Prof. Roberto Capone

Dinamica del punto materiale

Corso di Complementi di Fisica 2014/2015

Corso di laurea in Ingegneria edile

Università degli Studi del Molise

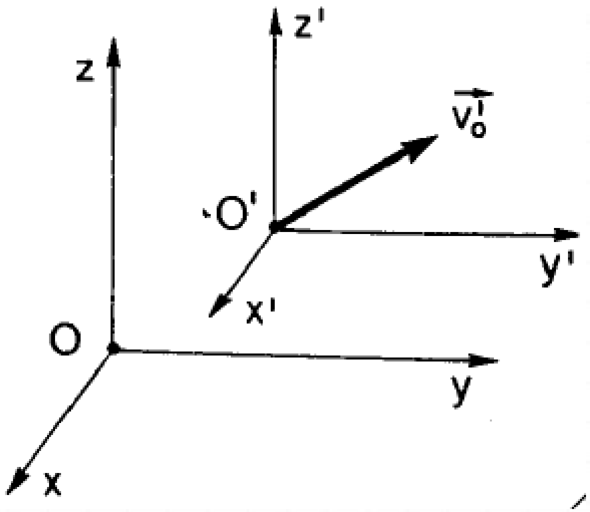
La dinamica classica

Dinamica classica

- Principio di Relatività
- Principio d’inerzia
- Secondo Principio della dinamica
- Terzo Principio della dinamica

Con il termine dinamica classica si intende la teoria sviluppata da Galileo e Newton, teoria che descrive correttamente il moto di oggetti che si muovono con velocità piccola rispetto a quella della luce. Per descrivere il moto di oggetti con velocità prossima a quella della luce è necessario ricorrere alla Teoria della relatività di Einstein

I moti relativi



Nella descrizione dei fenomeni meccanici capita spesso di utilizzare sistemi di riferimento diversi, a volte in moto uno rispetto all'altro.

Fissate due terne ortonormali levogire, T e T', per fissare le idee ci si può riferire al moto di T' rispetto a T in modo da considerare T come terna fissa e T' come terna mobile.

Un moto si dice traslatorio se i due sistemi si muovono in modo che gli assi coordinati mantengano costante il loro orientamento relativo. Un caso particolare di moto traslatorio è il moto traslatorio rettilineo e uniforme

Principio di relatività

Il principio di Relatività è uno dei principi fondamentali sia della dinamica, sia di tutta la fisica moderna.

«Se due laboratori si muovono l'uno rispetto all'altro di moto traslatorio rettilineo e uniforme, non esiste esperimento che dia risultati diversi nell'uno e nell'altro laboratorio»

Nella *Seconda Giornata* del *Dialogo sopra i Due Massimi Sistemi*, Galileo Galilei descrive un esperimento da compiere all'interno di una nave.

Riserratevi con qualche amico nella maggiore stanza che sia sotto coverta di alcun gran navilio, e quivi fate d’aver mosche, farfalle e simili animaletti volanti; siavi anco un gran vaso d’acqua, e dentrovi de’ pescetti; sospendasi anco in alto qualche secchiello, che a goccia a goccia vadia versando dell’acqua in un altro vaso di angusta bocca, che sia posto a basso: e stando ferma la nave, osservate diligentemente come quelli animaletti volanti con pari velocità vanno verso tutte le parti della stanza; i pesci 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 dovrete gettare verso quella parte che verso questa, quando le lontananze sieno eguali; e saltando voi, come si dice, a piè giunti, equali spazii passerete verso tutte le parti.
Osservate che avrete diligentemente tutte queste cose, benché niun dubbio ci sia che mentre il vassello sta fermo non debbano succeder così, fate muover la nave con quanta si voglia velocità; ché (pur che il moto sia uniforme e non fluttuante in qua e in là) voi non riconoscerete una minima mutazione in tutti li nominati effetti, né da alcuno di quelli potrete comprender se la nave cammina o pure sta ferma.
Voi saltando passerete nel tavolato i medesimi spazii che prima, né, perché la nave si muova velocissimamente, farete maggior salti verso la poppa che verso la prua, benché, nel tempo che voi state in aria, il tavolato sottopostovi scorra verso la parte contraria al vostro salto; e gettando alcuna cosa al compagno, non con più forza bisognerà tirarla, per arrivarlo, se egli sarà verso la prua e voi verso la poppa, che se voi fuste situati per l’opposito; le gocciole cadranno come prima nel vaso inferiore, senza caderne pur una verso poppa, benché, mentre la gocciola è per aria, la nave scorra molti palmi; i pesci nella loro acqua non con più fatica noteranno verso la precedente che verso la sussequente parte del vaso, ma con pari agevolezza verranno al cibo posto su qualsivoglia luogo dell’orlo del vaso; e finalmente le farfalle e le mosche continueranno i lor voli indifferentemente verso tutte le parti, né mai accaderà che si riduchino verso la parete che riguarda la poppa, quasi che fussero stracche in tener dietro al veloce corso della nave, dalla quale per lungo tempo, trattenendosi per aria, saranno state separate [...].

