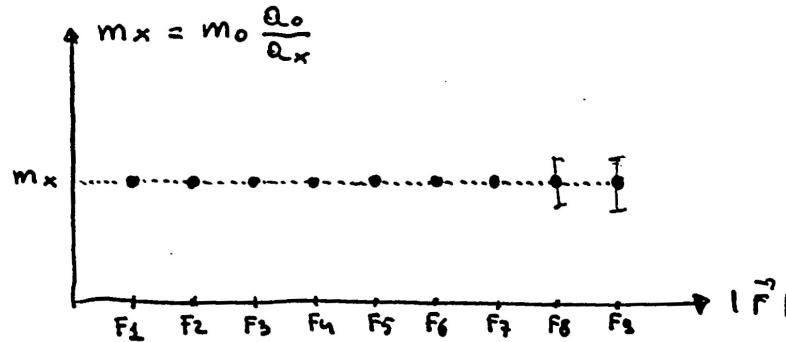
$$m_x a_x = m_0 a_0$$

$$\Rightarrow m_x = m_0 \frac{a_0}{a_x}$$

La massa e' una proprieta' intrinseca del corpo?

- APPLICHIAMO DIVERSE FORZE SIA AL CORPO m_0 CHE AL CORPO DI MASSA INCOGNITA m_x E MISURIAMO LE ACCELERAZIONI DI m_0 E m_x

- COSTRUIAMO IL GRAFICO SEGUENTE



- CAMBIANDO LE FORZE VARIANO SIA a_0 CHE a_x IN MODO TALE CHE IL LORO RAPPORTO RIMANGA COSTANTE

- SI PUO' RIPETERE L'ESPERIMENTO CAMBIANDO LE DIREZIONI DELLE FORZE E SI VERIFICA CHE IL VALORE m_x CHE SI MISURA NON DIPENDE DALLA DIREZIONE DELL'ACCELERAZIONE DEL CORPO.

m E' UNO SCALARE

- LA MASSA E' UNA CARATTERISTICA INTRINSECA DI UN CORPO

- LA MASSA ESPRIME LA TENDENZA DI UN CORPO A MANTENERE INVARIATO IL SUO STATO DI MOTO.

MAGGIORE E' LA MASSA PIU' DIFFICILE SARA' CAMBIARE LA SUA VELOCITA'.

cioe' misura l'inerzia del corpo

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

2^a legge di Newton

- LE VARIE OSSERVAZIONI Sperimentali SULLA MISURA DI FORZE, MASSE ED ACCELERAZIONI, FONDANO 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

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, \vec{F}_{net} e' nulla, cioe' le forze si compensano fra loro, anche \vec{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
(PIU' AVANTI VEDREMO CHE ESISTONO SOLO LE SECONDE,
MENTRE NEL SEGUITO FAREMO DEGLI ESEMPLI 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 ELETTROMAGNETICA

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 ELETTROMAGNETICA

- TUTTE LE FORZE DI CONTATTO (ATTRITO, TENSIONE, FORZA NORMALE ETC...) SONO MANIFESTAZIONI DELLA FORZA ELETTROMAGNETICA

• 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

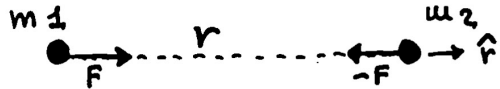
Fisica nucleare, delle particelle

• 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:

