

Dinamica del Punto «materiale»

Sulla causa del moto* dei corpi

Parole chiave

Relatività - Inerzia - Interazione - Massa

Quantità di moto - Momento - Forza

Impulso - Equazioni e leggi del moto

* con velocità molto minori di c

Principio Classico di Relatività

G.G. 1632

DIALOGO

DI

GALILEO GALILEI LINCEO

MATEMATICO SOPRAORDINARIO

DELLO STUDIO DI PISA.

E Filosofo, e Matematico primario del

SERENISSIMO

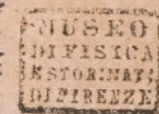
GR.DVCA DI TOSCANA.

Donde ne i congressi di quattro giornate si discorre
sopra i due

MASSIMI SISTEMI DEL MONDO
TOLEMAICO, E COPERNICANO;

*Proponendo indeterminatamente le ragioni Filosofiche, e Naturali
tanto per l'una, quanto per l'altra parte.*

CON PRI



IN FIRENZA, Per Gio:Batista Landini MDCXXXII.

BIBLIOTECA dell'ISTITUTO DI FISICA
CON LICENZA DE' SUPERIORI.

dell' UNIVERSITA' - FIRENZE

11/7/23

Antico
449



Principio Classico di Relatività

G.G. 1632

Rinviatemi con qualche amico nella maggior stanza che sia sotto coverta di alcun gran navilio, e quivi fate d'aver mosche, farfalle e simili animalletti volanti: siavi anco un gran vaso d'acqua e dentrovi de' pescetti; Suspendasi ancor in alto qualche secchiello, che a goccia a goccia vada versando dell'acqua in un altro vaso di angusta bocca che sia posto a basso; e stando ferma la nave, osservate diligentemente come quelli animalletti volanti con pari velocità vanno verso tutte le parti della stanza. I pesi si vedranno andar notando indifferentemente per tutti i versi, le stille cadenti entreranno tutte nel vaso sottoposto; e voi gettando all'amico alcuna cosa non più gagliardamente la dovete gettare verso quella parte che verso questa, quando le lontananze saranno eguali; e saltando voi, come si dice, a piè giunti, eguali spazii passerete vedo tutte le parti. Osservate che avrete diligentemente tutte queste cose, benchè niun dubbio ci sia mentre il vascello sta fermo non debbano succedere così: fate muovere la nave con quanta si voglia velocità; che (pur di moto uniforme e non fluttuante in qua e in là) voi non riconoscerete una minima mutazione in tutti li nominati effetti; nè da alcuno di quelli potrete comprendere se la nave cammina, o pure sta ferma.

Equivalenza tra osservatori
in movimento relativo
rettilineo uniforme

Leggi [principi] della dinamica

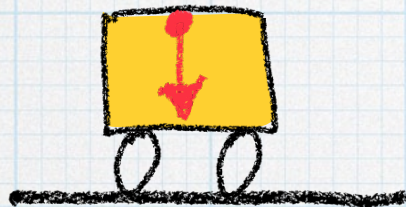
I. Newton

philosophiae naturalis principia mathematica - 1687

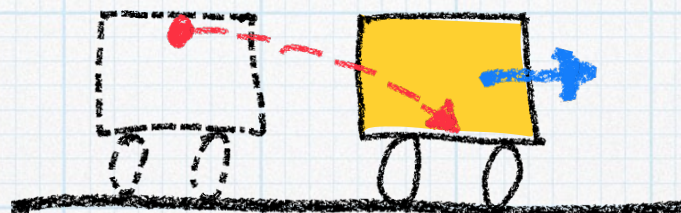
Leggi [principi] della dinamica

- L1 Ciascun corpo persevera nel proprio stato di quiete o di moto uniforme rettilineo, eccetto che sia costretto a mutare quello stato da forze impresse
- L2 Il cambiamento di moto è proporzionale alla forza motrice impressa, e avviene lungo la linea retta secondo la quale la forza è stata impressa
- L3 A ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria: ossia, le azioni di due corpi sono sempre uguali tra loro e dirette verso parti opposte