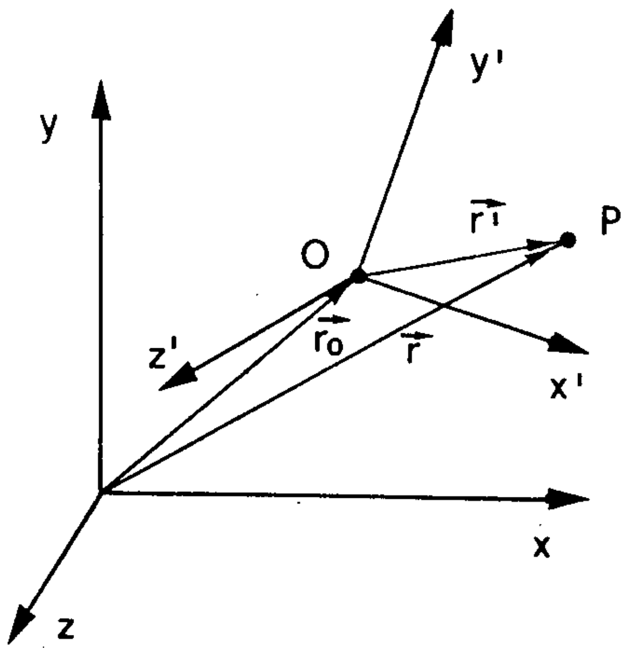
Il principio di Relatività

Affichè valga il principio di Relatività non è necessario che la misura delle varie grandezze fisiche fornisca lo stesso risultato nei due laboratori: ad esempio l'uno che salta «a piè giunti» sulla nave ha una certa velocità rispetto alla nave stessa e una velocità diversa rispetto a un osservatore che lo guardi da terra.
L'importante è che le relazioni fra le grandezze fisiche siano le stesse nei due sistemi di riferimento.
Ciò che è richiesto dal principio di Relatività è che se uno dei membri di una equazione fisica cambia passando da un sistema di riferimento all'altro, anche la'ltro membro cambi coerentemente in modo da preservare la relazione di uguaglianza.
Ciò si esprime dicendo che i due membri di una equazione fisica devono essere **covarianti** da un sistema di riferimento a un altro che si muova rispetto al primo di moto traslatorio rettilineo ed uniforme

Sistemi di riferimento inerziali

Il moto di un determinato punto materiale si svolge con modalità diverse a seconda di quale sia il sistema di riferimento da cui esso viene osservato.
I sistemi di riferimento in cui le leggi della dinamica risultano le più semplici possibili sono i sistemi di riferimento inerziali.
Un sistema di riferimento inerziale è definito dalla condizione che in esso un punto materiale «libero» se posto inzialmente in quiete permane in quiete.
Un sistema inerziale è definito dalla condizione che in esso ogni posizione è posizione di equilibrio per un punto libero.
La Terra si comporta approssimativamente come un sistema di riferimento inerziale.

Trasformazioni galileiane



Consideriamo un sistema di riferimento inerziale e un secondo sistema di riferimento (non necessariamente orientato come il primo), anch'esso inerziale, che si muove di moto traslatorio con velocità V_0 rettilinea ed uniforme rispetto al primo. Per comodità dichiariamo convenzionalmente fisso il primo di questi sistemi e mobile il secondo.

Vogliamo dimostrare che il secondo principio della termodinamica soddisfa il principio di relatività.

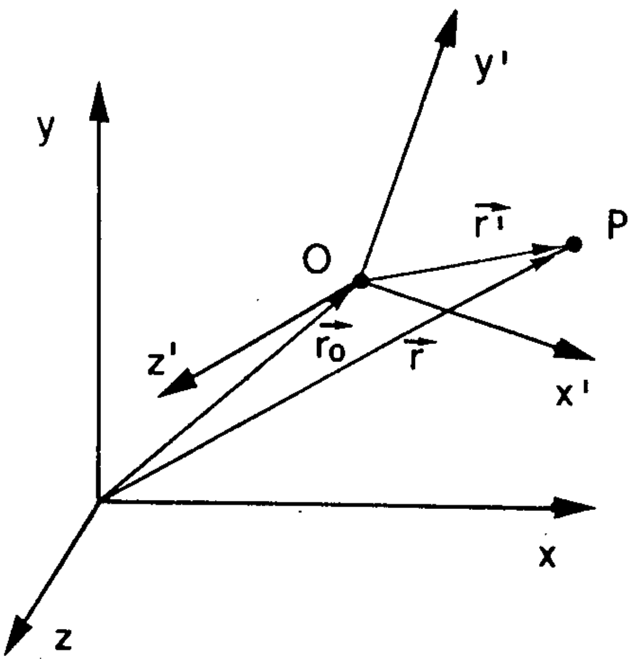
Consideriamo un punto materiale P. la relazione che passa tra il suo vettore posizione nei due sistemi di riferimento è

$$r' = r - r_0$$

Il vettore r_0 è il vettore posizione dell'origine O' del sistema mobile rispetto al sistema fisso. Tenuto conto che la velocità V_0 dell'origine O' è costante potremo anche scrivere:

$$r' = r - V_0 t$$

Trasformazioni galileiane



Una relazione di uguaglianza tra i vettori, implica l'eguaglianza fra le rispettive rappresentazioni cartesiane rispetto a uno stesso sistema di riferimento: le componenti del vettore al primo membro devono essere uguali alle componenti omologhe del vettore al secondo membro purchè sia il primo che il secondo memebro siano proiettati sugli assi di uno stesso sistema di riferimento.
Introduciamo i vrsori $\hat{\imath}, \hat{\jmath}, \hat{k}$ degli assi coordinati del sistema fisso e $\hat{\imath}', \hat{\jmath}', \hat{k}'$ del sistema mobile.
Si ha:

$$\hat{\imath}'x' + \hat{\jmath}'y' + \hat{k}'z' = \hat{\imath}, (x - V_{0x}t) + \hat{\jmath}\left(y - V_{0y}t\right) + \hat{k}(z - V_{0z}t)$$

