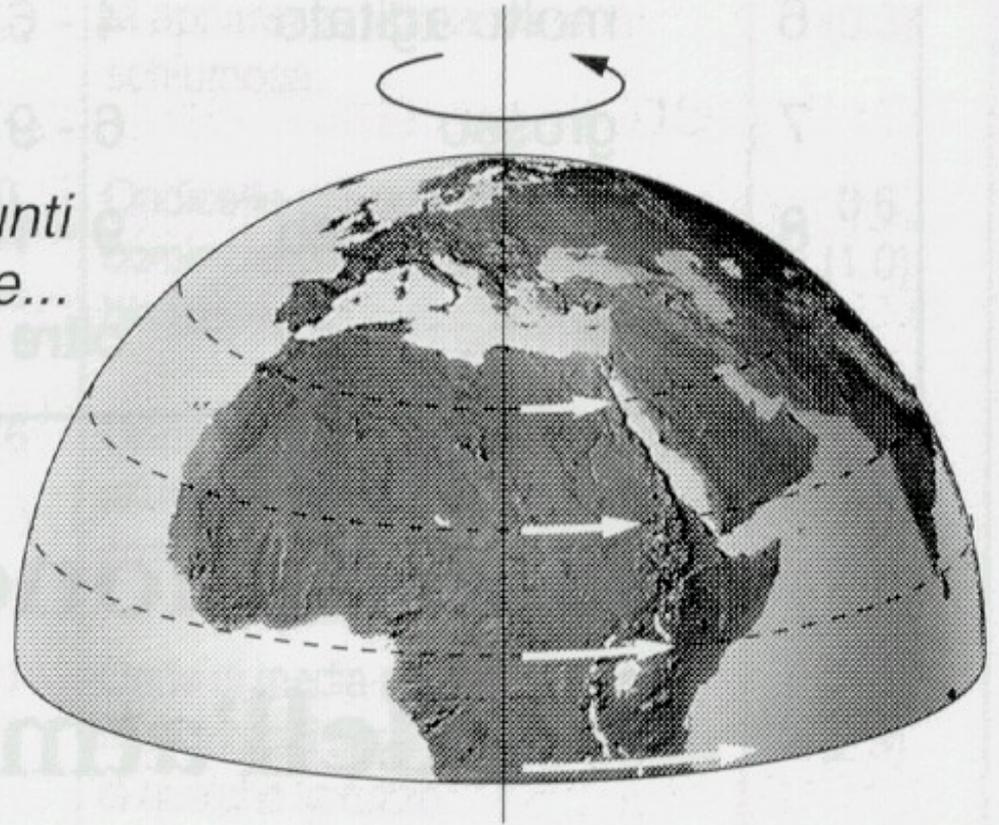


Forza - Effetto Coriolis



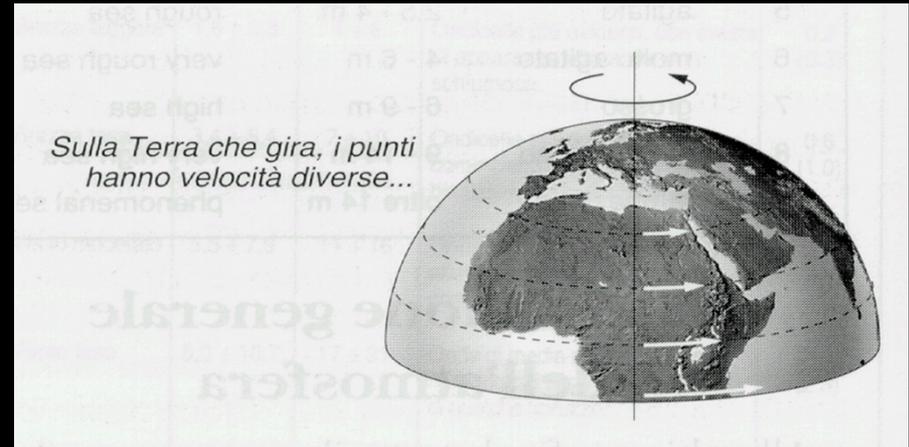
*Sulla Terra che gira, i punti
hanno velocità diverse...*