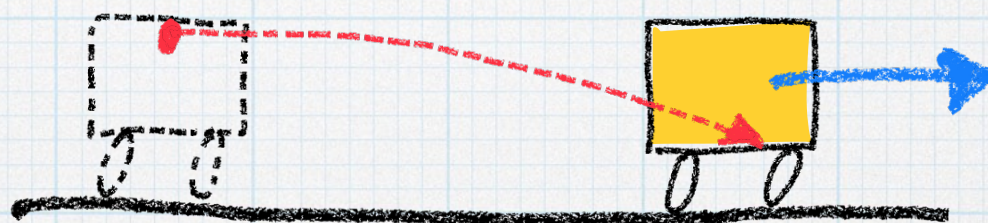
Trasformazioni di Galilei in azione



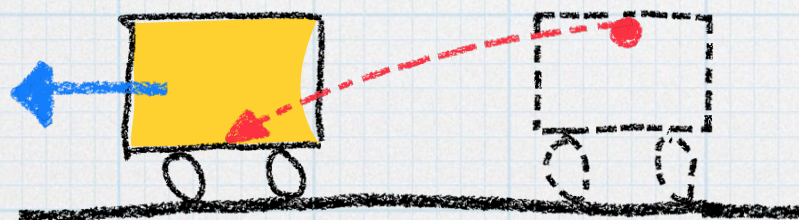
« quiete »



"movimento"



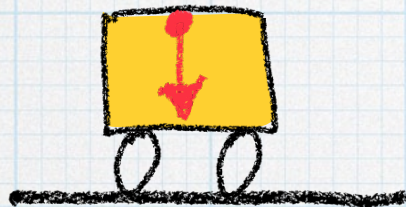
"movimento"



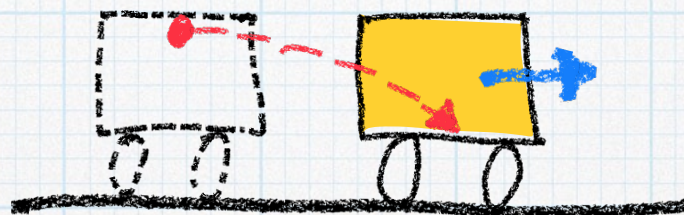
"movimento"

quiete e moto rettilineo uniforme
sono equivalenti

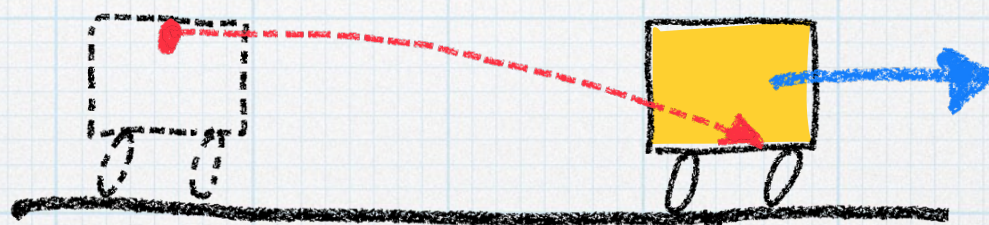
Trasformazioni di Galilei in azione



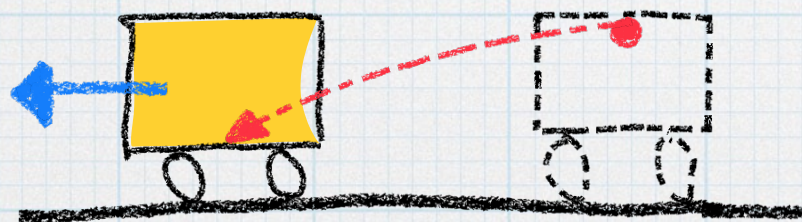
« quiete »



"movimento"



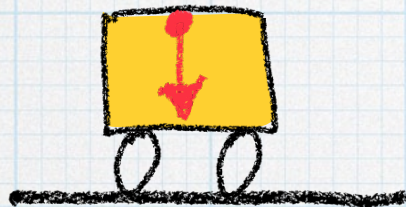
"movimento"



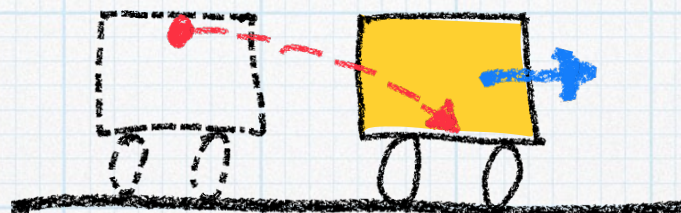
"movimento"

Il moto RELATIVO è l'unica "ASSOLUTEZZA"