Tale relazione non implica in generale che sia $x' = x - V_{0x}t; y' = y - V_{0y}t; z' = z - V_{0z}t$.
Moltiplichiamo scalarmente prima per $\hat{\imath}^{i}$, poi per $\hat{\jmath}^{i}$ e poi per $\hat{k}^{i}$. Tenendo conto che il prodotto scalare di un versore per sé stesso vale 1, mentre il prodotto scalare tra due vettori ortogonali è nullo, otteniamo

Trasformazioni galileiane

$$\begin{cases} x' = (\hat{\imath}' \cdot \hat{\imath})(x - V_{0x}t) + (\hat{\imath}' \cdot \hat{\jmath})(y - V_{0y}t) + (\hat{\imath}' \cdot \hat{k})(z - V_{0z}t) \\ y' = (\hat{\jmath}' \cdot \hat{\imath})(x - V_{0x}t) + (\hat{\jmath}' \cdot \hat{\jmath})(y - V_{0y}t) + (\hat{\jmath}' \cdot \hat{k})(z - V_{0z}t) \\ z' = (\hat{k}' \cdot \hat{\imath})(x - V_{0x}t) + (\hat{k}' \cdot \hat{\jmath})(y - V_{0y}t) + (\hat{k}' \cdot \hat{k})(z - V_{0z}t) \end{cases}$$

Queste relazioni esprimono la relazione che intercorre fra la rappresentazione cartesiana (x', y', z') del vettore $\overline{r'}$ nel sistema mobile e la rappresentazione (x,y, z) del vettore $\bar{r}$ nel sistema fisso.

Ognuno dei prodotti scalari fra i versori presenti al secondo membro è il coseno dell'angolo fra i rispettivi assi.

Usando il meccanismo delle matrici il sistema può essere riscritto come segue:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{\imath}' \cdot \hat{\imath} & \hat{\imath}' \cdot \hat{\jmath} & \hat{\imath}' \cdot \hat{k} \\ \hat{\jmath}' \cdot \hat{\imath} & \hat{\jmath}' \cdot \hat{\jmath} & \hat{\jmath}' \cdot \hat{k} \\ \hat{k}' \cdot \hat{\imath} & \hat{k}' \cdot \hat{\jmath} & \hat{k}' \cdot \hat{k} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x - V_{0x}t \\ y - V_{0y}t \\ z - V_{0z}t \end{pmatrix}$$

Ovvero anche

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = |R| \begin{pmatrix} x - V_{0x}t \\ y - V_{0y}t \\ z - V_{0z}t \end{pmatrix}$$

dove con R si è indicata la matrice delle rotazioni.

Trasformazioni galileiane

Nel caso particolare in cui il sitema mobile e quello fisso abbiano lo stesso orientamento, la matrice R si riduce alla matrice identica

$$|R| = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

In questo caso si avrà:

$$\begin{cases} x' = x - V_{0x}t \\ y' = y - V_{0y}t \\ z' = z - V_{0z}t \end{cases}$$

Queste relazioni prendono il nome di trasformazioni di Galileo.
Derivando membro a membro l'equazione:

$$\hat{\imath}'x' + \hat{\jmath}'y' + \hat{k}'z' = \hat{\imath},(x - V_{0x}t) + \hat{\jmath}(y - V_{0y}t) + \hat{k}(z - V_{0z}t)$$

si ottiene

$$\hat{\imath}'v_x' + \hat{\jmath}'v_y' + \hat{k}'v_z' = \hat{\imath}(v_x - V_{0x}) + \hat{\jmath}(v_y - V_{0y}) + \hat{k}(v_z - V_{0z})$$

Trasformazioni galileiane

In forma matriciale:

$$\begin{pmatrix} v'_x \\ v'_y \\ v'_z \end{pmatrix} = |R| \begin{pmatrix} v_x - V_{0x} \\ v_y - V_{0y} \\ v_z - V_{0z} \end{pmatrix}$$

Derivando ulteriormente e, tenendo conto che $\overline{V_0}$ è costante, si ha:

$$\hat{\imath}' a'_x + \hat{\jmath}' a'_y + \hat{k}' a'_z = \hat{\imath} a_x + \hat{\jmath} a_y + \hat{k} a_z$$

In forma matriciale:

$$\begin{pmatrix} a'_x \\ a'_y \\ a'_z \end{pmatrix} = |R| \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{pmatrix}$$

L'accelerazione del punto P è invariante per trasformazioni di Galileo

.

