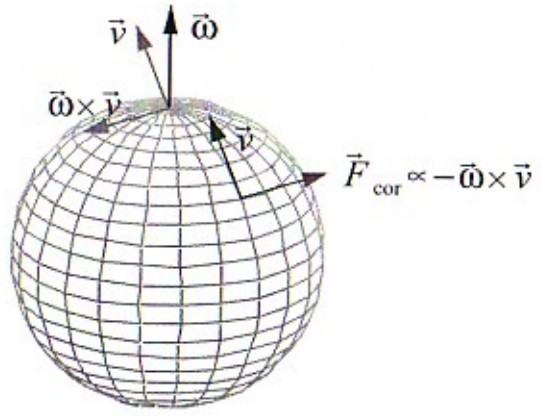
5. Forze fittizie nel moto rispetto alla Terra

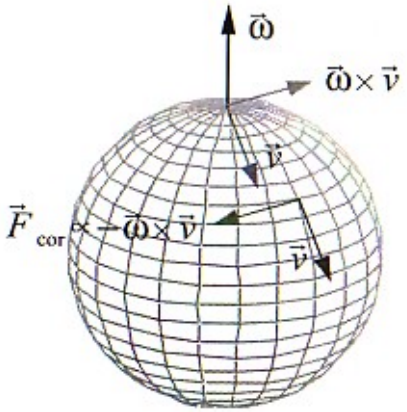
Se consideriamo il moto di corpi rispetto alla Terra ci troviamo in situazioni assai simili a quelle viste nel caso della piattaforma

Normalmente gli oggetti a contatto con la Terra viaggiano alla stessa velocità del punto della Terra ove si trovano: di conseguenza la forza di Coriolis legata alla rotazione terrestre non ha effetto dato che la velocità relativa rispetto alla Terra è nulla. La situazione è diversa per un oggetto che si muova senza essere fermamente a contatto con la superficie terrestre. E' il caso dei venti (moto delle masse d'aria), degli oceani, dei proiettili di artiglieria, degli aeroplani etc. In questi casi l'effetto della forza di Coriolis può essere molto importante e dipende dalla direzione del moto. Vediamo di illustrare le diverse situazioni.

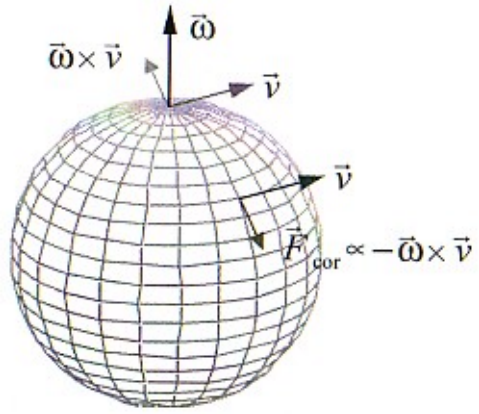


A) Corpo in moto verso Nord: considero dapprima il caso di un corpo non vincolato alla superficie terrestre in moto verso Nord lungo un meridiano. La velocità sarà tangente al meridiano, mentre il vettore velocità angolare della rotazione terrestre è diretto verso l'alto, come in figura. L'effetto della forza di Coriolis è quello di imprimere al corpo un'accelerazione verso Est, che si sovrappone al moto del corpo lungo il meridiano.

B) Corpo in moto verso Sud: la situazione è evidentemente opposta alla precedente; la forza di Coriolis imprime un'accelerazione verso Ovest.



C) Corpo in moto verso Est: in questo caso la forza di Coriolis ha una componente verticale e una diretta verso Sud. Sulla superficie terrestre si ha allora una accelerazione verso Sud.

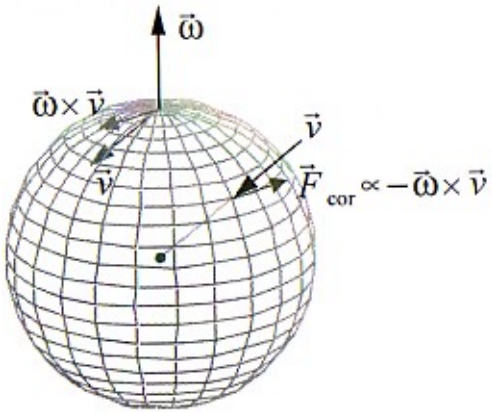


Naturalmente se il corpo fosse in moto verso Ovest, l'accelerazione di Coriolis sarebbe diretta verso Nord.

Questi esempi possono riassumersi nella regola che qualunque corpo che si muova sulla superficie terrestre nell'emisfero Nord viene deflesso verso destra dalla forza di Coriolis.