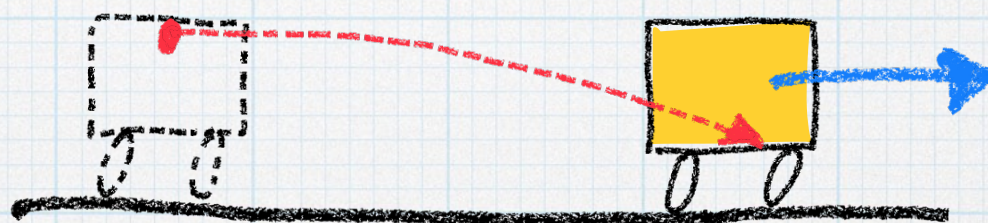
Trasformazioni di Galilei in azione



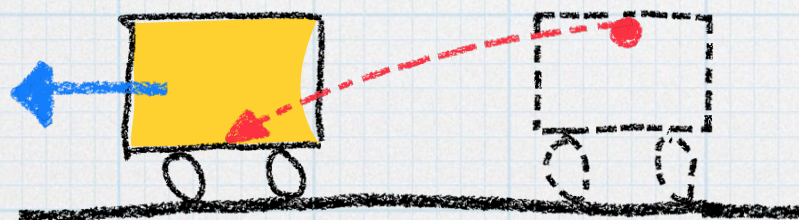
« quiete »



"movimento"



"movimento"



"movimento"

Il moto RELATIVO è l'unica "ASSOLUTEZZA"

È non serve nessuna « forza » per questo moto!

Principio di inerzia di Galilei

Dialoghi sui massimi sistemi (1632)

I gravi finalmente ad alcuni movimenti si trovano differenti, come pur gl'istessi gravi al movimento orizzontale, il quale né naturalmente, né violentemente si genera, ma è di mezzo tra questi due; onde essendo levata ogni impedizione, un mobile sopra un piano orizzontale, con moto impresso, si moverà uniformemente in infinito, poiché né in giù scenderà, né in su salirà.

Principio di inerzia di Galilei

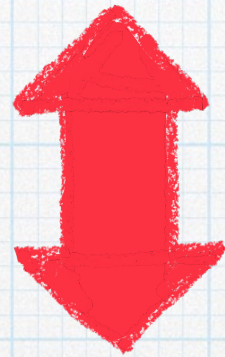
Discorsi e dimostrazioni matematiche
intorno a due nuove scienze (1638)

Immaginate dunque una sfera sopra un piano orizzontale perfettamente liscio, che non abbia in sé alcuna inclinazione verso alcuna parte: io dico che la sfera, spinta con qualunque velocità, si muoverà sopra detto piano perpetuamente con quella stessa velocità, se le resistenze dell'aria e le asperità del piano non la ritarderanno, le quali si escludono per ipotesi.

Onde, mancando ogni causa di rallentamento o d'arresto, non v'è ragione alcuna perché la sfera perda di moto, e per conseguenza questo suo moto sarà perpetuo.

PRINCIPIO di INERZIA

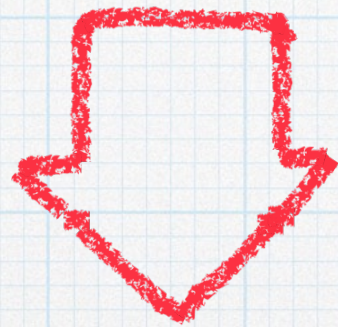
QUIETE (\equiv moto rettilineo uniforme)



LIBERTA' * da INTERAZIONI

* L' EQUILIBRIO

Se vale il principio di inerzia
[libertà / equilibrio \leftrightarrow quiete]