Nel caso particolare che i due sistemi di riferiento siano orientati allo stesso modo, si ha:

$$\begin{cases} a'_x = a_x \\ a'_y = a_y \\ a'_z = a_z \end{cases} \qquad \Rightarrow \qquad cioè\ \bar{a}' = \bar{a}$$

Trasformazioni galileiane

L'equazione $\bar{f} = m\bar{a}$ è invariante per trasformazioni di Galileo. Infatti , per la forza si ha:

$$\begin{pmatrix} f'_x \\ f'_y \\ f'_z \end{pmatrix} = |R| \begin{pmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{pmatrix}$$

e cioè:

$$\begin{cases} f'_x = f_x \\ f'_y = f_y \\ f'_z = f_z \end{cases}$$

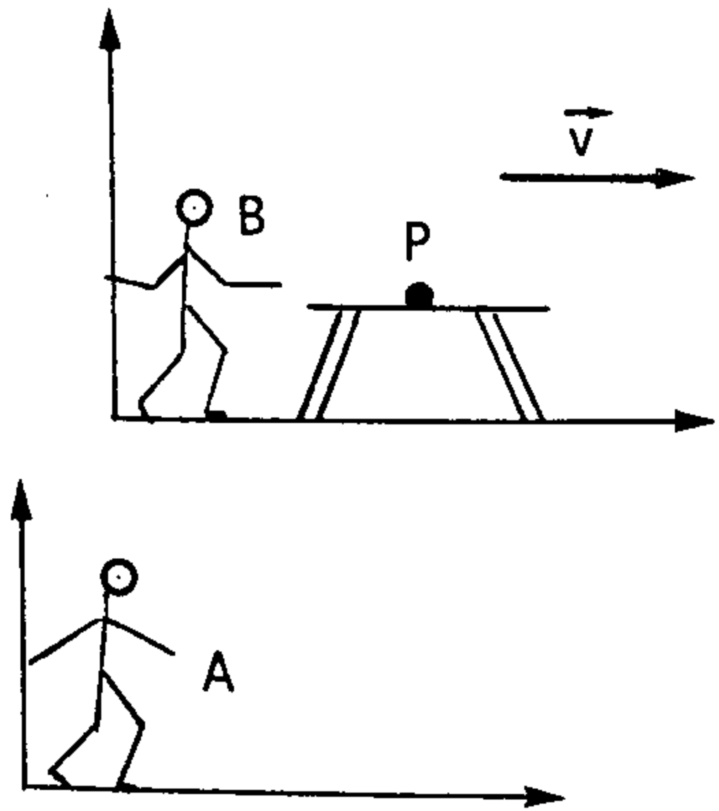
nel caso in cui i due sistemi abbiano lo stesso orientamento.
Inoltre, dalla definizione operativa di massa e di forza, è facile concludere che una bilancia e un dinamometro disposti ad esempio nel sistema mobile consentono di leggere lo stesso valore per la grandezza misurata sia a un ossrvatore fermo nel sistema mobile che a un osservatore nel sistema fisso. Ciò significa che la massa, che è una grandezza scalare, è invariante passando da un sistema di riferimento a un altro:

$$m = m'$$

Il secondo principio della dinamica soddisfa il principio di relatività

Sistemi non inerziali e forze apparenti

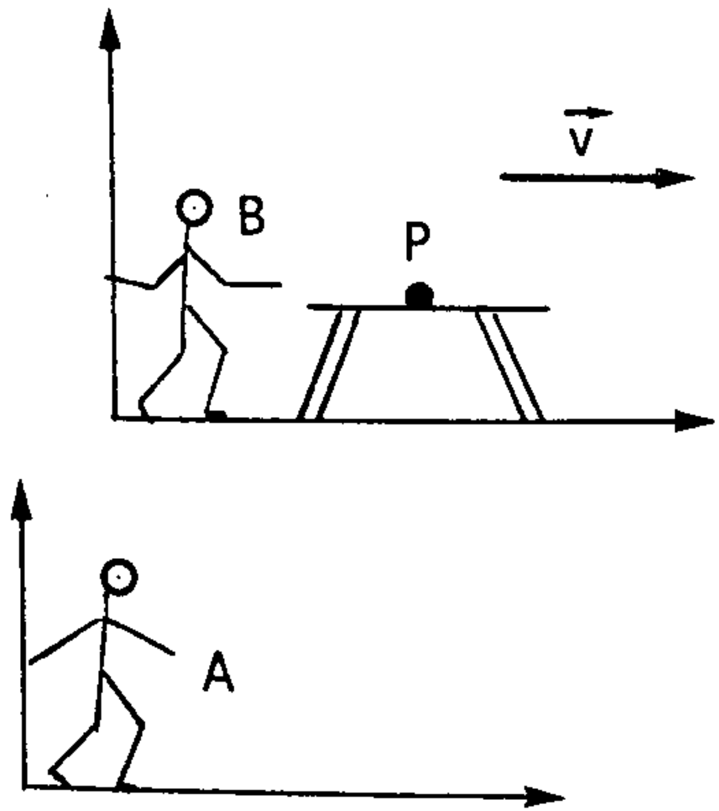
Si dice non inerziale un sistema di riferimento in cui non vale in principio d'inerzia.
Se, ad esempio, stiamo viaggiando su un treno, quando questo frena o accelera bruscamente o curva, esso si trasforma in un sistema di riferimento non inerziale. In sostanza, avvertiamo che agisce una forza ma questa non è esercitata da nessun agente.