D) Corpo in caduta libera

In questo caso la velocità è diretta radialmente verso il centro della Terra e la forza di Coriolis risulta diretta verso est. Ciò significa che un corpo lasciato cadere con velocità iniziale nulla non si muove lungo la verticale, in quanto è soggetto oltre che alla forza di gravitazione universale, a quella centrifuga e a quella di Coriolis. La prima è parallela al piano meridiano del luogo, mentre la seconda è perpendicolare al piano meridiano e diretta verso est.

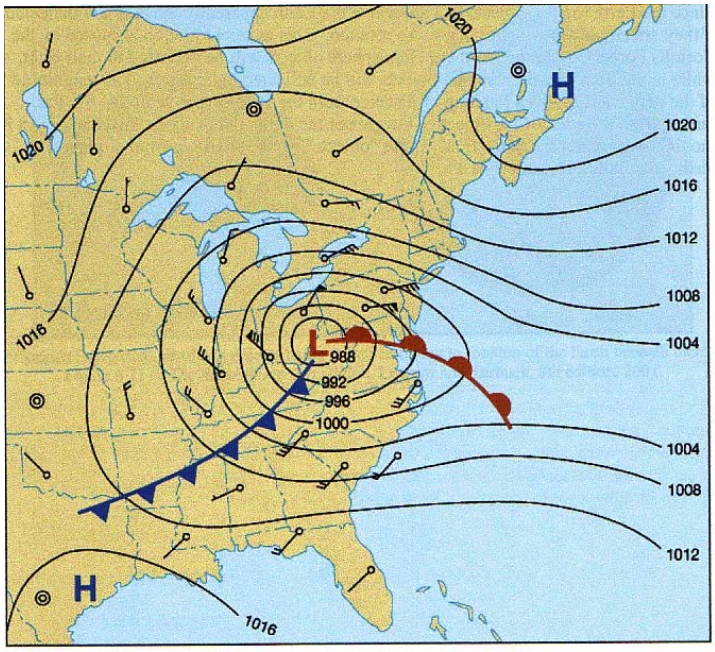


6. Conseguenze della Forza di Coriolis nel sistema terrestre

Illustriamo alcune delle conseguenze che derivano dalla presenza della forza di Coriolis nello studio dei fenomeni terrestri.

<u>La forza di Coriolis e la direzione dei venti</u>

L'effetto della forza di Coriolis sulla direzione del moto delle masse d'aria, cioè dei venti, è molto importante. I venti si originano a seguito di differenze di pressione atmosferica in punti diversi della Terra. Per un osservatore inerziale, quindi non solidale con la Terra, la forza che determina il movimento delle masse d'aria è dovuta all'esistenza di un gradiente di pressione (il gradiente di pressione è la variazione della pressione per unità di lunghezza). Poiché il gradiente è diretto perpendicolarmente alle linee o superficie di pressione costante (isobare), il moto dovrebbe avvenire lungo tale direzione dalla alta alla bassa pressione.

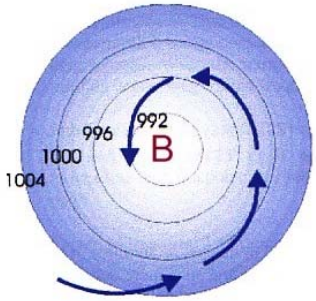


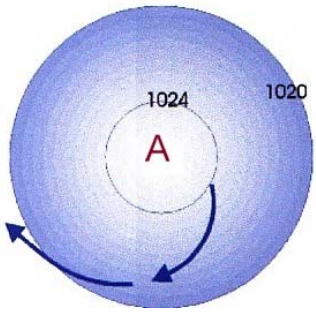
Naturalmente per osservatori terrestri, quali noi siamo, le cose non vanno in questo modo, come illustrato nell'esempio di carta del tempo sopra riportata.

Si tratta di una carta sulla quale è predisposta la mappa fisica di un dato territorio (nel caso in esame le coste atlantiche del Nord-America) : sopra di essa vengono riportate le linee che collegano punti con la stessa pressione atmosferica (isobare). Ogni linea corrisponde a un valore della pressione che è dato in millibar (la pressione atmosferica in condizioni normali è 1013 millibar). E' così possibile individuare zone di alta (High) e bassa (Low) pressione. I venti misurati nella stazioni disposte sul territorio sono indicati dai segmenti con vertice e con un numero di tacche

perpendicolari tanto maggiore quanto più elevata è la intensità del vento. Si noti che, in accordo con quanto detto sopra, quanto più fitte sono le isobare (maggiore cioè è il gradiente di pressione) tanto più intensi risultano i venti. Tuttavia a differenza di quanto osservabile in un sistema inerziale, i venti nel sistema solidale con la Terra non si muovono in direzione ortogonale alle isobare, ma piuttosto formano un piccolo angolo con queste, tanto da essere quasi tangenti.

In realtà il moto dei venti avviene in modo che la circolazione dell'aria attorno a un'area di bassa pressione è in senso anti-orario, mentre quella attorno alle aree di alta pressione è in senso orario.