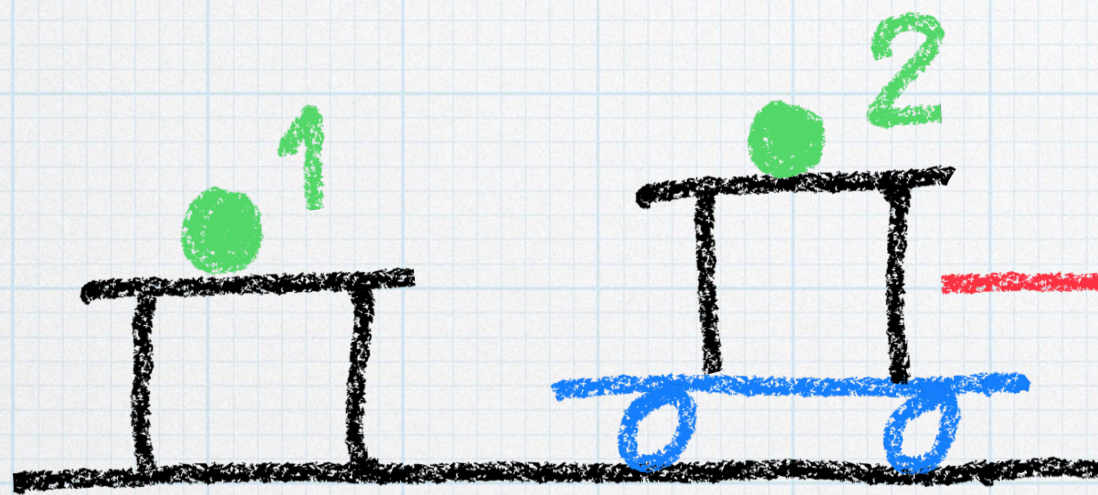
siamo in un riferimento inerziale

Il principio di inerzia (L1)
definisce il riferimento inerziale

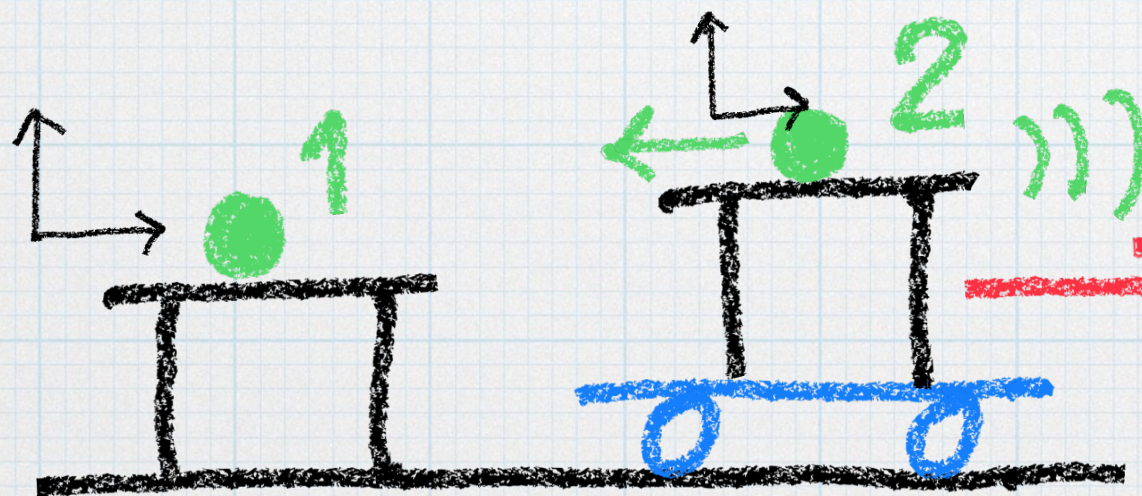
Ci sono infiniti sistemi di
riferimento inerziale tutti
in moto relativo di traslazione
con velocità costante

Come ci dicono
le trasformazioni
di Galilei (e il principio di relatività)

Il principio di inerzia
deriva da quello di relatività



1 e 2 sono
liberi



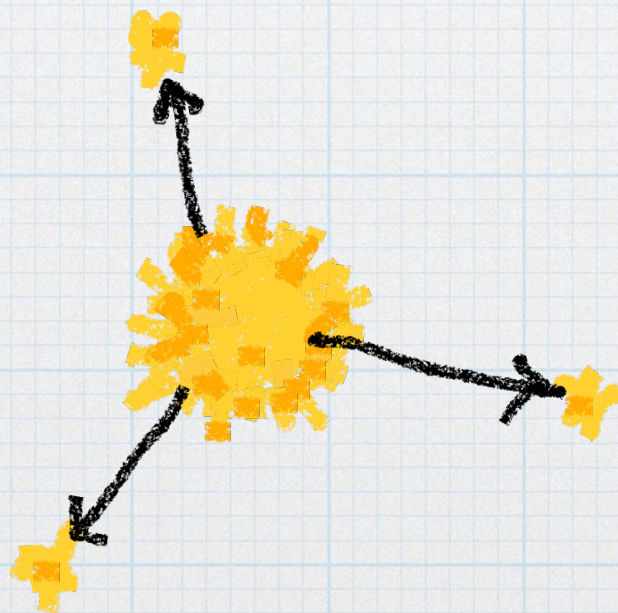
se per 1
non vale
il principio
di inerzia

\Rightarrow 1 e 2 non sono equivalenti
 \Rightarrow non vale il principio di relatività

"Esistono" VERI riferimenti
inerziali ?

Buona domanda ...

... ci si deve accontentare .