Consideriamo un sistema di riferimento (il treno) che si muove inizialmente di moto rettilineo uniforme rispetto a terra. Sul treno un osservatore B ha disposto una palla da biliardo P su un tavolo orizzontale liscio. Poiché il treno si muove con velocità V uniforme, la biglia resta in equilibrio rispetto al tavolo. Il fenomeno osservato da terra da uno sperimentatore A rivela che la biglia si muove con la stessa velocità V del treno.
Se il treno subisce una frenata, se il punto P non viene frenato anch'esso, continuerà a muoversi con la stessa velocità che aveva inizialmente

Sistemi non inerziali e forze apparenti

Dal punto di vista di A, il treno , essendo stato frenato, si arresta. Ma se nessuno frena P, esso continua a muoversi con la stessa velocità V. Fra il treno e il punto P si genera una velocità relativa conseguenza del fatto che il treno decelera e il punto no. Ciò che vede l'osservatore B è che la biglia subisce all'improvviso una accelerazione: il punto P, infatti, che inzialemente era fermo, comincia a muoversi.



Quando un corpo si muove, siamo abituati a ricercare la forza che genera il moto. In questo caso, non essendovi alcuna forza responsabile del moto, si dirà che agisce una forza apparente o fittizia.
Che si tratti di una forza è onfermato dal fatto che, qualore ne voglia annullare l'effetto, egli deve applicare a P una forza . Tale forza, dal punto di vista di A è quella che serve per frenare P contemporanememente al treno, dal punto di vista di B è una forza che serve a equilbrare l'effetto della forza fittizia consentendo al punto P di restare in equilibrio a dispetto della azione della forza fittizia stessa

Sistemi non inerziali e forze apparenti

Analisi quantitativa.

Consideriamo un sistema di riferimento inerziale (sistema fisso) e un secondo sistema di riferimento non inerziale (sistema mobile).

Si supponga che il sistema mobile si muova di moto traslatorio, cioè con un orientamento fisso rispetto al sistema fisso anche se non con velocità uniforme.

Se il punto P si muove per azione di una forza $\bar{f}$, nel sistema fisso possiamo scrivere:

$$\bar{f} = m\bar{a}$$

Nel sistema di riferimento mobile, le coordinate x', y', z' del punto P sono legate alle coordinate x, y, z di P nel sistema fisso dalle relazioni:

$$\begin{cases} x' = x - X \\ y' = y - Y \\ z' = z - Z \end{cases}$$

dove X, Y, Z sono le coordinate dell'origine del sistema mobile.

Derivando una prima e una seconda volta, otteniamo:

$$. \begin{cases} v'_x = v_x - V_x \\ v'_y = v_y - V_y \\ v'_z = v_z - V_z \end{cases} \qquad \begin{cases} a'_x = a_x - A_x \\ a'_y = a_y - A_y \\ a'_z = a_z - A_z \end{cases}$$

Quindi:

$$\bar{r}' = \bar{r} - \bar{R}, \quad \bar{v}' = \bar{v} - \bar{V}, \; \bar{a}' = \bar{a} - \bar{A}$$

Dove $\bar{R}, \bar{V}, \bar{A}$ sono rispettivamente il vettore posizione, la velocità e l'accelerazione dell'origine O' del sistema mobile rispetto al sistema fisso.

Analisi quantitativa.
Sapendo che $\bar{a}' = \bar{a} - \bar{A}$, l'accelerazione nel sistema di riferimento fisso vale:

$$\bar{a} = \bar{a}' + \bar{A}$$

Pertanto, la seconda legge della dinamica diventa:

$$\bar{f} = m\bar{a} = m(\bar{a}' + \bar{A}) = m\bar{a}' + m\bar{A}$$

ovvero:

$$\bar{f} - m\bar{A} = m\bar{a}'$$

L'osservatore mobile, eseguendo, nel suo sistema di riferimento non inerziale una misura dinamica di forza, trova un risultato che non è semplicemente uguale alla forza $\bar{f}$ «reale»; egli vede invece apparire accanto a $\bar{f}$ un secondo termine $-m\bar{A}$ che egli chiama forza di inerzia. L'accelerazione A è detta accelerazione di trascinamento.
Affinchè un punto materiale resti in equilibrio nel sistema mobile, deve essere $\bar{f} - m\bar{A} = 0$; è necessario applicare cioè un'altra forza reale $\bar{f}$ che, sommata alla forza di inerzia $-m\bar{A}$ dia risultante nullo.

Sistemi non inerziali e forze apparenti

Sistema non inerziale dotato di moto qualunque.