La Terra ruota attorno al proprio asse in senso antiorario (da W verso E):

- all'equatore: velocità di rotazione = 465.11 m/s
- a 50° lat : velocità di rotazione = 300 m/s

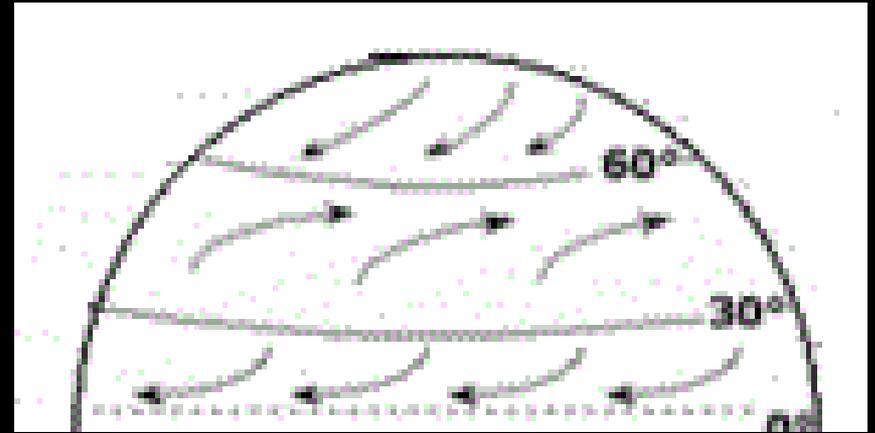
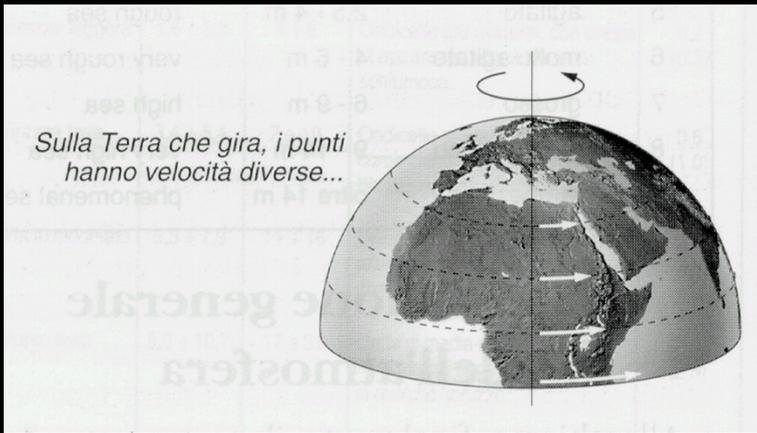
EFFETTO CORIOLIS



Questo movimento di rotazione non influenza le particelle che si trovano su una superficie solida, ma quelle che si trovano in un fluido (aria o acqua):

Se la particella si trova sulla terraferma, all'equatore si muove più velocemente che ai poli, percorrendo più spazio nella stessa unità di tempo.

Se invece la particella si muove in un fluido (aria o acqua), avrà movimento diverso a seconda dell'emisfero nel quale si trova:



- **EMISFERO NORD: se si muove verso nord:**

- si muove verso una zona dove la velocità verso est è minore:
- particella ha "memorizzata" una velocità verso est superiore a quella dell'acqua nella quale si muove, quindi *precede* la superficie terrestre:
- viene deflessa verso est (va alla sua destra);

- **se si muove verso sud:**

- si muove verso una zona dove la velocità verso est è maggiore:
- particella sarà *in ritardo* rispetto al movimento della superficie terrestre:
- viene deflessa verso ovest (che è sempre sua destra).