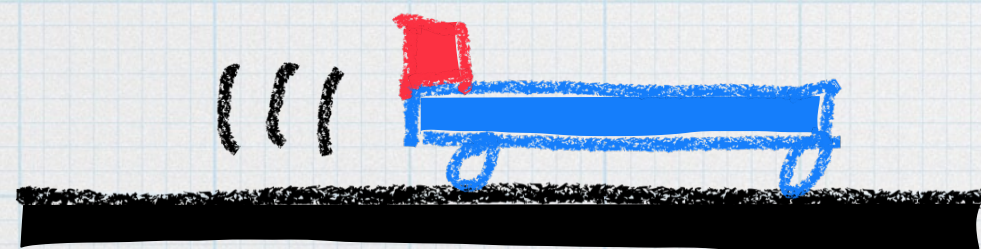
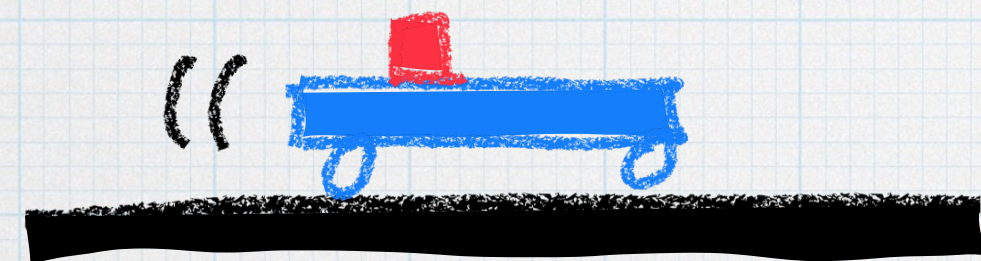


Quindi:

La relatività di Galilei
prevede che
la fisica con le sue leggi
sia la stessa
in tutti i sistemi
di riferimento inerziali

O, meglio:

Le leggi della natura
che descrivono i
cambiamento di stato
dei sistemi fisici
non dipendono
dai riferimenti inerziali
a cui si riferiscono
questi cambiamenti



In presenza
di moto
relativo
accelerato
fra osservatori
non c'è
equivalenza
fra sistemi
di
riferimento

cosa succede in un riferimento inerziale
a un punto materiale
che non è libero / in equilibrio?

« ovviamente » accelera ma...

- come descrivere la "non-libertà"?
- come collegare causa ed effetto?

Dinamica del punto materiale : introduzione

► Perché le cose si muovono? La questione delle cause del moto.

Vengono affrontati e discussi argomenti che fanno riferimento a queste parole chiave / concetti :

- relatività
- inerzia
- massa
- quantità di moto
- interazione / forza
- equazione del moto
- azione e reazione
- impulso

Qui ci si interessa di situazioni nelle quali le velocità in gioco sono molto più piccole di quelle della luce ,
 $v \ll c$

e si parla di approssimazione non-relativistica .

Si parte con il **PRINCIPIO CLASSICO di RELATIVITÀ** secondo G. Galilei come riportato nella II giornata dei Dialoghi sui Massimi Sistemi del Mondo [1632]

Rinviatemi con qualche amico nella maggior stanza che sia sotto coverta di alcun gran navilio, e quivi fate d'aver mosche, farfalle e simili animalletti volanti: siavi anco un gran vaso d'acqua e dentrovi de' pescetti;

Suspendasi anco in alto qualche secchiello, che a goccia a goccia vada versando dell'acqua in un altro vaso di angusta bocca che sia posto a basso;

e stando ferma la nave, osservate diligentemente come quelli animalletti volanti con pari velocità vanno verso tutte le parti della stanza.

I pesi si vedranno andar notando indifferentemente per tutti i versi, le stille cadenti entreranno tutte nel vaso sottoposto;

e voi gettando all'anco alcuna cosa non più gagliardamente la dovete gettare verso quella parte che verso questa, quando le lontananze saranno eguali; e saltando voi, come si dice, a piè giunti, eguali spazi passerete verso tutte le parti.

Osservate che avrete diligentemente tutte queste cose, benché nullo dubbio ci sia mentre il vascello sta fermo non debbano succedere così: fate muovere la nave con quanta si voglia velocità; che (pur di moto uniforme e non fluttuante in qua e in là) voi non riconoscerete una minima mutazione in tutti li nominati effetti; nè da alcuno di quelli potrete comprendere se la nave cammina, o pure sta ferma.

In sostanza, "laboratori" (sistemi di riferimento) in moto relativo rettilineo uniforme sono indistinguibili per quanto riguarda l'esito di qualsiasi sperimentazione fisica: le leggi che governano questi fenomeni NON MUTANO passando fra osservatori di questo tipo. Ciò implica la relatività del moto uniforme e rettilineo.