Partiamo dalla relazione:

$$\hat{\imath}'x' + \hat{\jmath}'y' + \hat{k}'z' = \hat{\imath},(x - V_{0x}t) + \hat{\jmath}\left(y - V_{0y}t\right) + \hat{k}(z - V_{0z}t)$$

Se la velocità del sistema di riferimento mobile non si mantiene costante, essa diventa:

$$\hat{\imath}'x' + \hat{\jmath}'y' + \hat{k}'z' = \hat{\imath}(x - X) + \hat{\jmath}(y - Y) + \hat{k}(z - Z)$$

Inoltre, i versori non si mantengono più costanti e, dunque, la loro derivata temporale è:

$$\frac{di'}{dt} = \overline{\omega} \times \hat{\imath}'; \frac{dj'}{dt} = \overline{\omega} \times \hat{\jmath}'; \frac{dk'}{dt} = \overline{\omega} \times \hat{k}';$$

dove ω è la velocità angolare con cui il sistema mobile ruota rispetto a quello fisso.
Derivando, pertanto, si ottiene:

$$\hat{\imath}'v'_x + \hat{\jmath}'v'_y + \hat{k}'v'_z + \overline{\omega} \times \left(\hat{\imath}'x' + \hat{\jmath}'y' + \hat{k}'z'\right) = \hat{\imath}(v_x - V_x) + \hat{\jmath}\left(v_y - V_y\right) + \hat{k}(v_z - V_z)$$

Sistemi non inerziali e forze apparenti

Sistema non inerziale dotato di moto qualunque.

In termini vettoriali:

$$\bar{v}' = \bar{v} - \bar{v}_t = \bar{v} - (\bar{V} + \bar{\omega} \times O'P)$$

$\bar{v}' = \hat{\imath}' v'_x + \hat{\jmath}' v'_y + \hat{k}' v'_z$ è la velocità delpunto P rispetto al sistema mobile (velocità relativa)

$\bar{v} = \hat{\imath} v_x + \hat{\jmath} v_y + \hat{k} v_z$ è la velocità del punto P rispetto al sistema fisso (velocità assoluta)

$\bar{v}_t$ è la velocità con cui si muove rispetto al sistema fisso il punto solidale col sistema mobile che nell'istante consideraro è occupato da P (velocità di trascinamento)

Sistemi non inerziali e forze apparenti

Sistema non inerziale dotato di moto qualunque.

Derivando la relazione

$$\hat{\imath}'v'_x + \hat{\jmath}'v'_y + \hat{k}'v'_z + \bar{\omega} \times (\hat{\imath}'x' + \hat{\jmath}'y' + \hat{k}'z') = \hat{\imath}(v_x - V_x) + \hat{\jmath}(v_y - V_y) + \hat{k}(v_z - V_z)$$

espressa in termini vettoriali:

$$\bar{v}' = \bar{v} - \bar{v}_t = \bar{v} - (\bar{V} + \bar{\omega} \times O'P)$$

È dato dalla derivata di ω rispetto al tempo

si ottiene:

$$\hat{\imath}'a'_x + \hat{\jmath}'a'_y + \hat{k}'a'_z + \bar{\omega} \times (\hat{\imath}'v'_x + \hat{\jmath}'v'_y + \hat{k}'v'_z) + \bar{\alpha} \times (\hat{\imath}'x' + \hat{\jmath}'y' + \hat{k}'z') + \bar{\omega} \times (\hat{\imath}'v'_x + \hat{\jmath}'v'_y + \hat{k}'v'_z) + \bar{\omega} \times [\bar{\omega} \times (\hat{\imath}'x' + \hat{\jmath}'y' + \hat{k}'z')] = \hat{\imath}(a_x - A_x) + \hat{\jmath}(a_y - A_y) + \hat{k}(a_z - A_z)$$

In termini vettoriali:

$$\bar{a}' = \bar{a} - \bar{a}_t - \bar{a}_c = \bar{a} - [\bar{A} + \bar{\alpha} \times O'P + \bar{\omega} \times (\bar{\omega} \times O'P) - 2\bar{\omega} \times \bar{v}']$$

$\bar{a} = \hat{\imath}a_x + \hat{\jmath}a_y + \hat{k}a_z$ è l'accelerazione del punto P rispetto al sistema fisso (accelerazione assoluta)

$\bar{a}_t$ è l'accelerazione con cui si muove rispetto al sistema fisso il punto solidale col sistema mobile che nell'istante consideraro è occupato da P (accelerazione di trascinamento)