EFFETTO CORIOLIS

Emisfero Sud

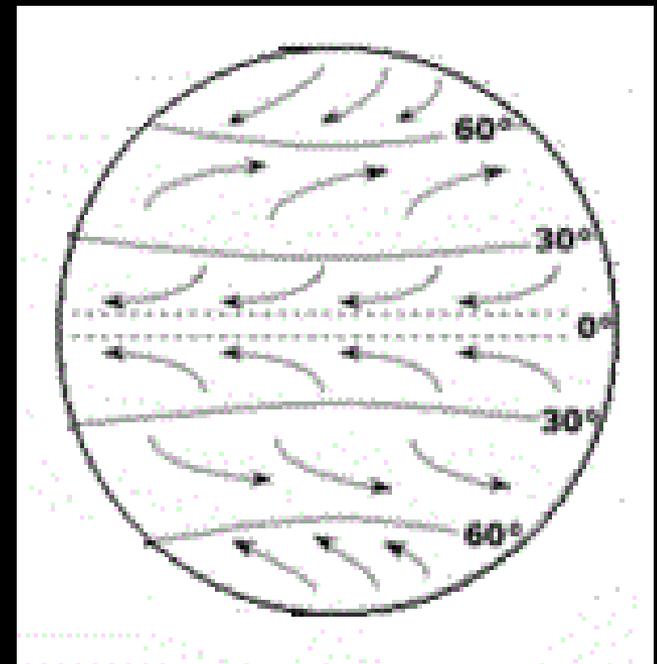
Succede l'inverso nell'emisfero Sud

se si muove verso nord:

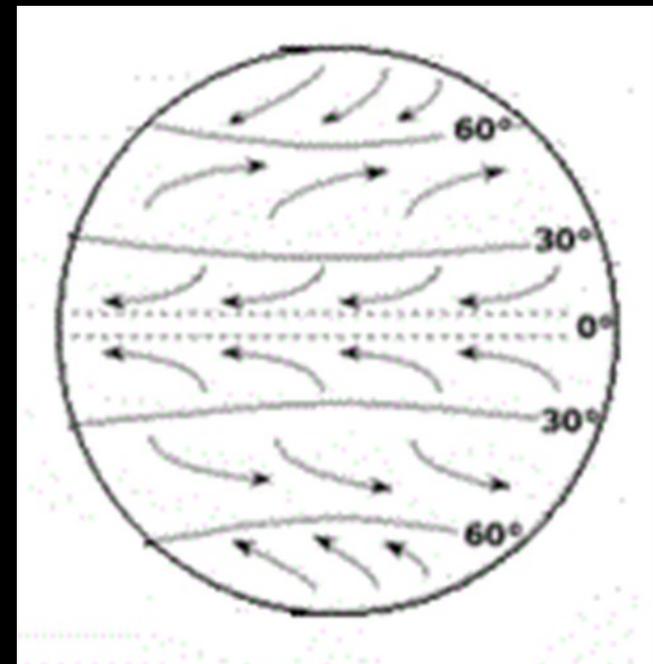
- si muove verso una zona dove la velocità verso est è maggiore:
 - particella rimane *arretrata* rispetto al movimento della superficie terrestre:
- => viene deflessa verso ovest (la sua sinistra).

se si muove verso sud

- *precede* la superficie e viene deflessa verso est (la sua sinistra)



Concludendo:



Dato che la Terra ruota da ovest verso est, se dal Polo Nord oppure dal Polo Sud ci dirigiamo inizialmente verso l'Equatore, finiremo per essere "*in ritardo*" sulla rotazione e dunque il nostro moto acquisterà una componente verso ovest.

Se, viceversa, dall'equatore andiamo verso uno dei due poli, saremo "*in anticipo*" e acquisiremo una componente del moto verso est.

EFFETTO CORIOLIS

Questo effetto è detto **EFFETTO CORIOLIS**: esso causa:

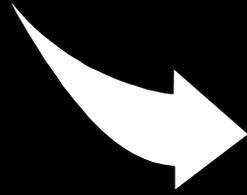
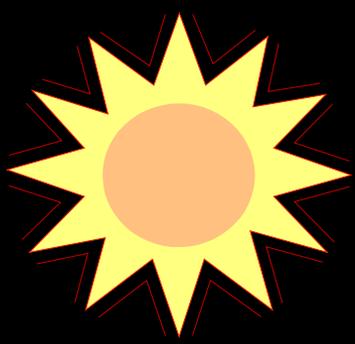
- una deflessione verso destra per le acque che si muovono nell'emisfero nord;
- una deflessione verso sinistra per le acque che si muovono nell'emisfero sud.
- E' alla base della formazione dei sistemi ciclonici o anticiclonici dell'atmosfera

induce la formazione di vortici in senso orario nell'emisfero boreale e di vortici in senso antiorario nell'emisfero australe



La circolazione atmosferica ed oceanica

An aerial photograph of a large ocean wave crashing, creating a massive plume of white foam and spray. The water is a mix of deep blue and green, with the white foam contrasting sharply against the darker colors. The sun is low in the sky, creating a golden glow on the spray and the surface of the water.