→ Questo implica anche l'equivalenza del moto rettilineo uniforme e della quiete (sono moti che differiscono per trasformazioni fra osservatori ancora in moto relativo rettilineo uniforme)

→ Esigenza di definire propriamente questa classe di osservatori, ovvero i laboratori di Galilei collegati da moti rettilinei uniformi.

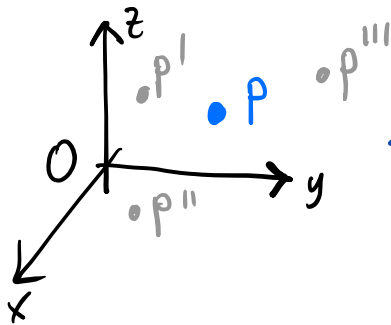
RIFERIMENTI "INERZIALI"

Si considera un corpo (punto materiale) « libero » (da "interazioni", "forze"), e lo si lascia immobile (o in moto rettilineo uniforme).

Se in un dato sistema di riferimento questo corpo « libero » mantiene il suo stato di moto (quiete o moto rettilineo uniforme)

⇒ il riferimento è detto inerziale.

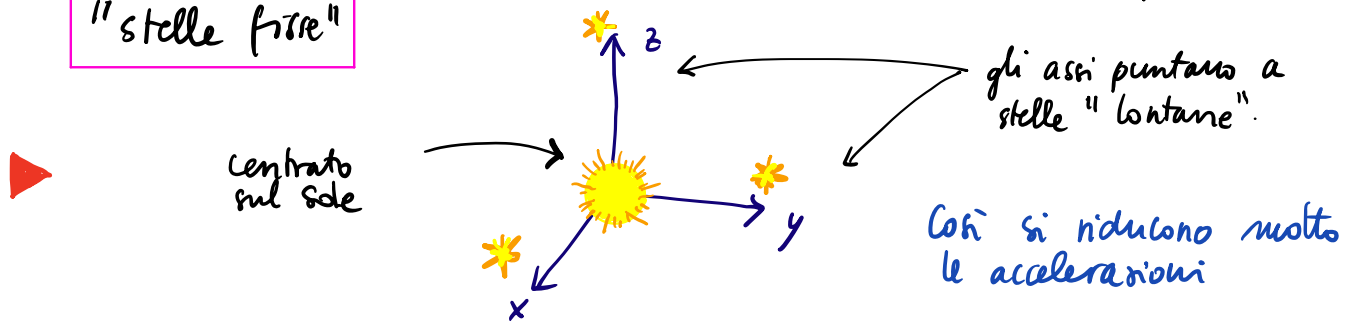
→ Si può anche dire che tutte le posizioni occupate da un punto materiale libero in un riferimento inerziale sono di EQUILIBRIO per il corpo (equilibrio intesa come condizione di libertà del punto).



in qualsiasi posizione il punto libero è in equilibrio se $Oxyz$ è inerziale (e viceversa).

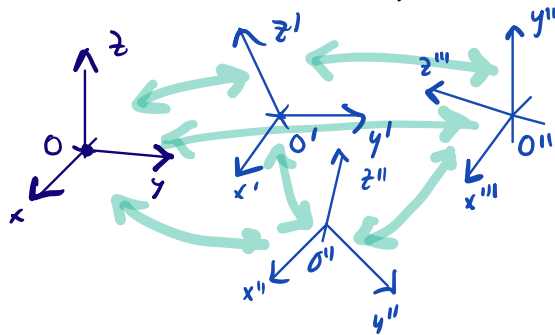
→ "Difficile" trovare in giro riferimenti inerziali perché è "difficile" assicurarsi con generalità la libertà (assenza di "interazioni") del punto materiale.

Un buon sistema di riferimento "pressoché inerte" è quello delle "stelle fisse"



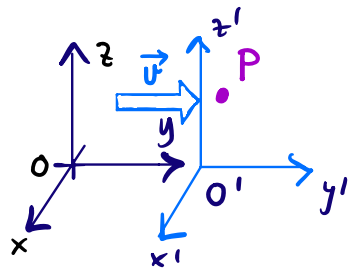
➔ Dato un riferimento inerziale, se ne generano infiniti altri semplicemente tramite trasformazioni di Galilei

$Oxyz$ è inerziale



⇒ sono tutti inerziali se in moto relativo rettilineo uniforme.

