

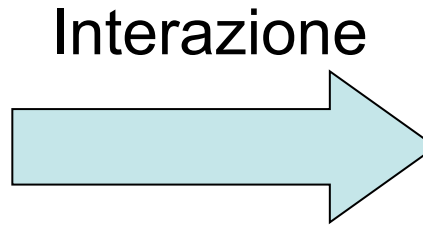
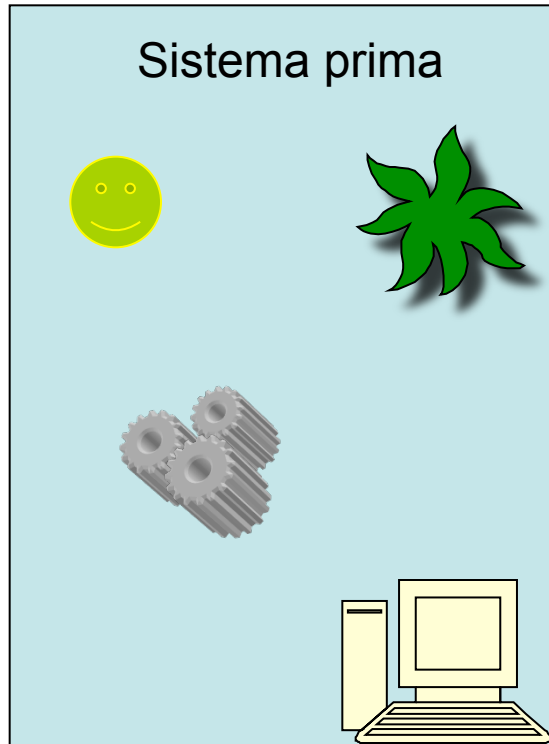
# Lez 6 141015

# Dinamica

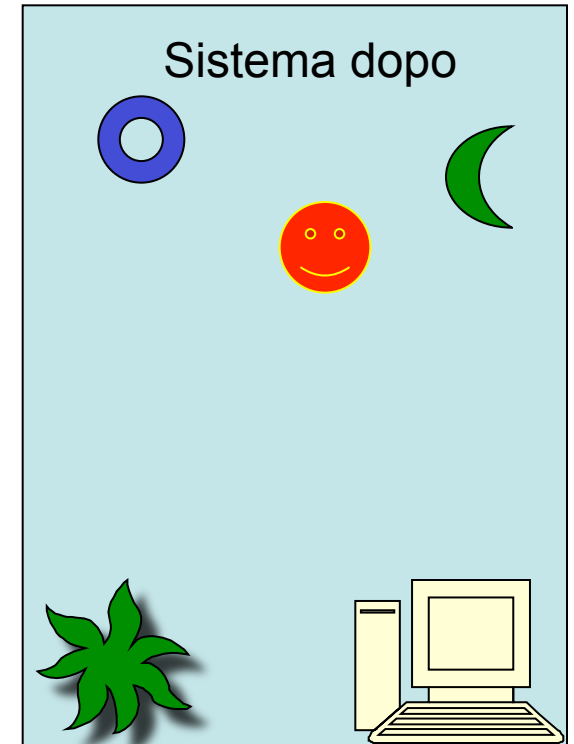
- ❑ La cinematica studia le caratteristiche del moto senza indagare le cause del moto
- ❑ La dinamica studia le cause delle variazioni moto e le sue relazioni con le variabili cinematiche, ovvero le **interazioni del punto materiale con l'ambiente circostante** che ne variano lo stato di moto
- ❑ L'accelerazione 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**

# Cos'è un'interazione?

È “qualcosa” che cambia lo stato o configurazione del sistema, p. es. la velocità, la temperatura, il colore, ...



Nella visione classica, le interazioni sono descritte dalla grandezza fisica che chiamiamo “forza”.