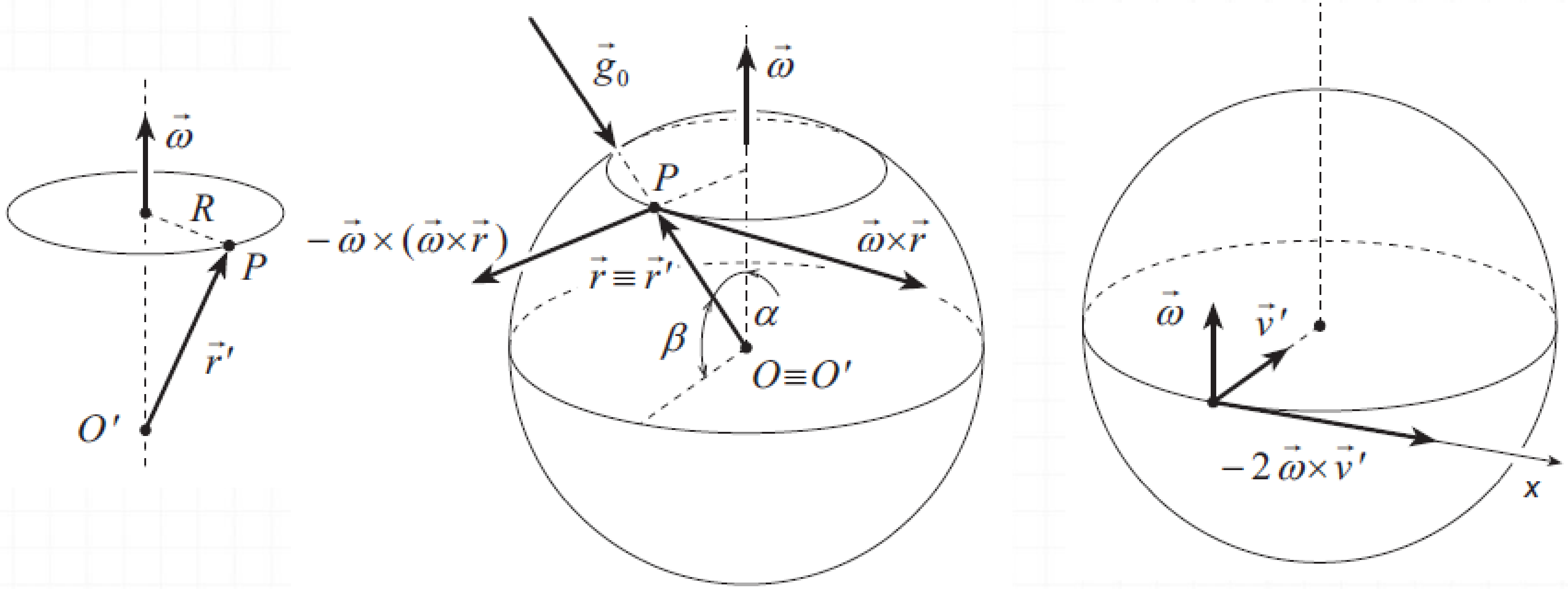
$\bar{a}' = \hat{\imath}'a'_x + \hat{\jmath}'a'_y + \hat{k}'a'_z$ è l'accelerazione delpunto P rispetto al sistema mobile (accelerazione relativa)

L'accelerazione di Coriolis

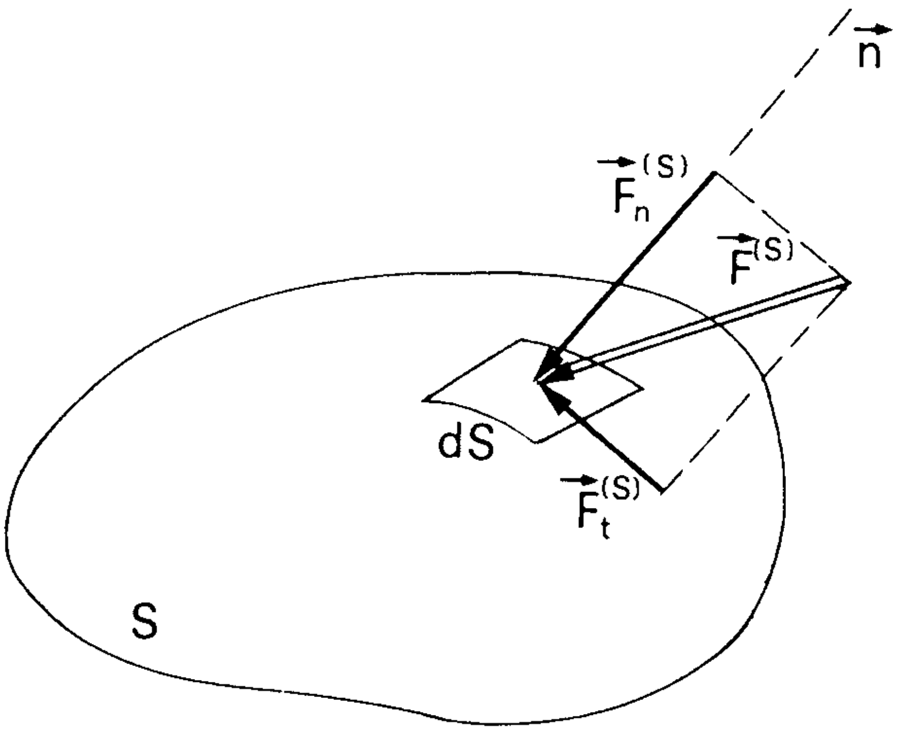
Il termine

$$\bar{a}_c = 2\bar{\omega} \times \bar{v}'$$

è detta accelerazione di Coriolis o accelerazione complementare e dipende dal moto di P nel sistema con origine in O' annullandosi, in particolare, se $\bar{v}' = 0$, cioè se il punto P è a riposo rispetto a O' , o se i vettori $\bar{v}'$ e $\bar{\omega}$ sono tra loro paralleli.