È conseguenza del principio di relatività:



se $Oxyz$ è inerziale ⇒ P è in equilibrio se è libero

⇒ dev'esserlo anche in $O'x'y'z'$ perché i due riferimenti sono in moto relativo uniforme

⇒ anche $O'x'y'z'$ è inerziale.

In concreto: il terreno di gioco d'ora in avanti è l'insieme degli (infiniti) sistemi di riferimento inerziali che si possono adottare per raccontare e spiegare cosa succede se NON ci sono le condizioni per l'equilibrio, ovvero la libertà meccanica (assenza di interazioni).

➔ Assenza di interazioni su un punto in un riferimento inerziale
 ⇓
 moto rettilineo uniforme (quiete)

Presenza di interazioni su un punto in un riferimento inerziale
 ➔ ???

Principio di Inerzia - I legge della dinamica

Il principio di inerzia sancisce l'universalità della natura rettilinea e uniforme del moto di un corpo libero, non soggetto a vincoli / interazioni / influenze, in un qualunque riferimento inerziale

un punto materiale libero lasciato in quiete in un riferimento inerziale rimane indefinitivamente in questa condizione.

Se è in moto rettilineo uniforme vi rimane

NB questa legge è una conseguenza del principio di relatività!

NB Galilei pensava che il moto (rettilineo uniforme) avesse bisogno di « qualcosa » per essere mantenuto. (Ma non quello circolare « perfetto »)

→ Il I principio è centrale per definire il corretto ambito di studio per quanto riguarda l'ASSENZA di interazioni e DUNQUE anche la PRESENZA di INTERAZIONI, ovvero

CIO' CHE RIMUOVE IN UN RIFERIMENTO INERZIALE IL PUNTO MATERIALE DALLA CONDIZIONE DI EQUILIBRIO.

NB: in riferimenti NON INERZIALI, ACCELERATI, il moto risulta a sua volta accelerato per un punto LIBERO, ovvero non è necessaria un'interazione per avere un moto non uniforme.

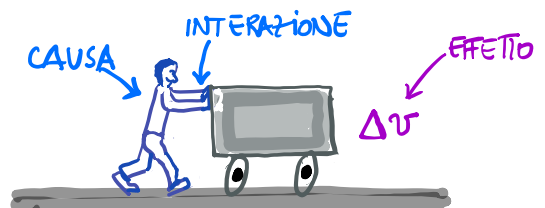
MOLTO IMPORTANTE!

Ci interessa ora descrivere quantitativamente e formalmente una possibile relazione fra

CAUSA : un'interazione

EFFETTO : variazione dello stato di moto

SEMPRE ed ESCLUSIVAMENTE in un RIFERIMENTO INERZIALE.

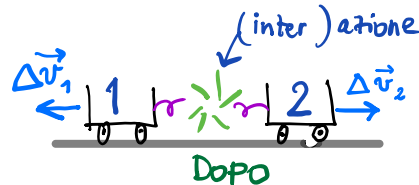
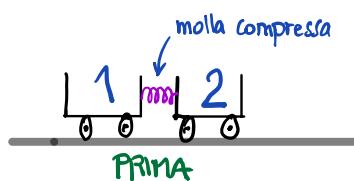


Interazione, inerzia e stato di movimento

- ➔ Si può seguire un'idea ingenua (ma corretta) di collegamento fra azione esterna a un corpo e sua risposta a questa influenza.
- ➔ L'idea ingenua è quella che prevede una maggiore (minore) risposta a una data sollecitazione quanto minore (maggiore) è una certa misura di «pigrizia dinamica» o «INERTIA» alla immissione in moto.

Dare un calcio a una pallina da ping-pong o a una boccia da bowling non produce gli stessi effetti (a parità di calcio)

Approccio sperimentale (e storico) con i carrelli di C. Huygens



effetto: VARIAZIONE di VELOCITÀ, $\Delta \vec{v}_1$ e $\Delta \vec{v}_2$, a partire dalla quiete iniziale.

NB
l'azione è sempre una INTER-azione!

Osservazioni sperimentali: $\Delta \vec{v}_1$ e $\Delta \vec{v}_2$ sono SEMPRE orientati in senso opposto su un'unica direzione;

il rapporto $\frac{|\Delta \vec{v}_1|}{|\Delta \vec{v}_2|}$ dipende solo dai due carrelli e non dalla molla

- ➔ Un possibile percorso per l'esperimento sistematico.