# Leggi fondamentali della dinamica

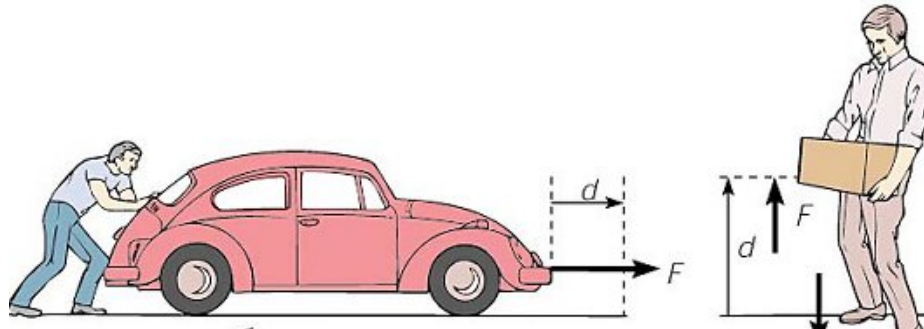
[I. Newton, ~ 300 anni fa]

- Dal punto di vista della logica formale, sono postulati da cui è possibile derivare altre leggi come teoremi.
- Sono state scelte in modo che esse, e le loro conseguenze, siano in accordo, entro le precisioni di misura, con le osservazioni sperimentali effettuate.
- Nel tempo, nuovi fenomeni (o migliori precisioni) → miglioramenti successivi; le vecchie leggi sono prime approssimazioni delle nuove (ex. relatività speciale, meccanica quantistica).



# Dinamica

- PRIMA DI GALILEO SI PENSAVA CHE LO STATO NATURALE DI UN CORPO FOSSE LA QUIETE. UN CORPO LASCIATO A SE STESSO RIMANEVA FERMO.
- UN CORPO SI METTEVA IN MOTO SOLTANTO SE VI ERA UN AGENTE CHE AGIVA SU DI ESSO. IMMAGINATE UN CARRO TRAINATO DA UN CAVALLO. SE STACCATE IL CAVALLO DAL CARRO QUESTO SI FERMA.
- SE SIETE VOI A SPINGERE UN CARRO DOVETE FARE UNO SFORZO. IL CONCETTO DI FORZA E' UN CONCETTO INNATO.



- MA ... VI SONO ALCUNE COSE CHE NON VANNO
  - LO STATO DI QUIETE DI UN CORPO DIPENDE DAL SISTEMA DI RIFERIMENTO CHE SCEGLIAMO.  
NON C'E' UN SISTEMA DI RIFERIMENTO PRIVILEGIATO AL QUALE RIFERIRE LA "QUIETE NATURALE".
  - E' VERO CHE UN CORPO LASCIATO A SE' STESSO TENDE A TORNARE NEL SUO STATO DI QUIETE NATURALE ?

● LA RISPOSTA VIENE  
DALL' ESPERIMENTO

# ESPERIMENTO SUL MOTO

- IMMAGINATE DI PRENDERE UN CORPO (ES. UN LIBRO)  
E METTETELO SU UN PIANO (ES. UN TAVOLO)
- SPINGETE IL CORPO; SMETTETE DI SPINGERE  
ED IL CORPO SI FERMA.
- DATE UNA SPINTA PIU' FORTE AL CORPO; IL CORPO SI  
MUOVE E DOPO AVER PERCORSO UN CERTO SPAZIO  
SI FERMA.  
IL CORPO SI E' MOSSO ANCHE QUANDO NON SPINGEVO PIU'!

- IMMAGINIAMO DI LEVIGARE PER BENE IL TAVOLO, MAGARI METTIAMOCI DELL'OLIO. SPINGO DI NUOVO IL CORPO E QUESTO PERCORRE UNA DISTANZA MAGGIORE PRIMA DI FERMARSI.
- CAMBIAMO PIANO, ANDIAMO SU UN LAGO GHIACCIATO. DIAMO SEMPRE LA STESSA SPINTA AL CORPO E VEDIAMO CHE QUESTO PERCORRE UNO SPAZIO ANCORA MAGGIORE.