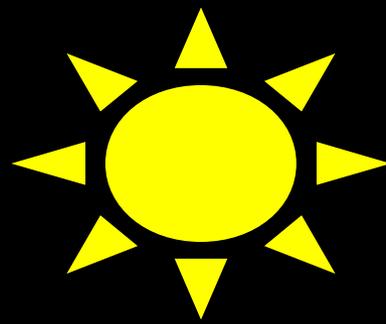


L' ENERGIA SOLARE:

è il principale motore che aziona la circolazione atmosferica ed oceanica.

- I venti innescano la circolazione superficiale dei mari
- Gli oceani, a loro volta, influenzano la circolazione atmosferica:

Oceani e Atmosfera devono essere considerati come un sistema dinamico accoppiato.



EQUATORE

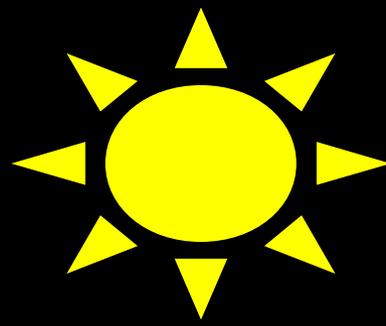
POLO NORD

POLO SUD



L'aria calda all'equatore tende a salire (- densa), mentre l'aria fredda ai poli tende a scendere (+ densa) : e poiché la pressione a livello del mare dipende dal peso della colonna d'aria sovrastante :

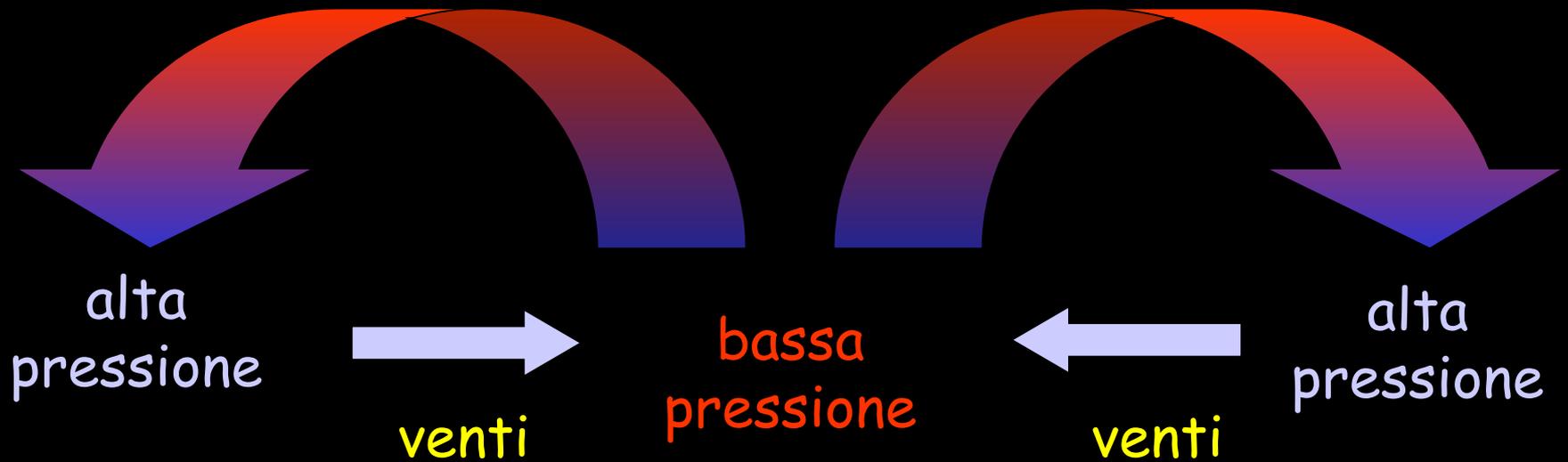
- equatore = bassa pressione = LP
- poli = alta pressione = HP