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

Forza a distanza: gravitazione

- 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

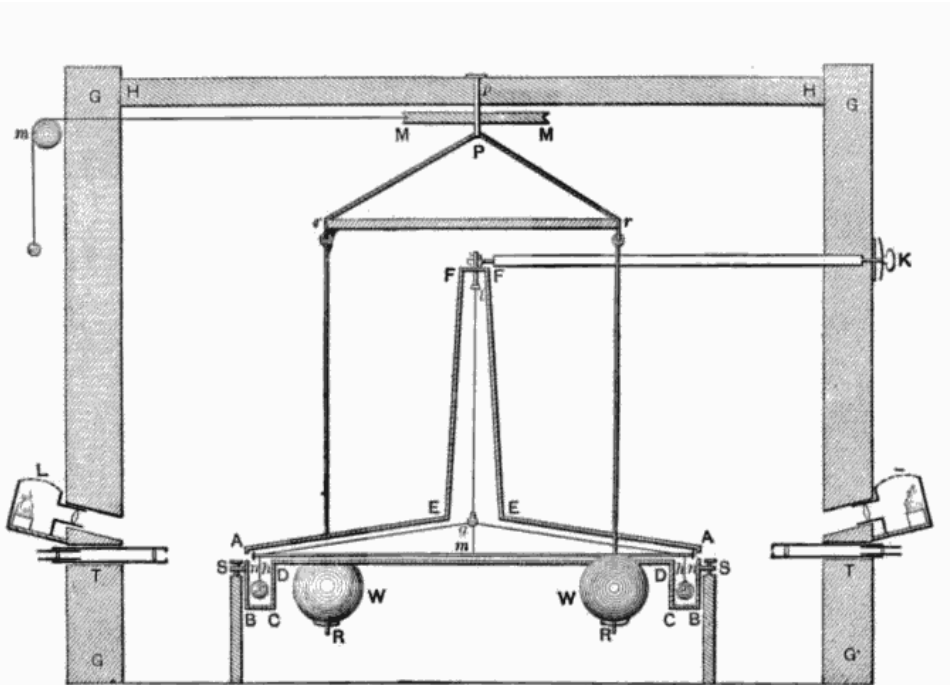
$$\vec{F}_1 = - G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \hat{r}$$

- LA MASSA GRAVITAZIONALE È LA MASSA INERZIALE ($\vec{F} = m\vec{a}$)
SONO DUE COSE 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.