Si parte da due carrelli eguali di riferimento e, come "ci si può aspettare", l'interazione è simmetrica, ovvero i due carrelli acquistano la stessa velocità (in direzioni opposte)

NB
se all'inizio i carrelli sono fermi le $\Delta \vec{v}$ sono le velocità finali.



$$|\Delta \vec{v}_1| = |\Delta \vec{v}_2|$$

NB $|\Delta \vec{v}_1|$ e $|\Delta \vec{v}_2|$ sono uguali ma il loro valore (comune) dipende dalla molla e da "com'è" il carrello.

Poi si procede aggiungendo / togliendo carrelli sempre dello stesso tipo "1" e controllando $|\Delta \vec{v}_1| / |\Delta \vec{v}_2|$.

- $$\Delta \vec{v}_1 \leftarrow \underbrace{\begin{array}{|c|} \hline 1 \\ \hline \end{array}}_{\text{0 0}} * \begin{array}{|c|c|} \hline 1 \quad 1 \\ \hline \end{array} \rightarrow \Delta \vec{v}_2 \quad \frac{|\Delta \vec{v}_1|}{|\Delta \vec{v}_2|} = 2$$

$$\Delta \vec{v}_1 \leftarrow \underbrace{\begin{array}{|c|} \hline 1 \\ \hline \end{array}}_{\text{0 0}} * \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 \quad 1 \quad 1 \\ \hline \end{array} \rightarrow \Delta \vec{v}_2 \quad \frac{|\Delta \vec{v}_1|}{|\Delta \vec{v}_2|} = 3$$

$$\Delta \vec{v}_1 \leftarrow \underbrace{\begin{array}{|c|c|} \hline 1 \quad 1 \\ \hline \end{array}}_{\text{0 0 0 0}} * \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 \quad 1 \quad 1 \\ \hline \end{array} \rightarrow \Delta \vec{v}_2 \quad \frac{|\Delta \vec{v}_1|}{|\Delta \vec{v}_2|} = \frac{3}{2}$$

eccetera ...

► Si INTRODUCE L' UNITA' di INERZIA ("pigrità all' immissione in movimento") partendo dal «carrello unitario» e la si chiama

(unità di) **MASSA INERZIALE (m)**.

Nel caso unitario $m = 1 \text{ kg}$ ← *grandezza fondamentale del SI*.

Con "n" carrelli unitari è $m = n \text{ kg}$ per cui l'esperimento di Huygens può essere dimensionato come

$$\Delta \vec{v}_1 \leftarrow \underbrace{\begin{array}{|c|} \hline m_1 = n_1 \\ \hline \end{array}}_{\text{n}_1 \text{ carrelli 1}} * \underbrace{\begin{array}{|c|} \hline m_2 = n_2 \\ \hline \end{array}}_{\text{n}_2 \text{ carrelli 1}} \rightarrow \Delta \vec{v}_2 \quad \frac{|\Delta \vec{v}_1|}{|\Delta \vec{v}_2|} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{m_2}{m_1}$$

massa di n_2 carrelli unitari
massa di n_1 carrelli unitari

Passando alle grandezze vettoriali :

$$m_1 \Delta \vec{v}_1 = -m_2 \Delta \vec{v}_2$$

ovvero l'interazione modifica le velocità (provoca accelerazioni) con efficacia inversamente proporzionale all'inerzia (massa inerziale).

Si introduce la grandezza vettoriale

$$\vec{p} = m \vec{v}$$

QUANTITA' di MOTO

($[p] = [MLT^{-1}]$, si misura in $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ nel SI)

► L'esperimento di Huygens e, in generale, l'effetto della interazione si può quindi ricondurre a uno

SCAMBIO di QUANTITA' di MOTO

in quanto se $\vec{p} = m \vec{v}$ è $\Delta \vec{p} = m \Delta \vec{v}$
 per cui la $m_1 \Delta \vec{v}_1 = -m_2 \Delta \vec{v}_2$ diventa

$$\Delta \vec{p}_1 = -\Delta \vec{p}_2 :$$

uno dei partner dell'interazione acquista (perde) la stessa quantità di moto che perde (acquista) l'altro.

Ovvero

$$\Delta \vec{p}_1 + \Delta \vec{p}_2 = \vec{0}$$

che corrisponde ad affermare che nell'interazione

la quantità di moto totale dei partner è conservata (non cambia):

se $\vec{p}_{\text{TOTALE}} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$ questa somma vettoriale è sempre eguale a se stessa.

- → Nella sostanza l'interazione fa cambiare (o scambiare) la quantità di moto.

Quindi

$$\text{INTERAZIONE} \longleftrightarrow \Delta \vec{p}$$