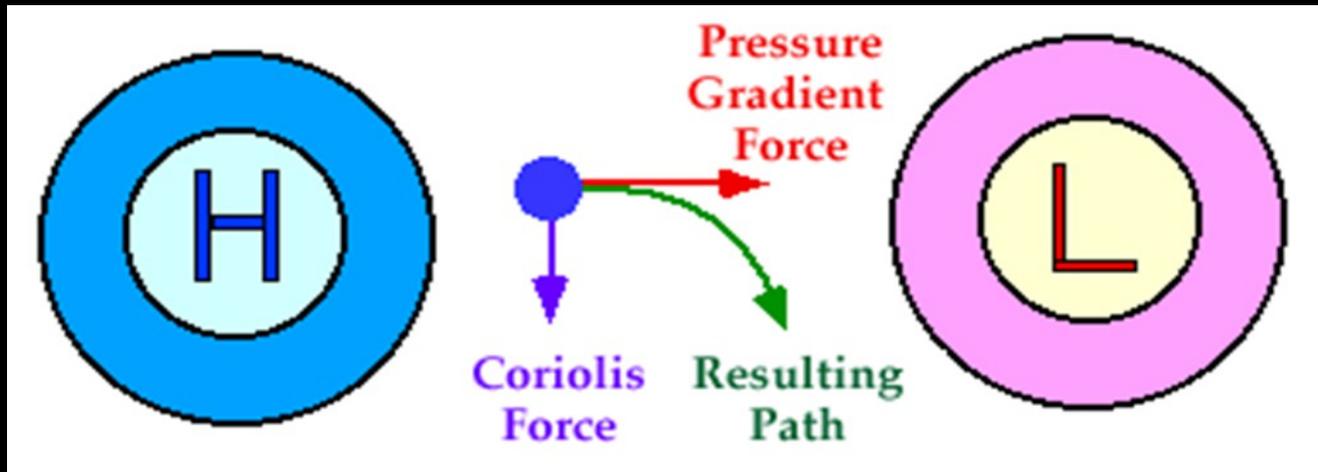
POLO NORD

EQUATORE

POLO SUD



- Al livello dal mare si stabilisce quindi un **gradiente di pressione** alte > basse latitudini.
- Nei fluidi e nei gas questo gradiente produce un flusso dalle aree di alta verso le aree di bassa pressione, cioè si formano i **venti**.



Quindi un fluido può mettersi in moto a causa di:

- **gradiente di pressione**
- **forza di Coriolis**
- **Gradiente di pressione produce un movimento rettilineo**, contro il gradiente.
- **Forza di Coriolis genera una rotazione**, verso dx o verso sx.

Questo continuo bilanciamento genera un **FLUSSO** chiamato **GEOSTROFICO** nel quale le particelle si muovono seguendo le isobare