LO SPAZIO PERCORSO NON DIPENDE DAL CORPO STESSO  
E NON DIPENDE NEKKENO DALLA SPINTA DATA,  
MA DIPENDE SOLO DA QUANTO BENE E' LEVIGATO IL TAVOLO

- IL TAVOLO ESERCITA UNA FORZA SUL CORPO, TANTO PIU' PICCOLI  
quanto meglio E' LEVIGATO IL TAVOLO.

# Principio di inerzia

Il risultato degli esperimenti e' che man mano che si riducono le cause perturbatrici (le imperfezioni delle superfici, attrito aria,...), le accelerazioni negative che si riscontrano nel punto materiale vanno gradatamente attenuandosi, riducendosi fino quasi ad annullarsi

Appare logico quindi ammettere che la presenza di piccole accelerazioni residue sia dovuta all'impossibilita' di eliminare nell'esperimento tutte le perturbazioni.

Si puo' quindi indurre che se riuscissimo ad eliminare completamente le perturbazioni sia pure come limite di situazioni reali (p es levigando in maniera perfetta il tavolo o andando nello spazio profondo) si avrebbe che:

**ogni corpo non sottoposto ad azioni esterne persiste nel suo stato di moto (o in quiete o in moto rettilineo uniforme)**

# Principio di inerzia

- IN QUALE RIFERIMENTO E' CALCOLATA LA VELOCITA'?
- ⇒ ASSUMIAMO CHE L'OSSERVATORE SIA EGLI STESSO UN CORPO LIBERO NON SOGGETTO AD AZIONI ESTERNE
- \*TALE OSSERVATORE (SIST. RIF.) SI DICE INERZIALE, CIOE' UN SIST. DI RIF. IN CUI VALE (SPERIMENTALMENTE) IL PRINCIPIO DI INERZIA SI DICE INERZIALE
- LE DUE DEFINIZIONI SONO EQUIVALENTI
- TROVATO UN RIFERIMENTO INERZIALE, TUTTI QUELLI IN MOTO RELATIVO UNIFORME SONO ANCH'ESSI INERZIALI
- PERCHE' I RIF. INERZIALI SONO "SPECIALI"?
- PERCHE'  $\vec{a} = \vec{a}' \Rightarrow$  LE CAUSE (FORZE) SONO LE STESS E SOLO QUELLE DOVUTE ALL'INTERAZIONE CON UN'ALTRO SIST.

# Moti relativi

Non tutti i sistemi di riferimento sono inerziali.

Esistono situazioni in cui ci sono accelerazioni senza che vi sia una causa apparente, cioè in cui un osservatore misura un'accelerazione SENZA che vi sia interazione. P. es. pensate a quando siete in macchina e frenate o accelerate: avvertite “qualcosa” che vi spinge in avanti se frenate (le cinture di sicurezza vi impediscono di cozzare contro il vetro) o vi schiaccia contro il sedile se accelerate.

Per capirlo è necessario studiare la relazione che c'è fra le grandezze cinematiche, relative al moto dello stesso oggetto, misurate da osservatori diversi in moto relativo l'uno rispetto all'altro.

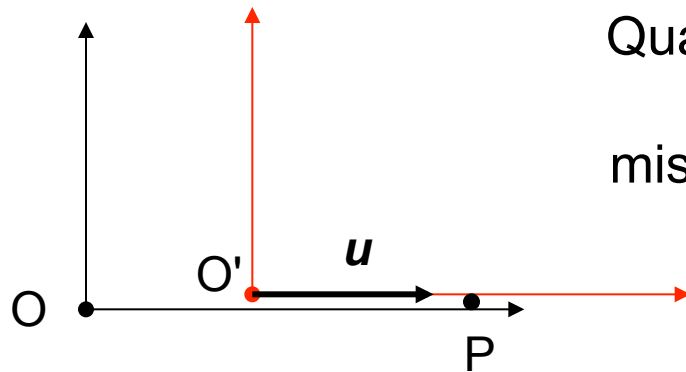
# Moto relativo: 1 dimensione

Il moto assoluto non esiste, esso e' sempre relativo ad un sistema di riferimento (ricordate: osservatore = sistema di riferimento)

Un riferimento e' l'oggetto fisico a cui e' ancorato il sistema di coordinate usato per misurare le coordinate

Quando diciamo che la nostra auto va a 90 km/h sottintendiamo rispetto ad un sistema di riferimento rigidamente collegato al terreno.