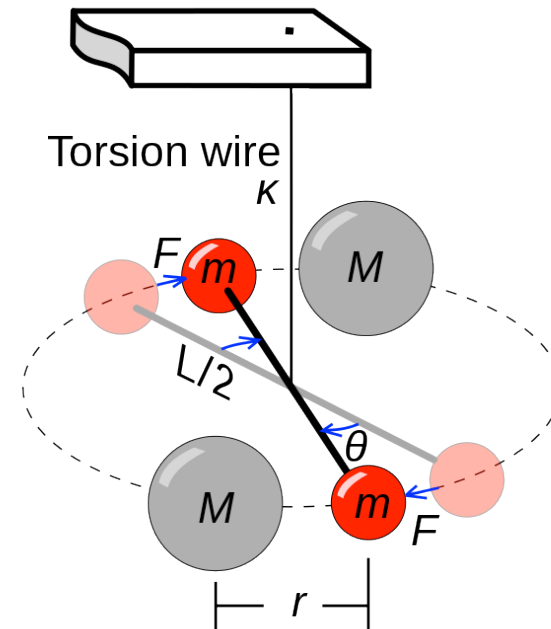
Misure di G

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

Scarsa accuratezza nella conoscenza di masse e raggi dei pianeti

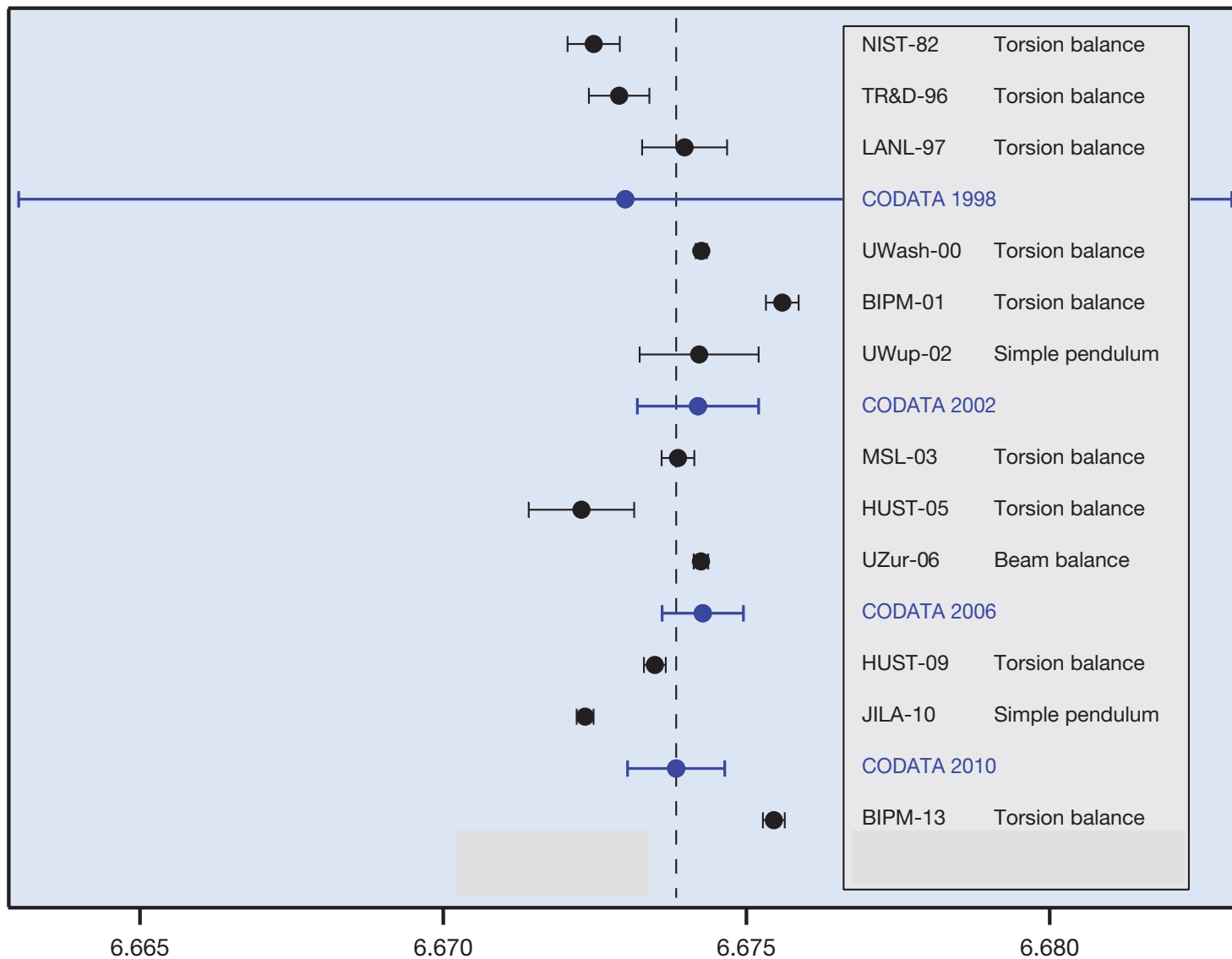


E. Fiandrini Fis. Ser e Appl. ^{Fig. 1}
Dit. 1817



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

Forza peso

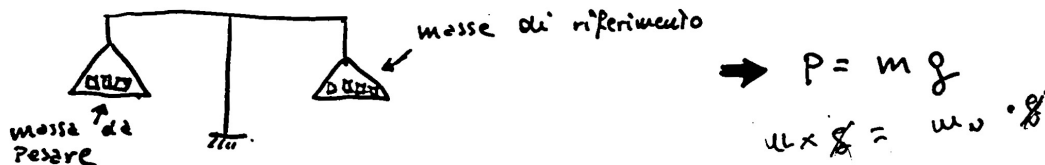
- DEL CASO IN CUI IL CORPO SIA VICINO ALLA SUPERFICIE TERRESTRE SI HA:

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

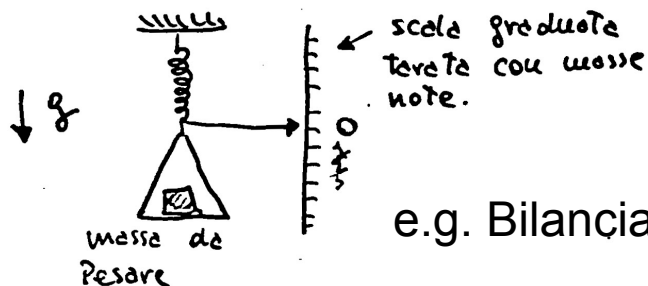
oppure

$$\vec{p} = -m g \hat{j} \quad \text{oppure} \quad \vec{p} = m \vec{g}$$

- LA MASSA DI UN CORPO È DEFINITO IN MANIERA UNIVUCA, 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

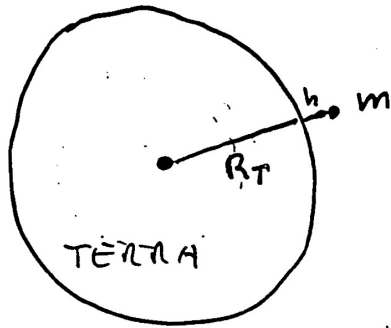


- BILANCIA A MOLLA (DINAMOMETRO)



e.g. Bilancia pesapersona

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



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

$$R_T = 6.37 \cdot 10^6 \text{ m}$$

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

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

Forza di gravita'
in prox della
superficie
terrestre

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

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

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

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

- ALL' EQUATORE L'EFFETTO E' MASSIMO

$$\omega^2 R_T = 0.03 \text{ m/s}^2$$

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

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 $P=m$)

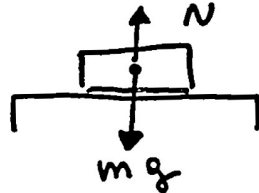
Se ci spostiamo in una regione in cui g assume un valore diverso ANCHE il peso sara' diverso, mentre la massa (intrinseca al corpo) NON cambia

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 COMPRIME UNA SUPERFICIE RICEVE UNA FORZA PERPENDICOLARE ALLA SUPERFICIE STESSA.



$$N = mg$$

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

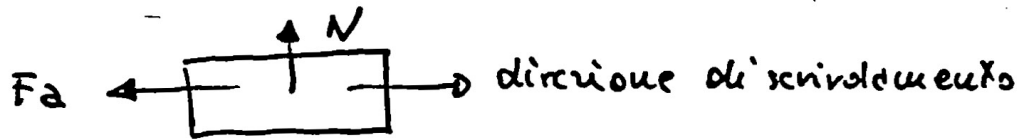
Esempio: un libro poggiato su un tavolo orizzontale. Se non ci fosse, il libro cadrebbe sotto l'azione del peso. La presenza del tavolo impedisce al libro di cadere → e' come se ci fosse una forza applicata al libro diretta lungo la normale al tavolo che si oppone al peso (dovuta alle forze di legame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



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

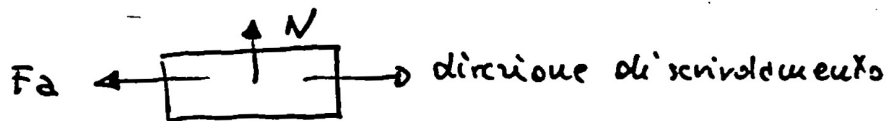
L'attrito e' fondamentale e inevitabile:

- ☐ Se dominasse, incollerebbe ogni cosa a contatto, bloccherebbe ogni ruota che gira o asse rotante (eg il 20% della benzina e' 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