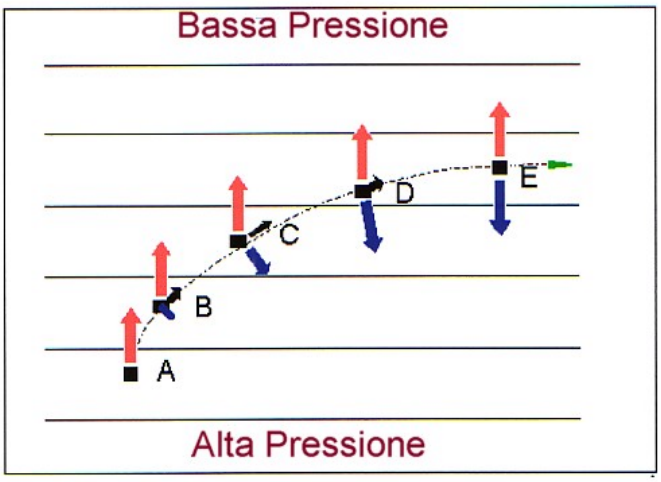




Lo schema tipico è riportato in figura. Il primo diagramma mostra un'area di bassa pressione. Queste aree sono determinate dal crescere della temperatura atmosferica, che causa la diminuzione della densità dell'aria, la quale tende a sollevarsi. Il vento circola in senso anti-orario ed è tanto intenso quanto più elevato è il gradiente barico.

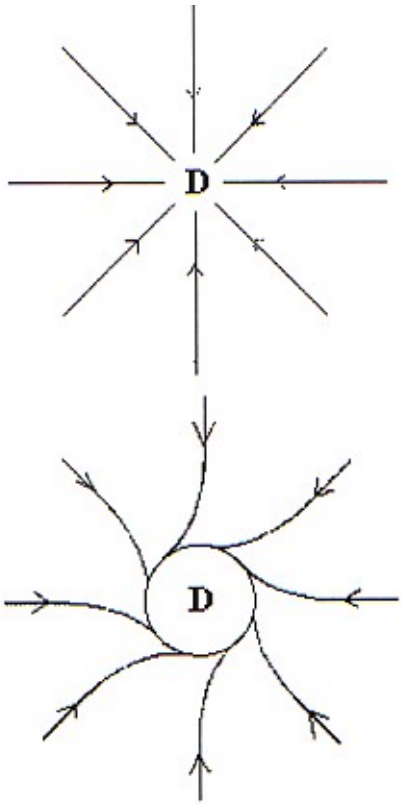
Il secondo diagramma mostra una zona di alta pressione, cioè quando l'aria è fredda e tende a discendere. Il vento circola in senso orario.

A determinare la direzione del vento contribuiscono, oltre al gradiente di pressione, la forza di Coriolis, la gravità e le forze di frizione. Queste ultime sono più elevate vicino al suolo e non influenzano il moto dei venti alle quote più elevate.

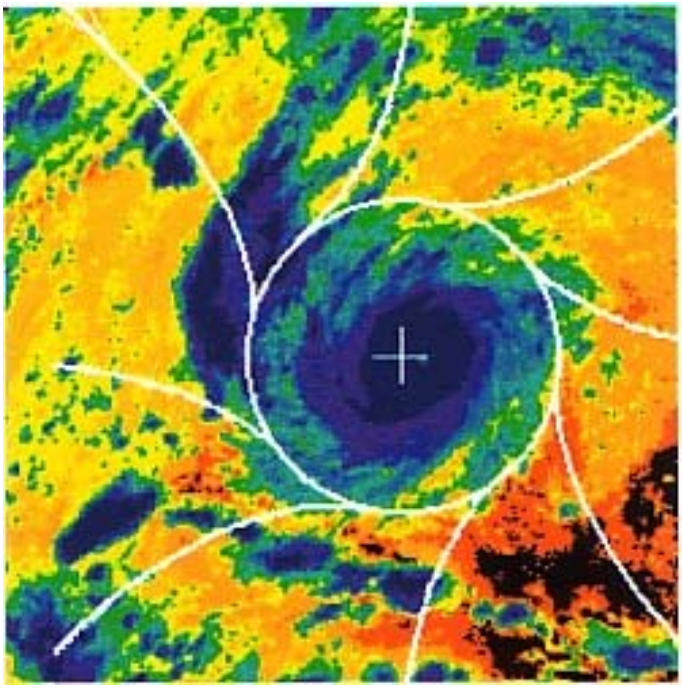


La forza di Coriolis è quella che determina maggiormente la inclinazione che i venti hanno rispetto alle isobare. Per illustrarne

