trasformazione delle accelerazioni

per derivare la velocità $\vec{v} = \vec{v}' + \vec{V} + \vec{\omega} \wedge \vec{r}'$

applichiamo di nuovo la formula $\left(\frac{d\vec{w}}{dt}\right)_S = \left(\frac{d\vec{w}'}{dt}\right)_{S'} + \vec{\omega} \wedge \vec{w}'$

ai vettori di S', per cui otteniamo

$$\vec{a} = \left(\frac{d\vec{v}}{dt}\right)_S = \left(\frac{d\vec{v}'}{dt}\right)_S + \left(\frac{d\vec{V}}{dt}\right)_S + \left(\frac{d\vec{\omega}}{dt}\right)_S \wedge \vec{r}' + \vec{\omega} \wedge \left(\frac{d\vec{r}'}{dt}\right)_S =$$

$$= \left(\frac{d\vec{v}'}{dt}\right)_{S'} + \vec{\omega} \wedge \vec{v}' + A + \frac{d\vec{\omega}}{dt} \wedge \vec{r}' + \vec{\omega} \wedge \left(\vec{v}' + \vec{\omega} \wedge \vec{r}'\right) =$$

$$= a' + A + \frac{d\vec{\omega}}{dt} \wedge \vec{r}' + \vec{\omega} \wedge \left(\vec{\omega} \wedge \vec{r}'\right) + 2\vec{\omega} \wedge \vec{v}'$$

dove:

- ***a'*** è l'accelerazione nel secondo sistema di riferimento
- ***A*** è l'accelerazione nel primo riferimento dell'origine del secondo
- $\mathbf{a}_\tau = \mathbf{A} + d\omega/dt \wedge \mathbf{r}' + \omega \wedge (\omega \wedge \mathbf{r}')$ è l'**accelerazione di trascinamento**, che rappresenta l'accelerazione di un punto fermo in S' (v'=0, a'=0)
- $2\omega \wedge \mathbf{v}'$ è l'**accelerazione complementare o di Coriolis**

moto di pura rotazione

La formula generale $\vec{a} = a' + A + \frac{d\vec{\omega}}{dt} \wedge \vec{r}' + \vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \vec{r}') + 2\vec{\omega} \wedge \vec{v}'$

per un riferimento S' che ruoti con velocità angolare costante senza traslare si riduce a

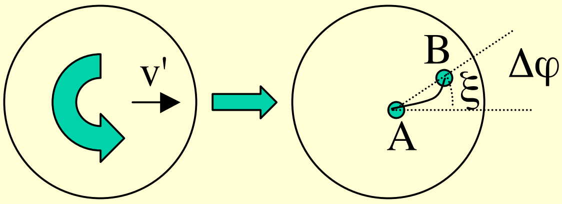
$$\vec{a} = a' + \vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \vec{r}') + 2\vec{\omega} \wedge \vec{v}'$$

in cui:

- $\omega \wedge (\omega \wedge \mathbf{r}')$ corrisponde all'**accelerazione centripeta**: infatti se si descrive il moto di un punto che si muova in S di moto circolare uniforme in un riferimento che ruota intorno al centro con la stessa velocità angolare, si ha $v'=0$, $A=0$, $d\omega/dt=0$ e l'unico termine che sopravvive è $\omega \wedge (\omega \wedge \mathbf{r}')$. In questo caso dalla formula per la velocità $\vec{v} = \vec{v}' + \vec{V} + \vec{\omega} \wedge \vec{r}'$ si ritrova $v = \omega r'$
- $2\omega \wedge \mathbf{v}'$ è l'**accelerazione complementare o di Coriolis**

accelerazione di Coriolis

- la accelerazione di Coriolis può essere compresa considerando un punto in moto rettilineo uniforme lungo un raggio di una piattaforma rotante:



- la rotazione della piattaforma fa si che in un riferimento fisso il punto descriva una traiettoria non rettilinea;
- se il punto fosse fermo sulla piattaforma, nel riferimento fisso descriverebbe una circonferenza e sarebbe soggetto all'accelerazione centripeta $\omega^2 r$, radiale;
- essendo in moto, compare una ulteriore accelerazione ortogonale al raggio; questa è l'accelerazione di Coriolis

traslazioni uniformi: trasformazione di Galileo

Trasformazione di Galileo: S′ in moto rettilineo uniforme, senza rotazioni, rispetto a S,

per cui $A = 0$, $\omega = 0$.

$$\vec{R} = \vec{V}t \quad \Rightarrow \quad \vec{r} = \vec{r}' + \vec{V}t$$

e la formula generale si riduce a

$$\begin{cases} \vec{v} = \vec{v}' + \vec{V} \\ \vec{a} = \vec{a}' \end{cases}$$

⇒ **legge di composizione delle velocità** per trasformazioni di Galileo

⇒ **l'accelerazione è invariante** per trasformazioni di Galileo

Ricordiamo che si è assunto implicitamente, che il tempo e la lunghezza non dipendano dal sistema di riferimento, ossia siano **assoluti**.

(questa assunzione non è valida nella relatività ristretta)

principio di relatività galileiana e dinamica newtoniana

- (FMU 4.17) Principio **sperimentale**: dati due riferimenti legati da una trasformazione di Galileo (ossia in moto rettilineo uniforme uno rispetto all'altro) non esiste alcun esperimento fisico che dia risultati diversi nei due riferimenti (**le leggi fisiche sono covarianti per trasformazioni di Galileo**)
- Nessun esperimento può stabilire quale sia in quiete e quale sia in moto
- Non esiste un riferimento privilegiato (assoluto)

NB: il principio di relatività (sperimentale) rimane valido anche nella relatività ristretta di Einstein, dove le trasformazioni galileiane della velocità (derivate analiticamente) non valgono più.

Fondamenti (principi) della dinamica Newtoniana:

1) esistono dei **riferimenti**, detti **"inerziali"**, nei quali i punti materiali non soggetti a forze si muovono di moto rettilineo uniforme
2) nei riferimenti inerziali la presenza di **una forza** modifica la velocità, **genera** quindi **un'accelerazione**

→ innovazione rispetto alla concezione aristotelica

→ circolarità delle affermazioni, se non si introduce il concetto di forza in maniera indipendente dal principio di inerzia

definizioni di forza

Le vie d'uscita dalla circolarità:

definizione statica / corpo isolato

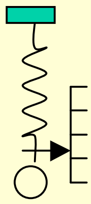
- Concetto di forza nel senso comune
- **Definizione** operativa **statica** delle forze:

  oltre che con le accelerazioni, le forze sono connesse con le deformazioni dei corpi

  molla elastica: deformazione proporzionale alla forza

  dinamometro: molla tarata

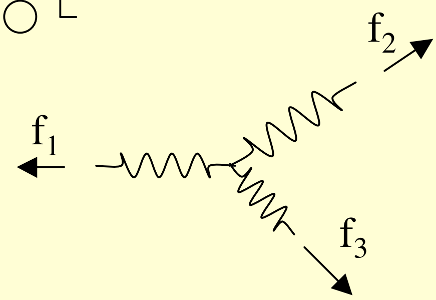
  (campione: **forza peso**)



- carattere vettoriale delle forze
- principio di sovrapposizione

  equilibrio ⇒

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



Determinate staticamente le forze se ne possono studiare gli effetti dinamici, sintetizzabili in $\vec{F} = m\vec{a}$ (legge di Newton)

esempio: la forza applicata da una fune può esssere misurata col dinamometro e messa in relazione con l'accelerazione del corpo su cui si esercita; la forza peso che agisce su una pallina deformando la molla a cui è appesa è la stessa che ne deflette la traiettoria

(possibile problema: chi garantisce che la causa delle deformazioni e delle accelerazioni sia sempre veramente la stessa?)