

L'effetto Magnus - ovvero - perchè un palla calciata con "l'effetto" percorre una traiettoria curva?

Giuseppe Dalba

Sommario

Una palla in movimento traslatorio e ruotante attorno ad un asse (passante per il centro di massa e perpendicolare alla direzione del moto) risente di una forza ortogonale alla velocità. Questa forza, dovuta all'interazione con il mezzo entro il quale la palla si muove, viene chiamata "forza di Magnus", ed è responsabile del cosiddetto "effetto" per palline e palloni.

Indice

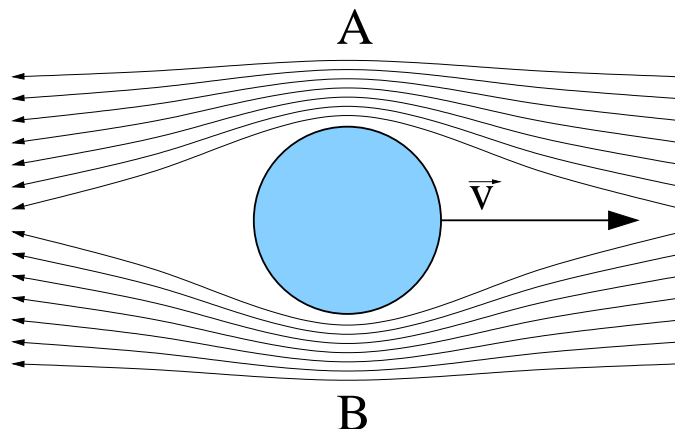
1 L'effetto Magnus	1
1.1 Moto senza rotazione	1
1.2 Moto con rotazione	2

1 L'effetto Magnus

Consideriamo una palla in moto traslatorio, con velocità \vec{v} , e ruotante attorno ad un asse, con velocità angolare $\vec{\omega}$; l'asse passa per il centro di massa della pallina ed è perpendicolare alla direzione del moto. Vogliamo dimostrare che, nel caso la palla si muova in un mezzo fluido in regime di flusso laminare, sulla palla agisce una forza $\vec{F}_M \propto \vec{\omega} \times \vec{v}$, la forza di Magnus.

1.1 Moto senza rotazione

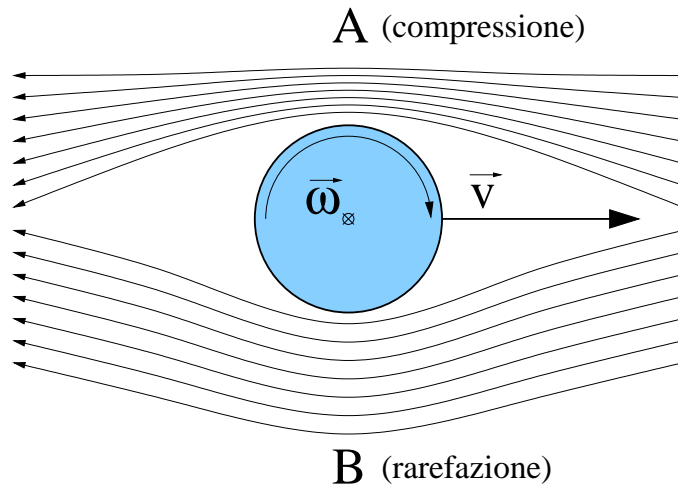
Per un osservatore non rotante solidale alla palla, le molecole del mezzo in A si muovono con la stessa velocità di quelle in B . Per il teorema di Bernoulli possiamo allora concludere che la pressione in A ed in B è la stessa. Avremmo anche potuto ragionare osservando che le molecole del mezzo "stazionano" in A un tempo uguale al tempo di "stazionamento" delle molecole in B , oppure che la densità delle linee di flusso in A è uguale a quella in B .



L'uguaglianza delle pressioni $P_A = P_B$ implica che sulla palla non agisce nessuna forza perpendicolare alla direzione del moto, quindi $\vec{F}_M = 0$ e la traiettoria della palla rimane rettilinea.

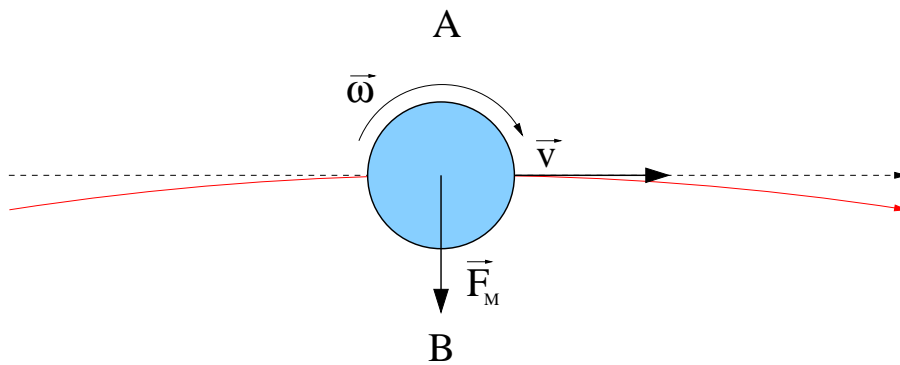
1.2 Moto con rotazione

Per un osservatore non rotante solidale alla palla le molecole del mezzo si muovono in senso opposto alla velocità \vec{v} , esattamente come nel caso senza rotazione; ora però, a causa della combinazione fra moto rotatorio e traslatorio, le molecole in A ed in B non hanno più la stessa velocità. Senza ledere le generalità del caso, assumiamo $\vec{\omega}$ come nella figura seguente: le molecole in A si muovono più velocemente di quelle in B rispetto alla palla.



Infatti, in A la velocità dei punti della superficie della palla è opposta a quella delle molecole del mezzo, per cui la velocità relativa risulta $v_A = v + R\omega$, dove R è il raggio della palla. In B i punti della superficie della palla hanno velocità concorde ed otteniamo $v_B = |v - R\omega|$.

Dal teorema di Bernoulli segue allora che $P_A > P_B$, quindi sulla palla agisce una forza trasversale ortogonale alla direzione del moto e diretta da A verso B . La sua espressione è $\vec{F}_M \propto \vec{\omega} \times \vec{v}$. Sotto l'azione di \vec{F}_M la traiettoria si incurva: possiamo ricordare il verso della curvatura facilmente perchè è il verso di "rotazione" convenzionale di $\vec{\omega}$.



Raggiungiamo la stessa conclusione osservando che, siccome la velocità relativa in A è maggiore di quella in B , le molecole "stazionano" in A un tempo inferiore a quello passato in B . La densità delle molecole in A quindi è più grande che in B . Si ha un addensamento in A ed una rarefazione in B : questo porta ad uno sbilanciamento della pressione che spinge la palla da A verso B .

Un altro modo ancora di ritrovare la forza di Magnus è considerare la densità delle linee di flusso: esse sono più addensate in A che in B .