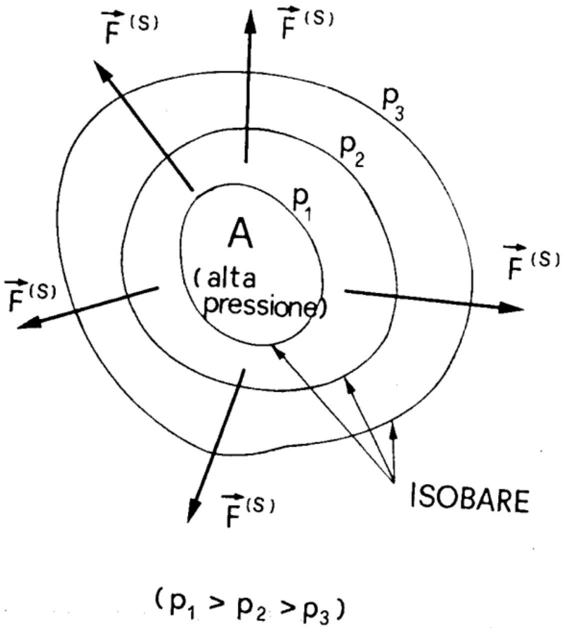
I venti nell'atmosfera



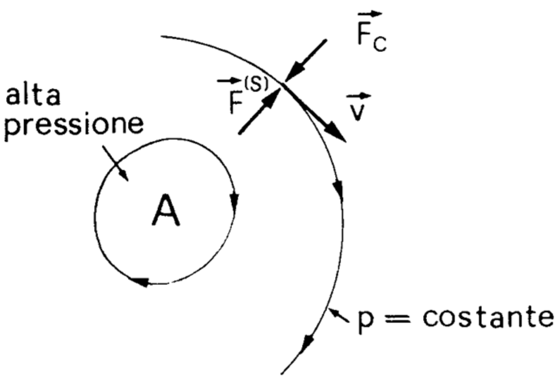
La Terra, a causa della sua rotazione, costituisce un sistema di riferimento non inerziale. Consideriamo una porzione di aria come se fosse identificabile durante il suo moto, perché contenuta in una specie di recipiente costituito da una sottilissima pellicola di massa trascurabile (una specie di grande bolla di sapone piena d'aria)

Le forze agenti su questa massa d'aria sono la forza peso, le forze apparenti (di trascinamento e di Coriolis)e le cosiddette forze di superficie esercitate dall'aria esterna sul contorno S della massa d'aria considerata sia normalmente (pressione) sia tangenzialemente (attrito)

I venti nell'atmosfera



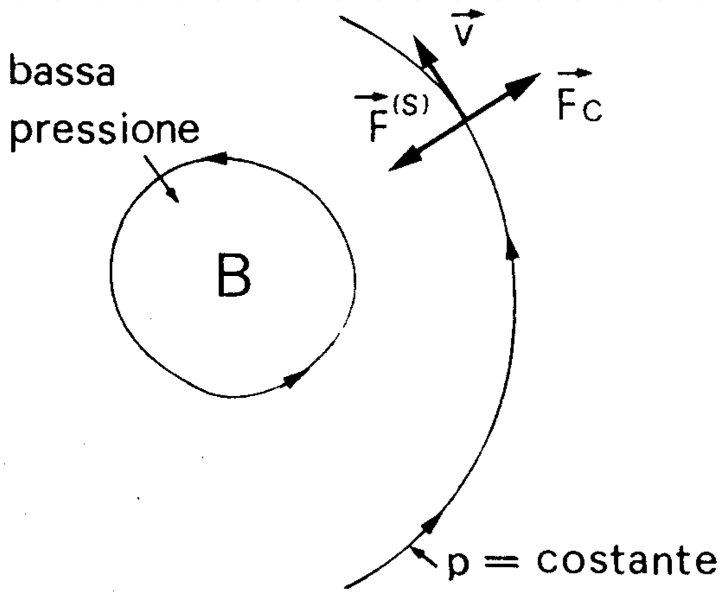
Circolazione anticiclonica oraria



Emisfero Nord della Terra
(venti equilibrati)

Consideriamo venti orizzontali procedenti a velocità costante cioè venti equilibrati: in questi casi la forza peso deve considerarsi equilibrata dalla componente verticale delle forze di superficie e, per le componenti orizzontali delle forze, si può trascurare le forze di attrito. Restano da considerare gli effetti che risultano prevalenti per il movimento orizzontale e cioè le forze di superficie e le forze di Coriolis
Per quanto riguarda le forze di superficie in direzione orizzontale, è chiaro che possono avere risultante diverso da zero se esiste una disuniformità di effetto sulle diverse regioni del contorno della massa d'aria considerata. Poiché questi effetti sono dovuti alla maggiore o minore presenza ed efficacia di particelle d'aria esterne al contorno, cioè dalla diversa pressione locale su tale contorno, rislta che forze orizzontali si presenteranno quando ci saranno zone a pressione diversa e saranno dirette da zone di alta pressione a zone di bassa pressione.

I venti nell'atmosfera



Circolazione ciclonica antioraria

A queste forze dovute a gradienti di pressione si svrappone la forza di Coriolis che, per ipotesi di venti a velocità orizzontale costante, deve equilibrare la forze di pressione. Poiché F_C è perpendicolare alla velocità v, ne segue che la velocità dei venti deve seguire le linee di isobaricità. Il vento di questa velocità, a causa del fattore $\omega \times v$ che compare in F_C risulta essere, intorno a zone di alta pressione (anticicloniche), orario nell'emisfero Nord della Terra ed antiorario nell'emisfero Sud; l'opposto accade per i venti in zone di bassa pressione (cicloniche)