La macchina che guidiamo e il passeggero accanto a noi sono invece fermi (cioe' la loro posizione rispetto alla nostra non varia nel tempo), sottintendendo rispetto ad un riferimento rigidamente ancorato alla macchina



Quale relazione c'e' fra variabili cinematiche ( $\underline{r}, \underline{v}, \underline{a}$ ) del movimento di un punto P misurate da due osservatori O ed O' in moto relativo con velocita'  $\underline{u}$ ?



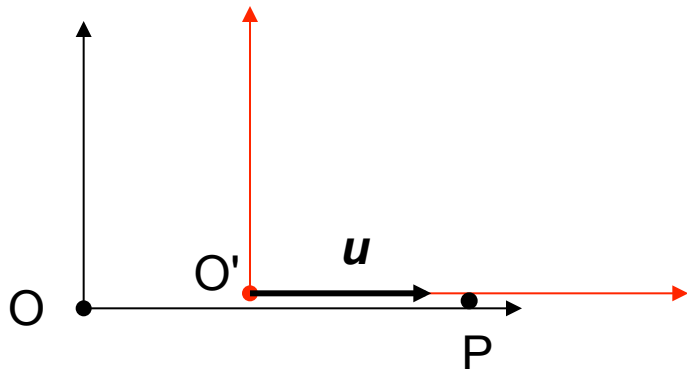
# Moto relativo: 1 dimensione

O e' fermo e osserva la posizione di un punto P, la stessa cosa fa O' in moto rispetto ad O con velocita'  $u$

Che relazione esiste fra le coordinate misurate nei dei riferimenti?

$$OP = OO' + O'P \Rightarrow x = x_{O'} + x'$$

$$x = x_{O'} + x' \Rightarrow \text{la velocita' media e' } \Delta x / \Delta t = \Delta x_{O'} / \Delta t + \Delta x' / \Delta t \Rightarrow$$
$$v = u + v'$$

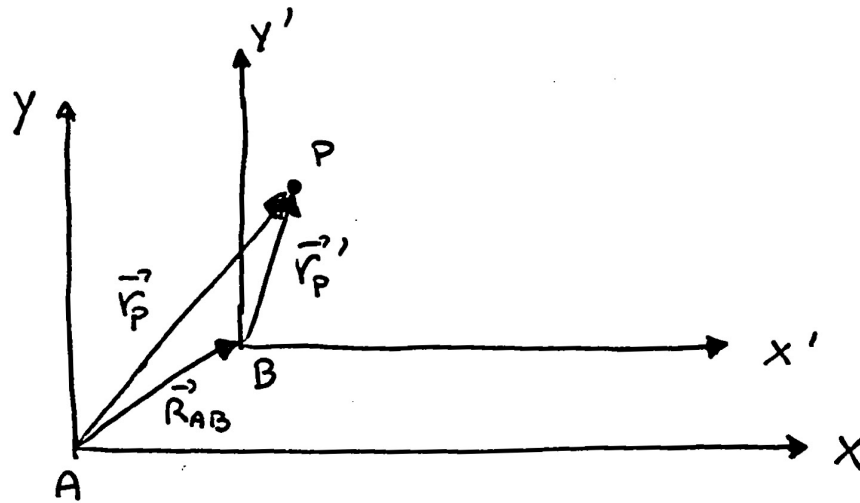


Possiamo ripetere per la velocita':  
 $\Delta v / \Delta t = \Delta u / \Delta t + \Delta v' / \Delta t \Rightarrow a = a_{O'} + a'$