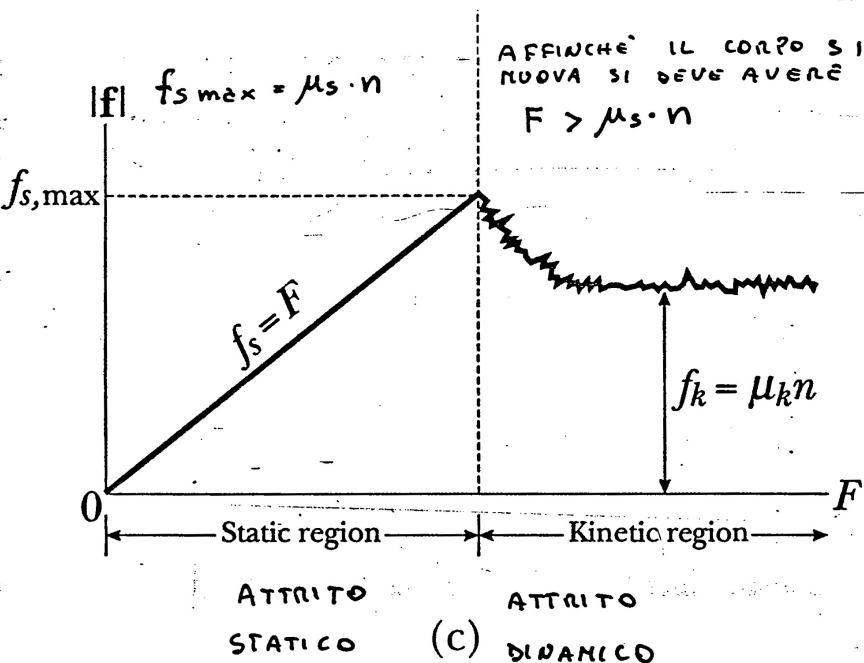
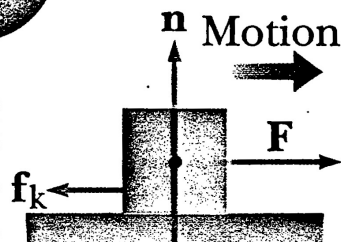
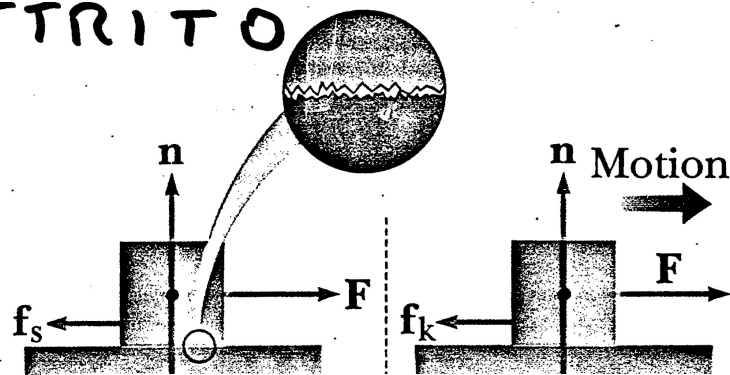
Gli esperimenti mostrano che, quando un corpo e' premuto contro una superficie da una forza F_N e un'altra forza F tende a far slittare il corpo lungo la superficie, la forza di attrito risultante ha le seguenti proprieta':

- ❑ Se il corpo e' in quiete, \underline{f}_s e la componente di \underline{F} parallela alla superficie, F_k , hanno la stessa intensita' con f_s diretta nel verso opposto a F_k
- ❑ L'intensita' di f_s puo' raggiungere un max $f_{s,max}$ dato da $f_{s,max} = \mu_s F_N$ dove F_N e' 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 e' il coeff. di attrito statico
- ❑ Se il corpo comincia scivolare lungo la superficie, l'intensita' della forza di attrito decresce rapidamente fino al valore $f_k = \mu_k F_N$, dove μ_k e' 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 è la risultante (vettore) delle forze dovute ai microcontatti casuali. Durante il moto ci sono meno microcontatti $\rightarrow f_k < f_s$

□ Se si premono una contro l'altra maggiormente le superfici, ci sono più microcontatti \rightarrow l'attrito cresce

□ Il tipico rumore stridulo dello sfregamento di due superfici secche è dovuto a questi brevissimi periodi di adesione e slittamento (esempio: gesso o unghie sulla lavagna)