l'effetto consideriamo il caso in figura in cui si è supposto l'esistenza di un gradiente di pressione tra due regioni di una superficie planare con linee isobare parallele. In queste condizioni un osservatore inerziale osserverebbe le masse d'aria muoversi nella direzione ortogonale alle isobare, indicata dalla freccia rossa.
Per vedere cosa si osserva in un sistema di riferimento solidale con la Terra, supponiamo che all'istante iniziale una massa d'aria si metta in moto sotto l'azione della differenza di pressione; al crescere della velocità aumenta la forza di Coriolis (freccia blu), la quale tende a spostare la direzione del moto verso destra. Il risultato della somma dei due vettori è dato dalla freccia nera. Quando la massa d'aria raggiunge la sua velocità massima, la forza di Coriolis equilibra quella dovuta al gradiente di pressione (punto E) ed essa si muove proprio lungo le isobare.
L'effetto della frizione, tendendo a rallentare il moto, sarà quello di diminuire la forza di Coriolis, aumentando il peso della componente normale alle isobare, ma fondalmentalmente è la forza di Coriolis a determinare la direzione del vento.



Se quindi si determina in un certo luogo una depressione, i venti anziché convergere verso di esso, come ci si aspetterebbe se la Terra non ruotasse attorno al suo asse (figura in alto), danno luogo a una zona anulare in cui i venti ruotano con velocità considerevole in senso anti-orario attorno alla depressione (figura in basso).
Questo si osserva esplicitamente attraverso le immagini satellitari, come quella sottostante che rappresenta il ciclone Andrew nel Nord Atlantico.

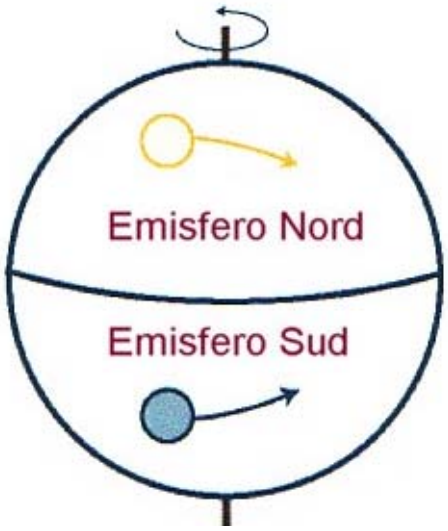


Lo spostamento del letto dei fiumi

Sappiamo che un corpo che si muove lungo un meridiano terrestre da Sud verso Nord è soggetto a una forza di Coriolis verso destra. La corrente di un fiume non è rigidamente vincolata alla Terra nel suo moto, quindi la corrente di un fiume che si muove verso Nord dovrebbe premere sul lato destro, determinando un'erosione differenziale delle rive.

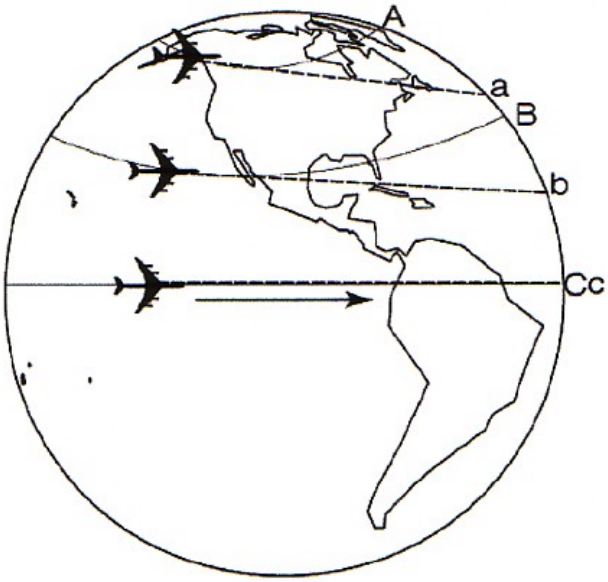
Il moto di un aeromobile

Un aeroplano che si muova sulla superficie terrestre da ovest a est deve tenere presente che la forza di Coriolis tende a spostare verso destra, cioè verso Sud, la sua traiettoria nell'emisfero Nord (e viceversa in quello Sud).



Nota: La stessa cosa vale per le perturbazioni atmosferiche che si muovono da Ovest verso Est nel nostro emisfero.

Nel progettare quindi i propri spostamenti il pilota di un aeromobile dovrà correggere il proprio percorso rispetto a quello che si avrebbe se la Terra fosse ferma e che può essere progettato con una semplice carta geografica.



Se si esclude il caso del moto lungo l'equatore dell'equatore, in corrispondenza del quale non si ha alcuna deviazione, il pilota che per raggiungere le località A e B si muovesse lungo le linee curve più brevi che collegano il punto di partenza con quello di arrivo, si troverebbe considerevolmente più a Sud (rispettivamente nei punti a e b della figura).