Se O' si muove con **velocita' u costante** rispetto ad O  $\rightarrow a_{O'} = 0$  e quindi  
 $a = a'$

***Due osservatori in moto relativo uniforme misurano la stessa accelerazione del punto P***

# 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



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

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

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

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

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

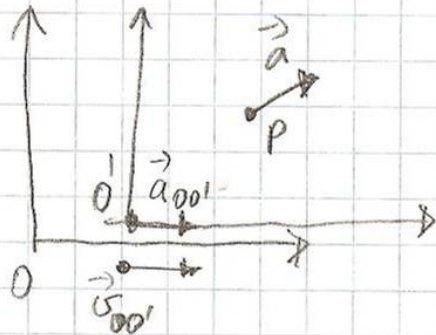
# Esercizio

# 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 FORZE O LA CUI RISULTANTE E' NULLA, RIMANE IN QUIETE O SI MUOVE DI MOTO RETTILINEO UNIFORME RISPETTO AD 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 CHE ASSUMIAMO AVERE LA MASSA UNITARIA, CIOE' 1 Kg.  
[ LA SCELTA DELL'UNITA' DI MISURA E' ARBITRARIA ].
- APPLICHIAMO UNA FORZA AL CORPO DI RIFERIMENTO;  
LA FORZA CHE PROVOCA UN'ACCELERAZIONE UNITARIA, CIOE' DI  $1 \text{ m/s}^2$  VERRA' DEFINITA COME FORZA UNITARIA.  
NEL SISTEMA MKS SI MISURA IN NEWTON N.
- LA FORZA CHE PROVOCA UN'ACCELERAZIONE DEL CORPO DI RIFERIMENTO DI  $2 \text{ m/s}^2$  SARA DI 2 N.  
ALL'ACCELERAZIONE DI  $4 \text{ m/s}^2$  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' ABBIAMO 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  $\vec{a}_1$

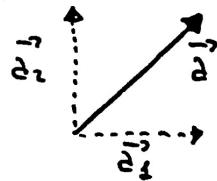
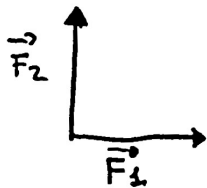


# La forza e' un vettore

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



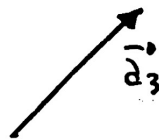
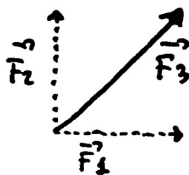
- APPLICHIAMO CONTEMPORANEAMENTE  $\vec{F}_1$  E  $\vec{F}_2$   
E VEDIAMO SE L'ACCELERAZIONE RISULTANTE E' UGUALE  
A  $\vec{a}_1 + \vec{a}_2$



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

[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 CIO' 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 ABBAIA 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:

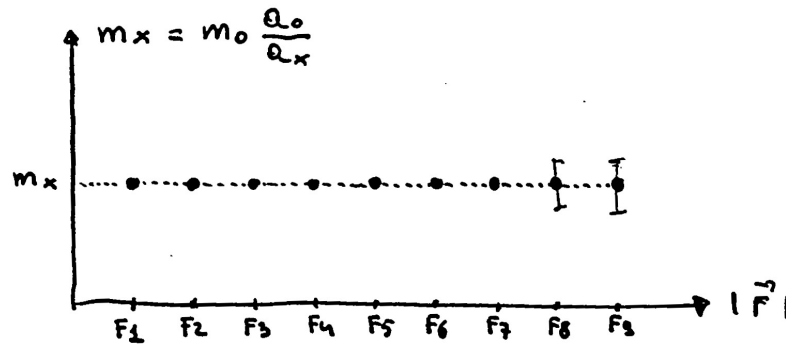
$$m_x a_x = m_0 a_0$$

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

# 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  $a_x$

- 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<sup>a</sup> legge di Newton

- 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

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

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:

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

- 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

### • 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