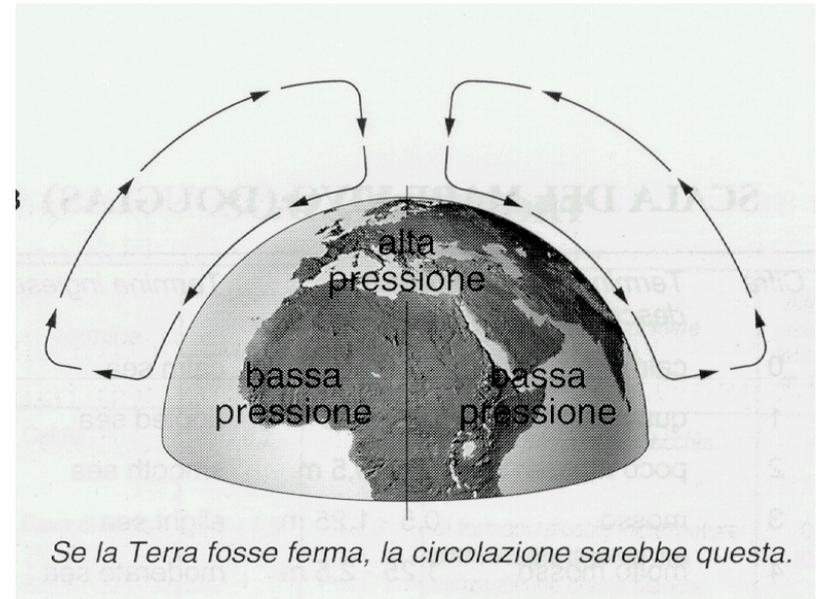
I VENTI

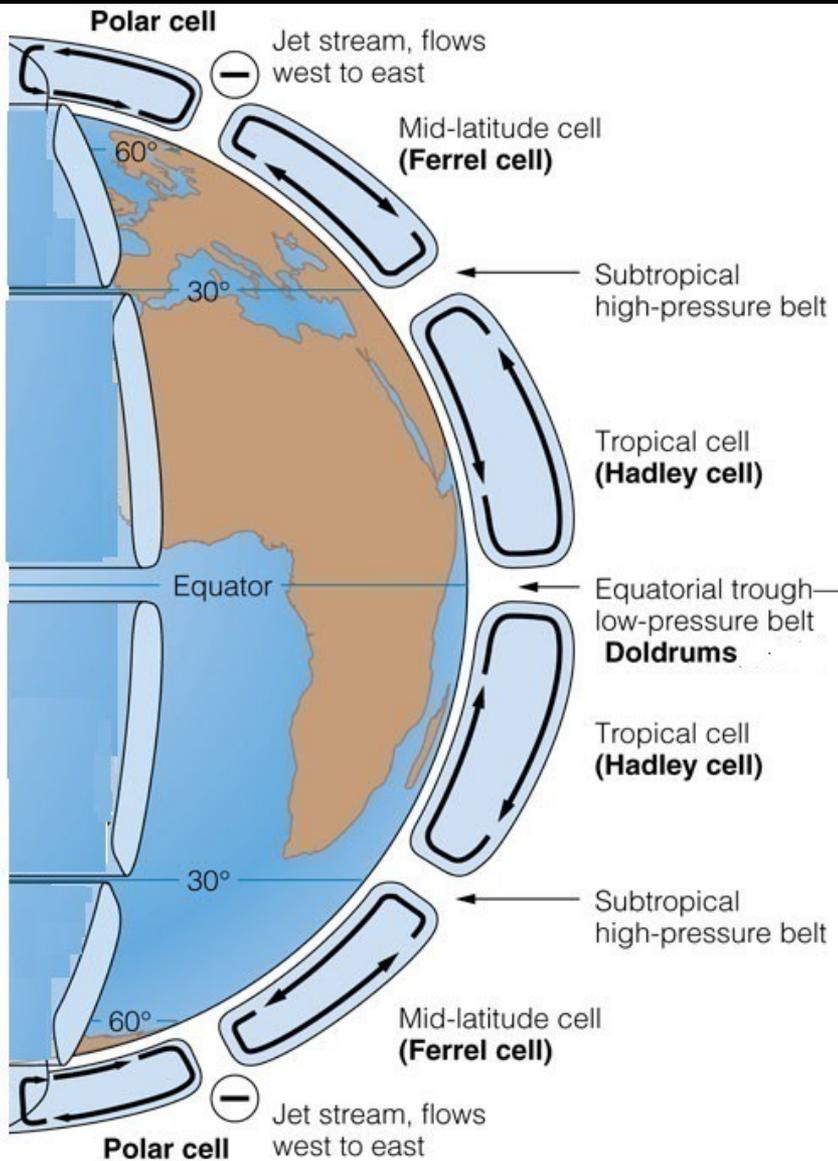
Se la Terra non ruotasse, come risposta a questo gradiente di pressione si avrebbe la formazione di 2 celle di circolazione:

- 1 cella nell'emisfero nord
- 1 cella nell'emisfero sud

Si stabilirebbero dei venti con direzione:

- poli -> equatore, al livello del mare
- equatore -> poli, nell'alta atmosfera





In realtà, la circolazione atmosferica è molto più complessa, tanto che si vengono a formare non 2 ma ben **6 celle di convezione** a latitudini diverse

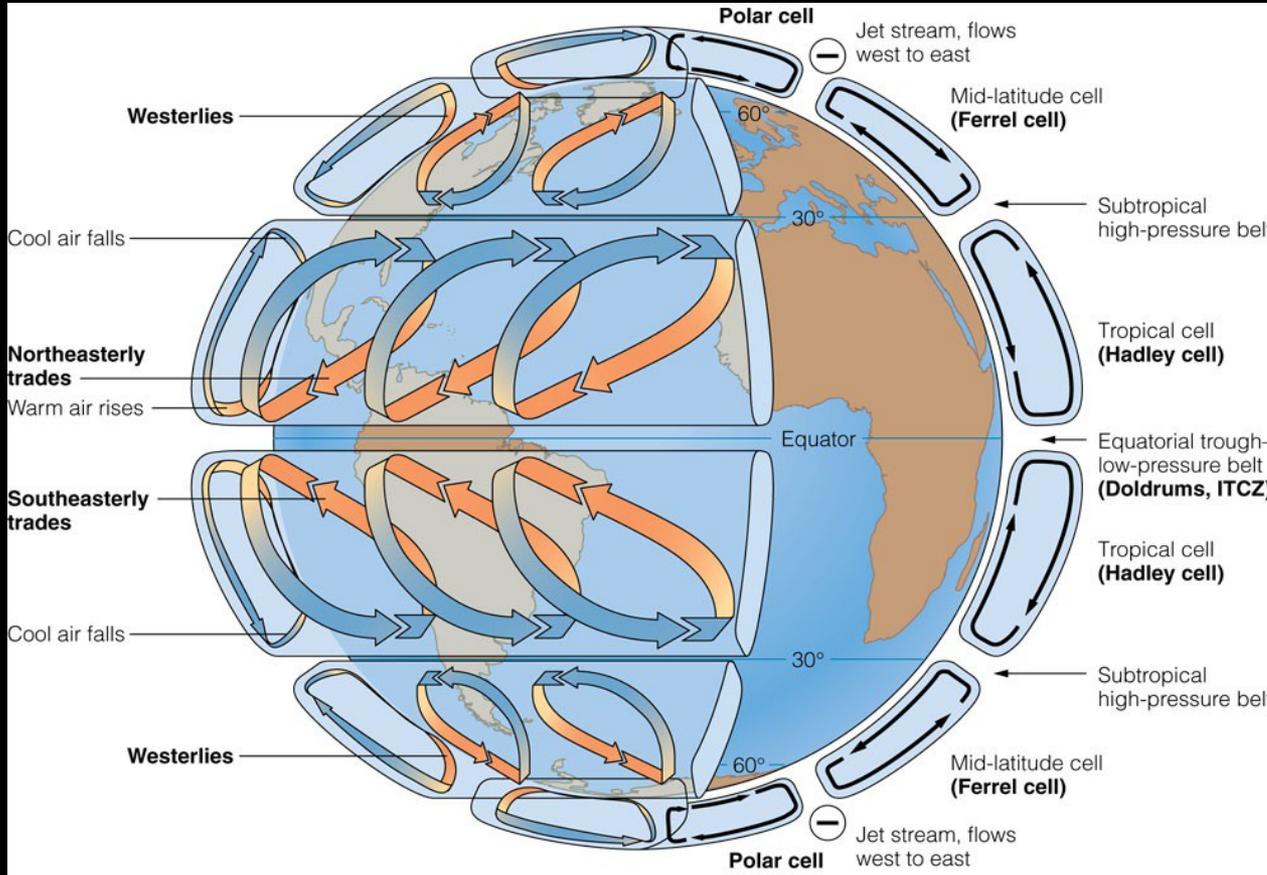
-3 a N dell'equatore e 3 a S dell'equatore

-Sono chiamate celle di **Hadley, Ferrel e Polare**

-si formano zone di HP intermedie e i venti cambiano di direzione.

-Le masse d'aria che si muovono verso nord o sud sono deviate verso est o ovest.

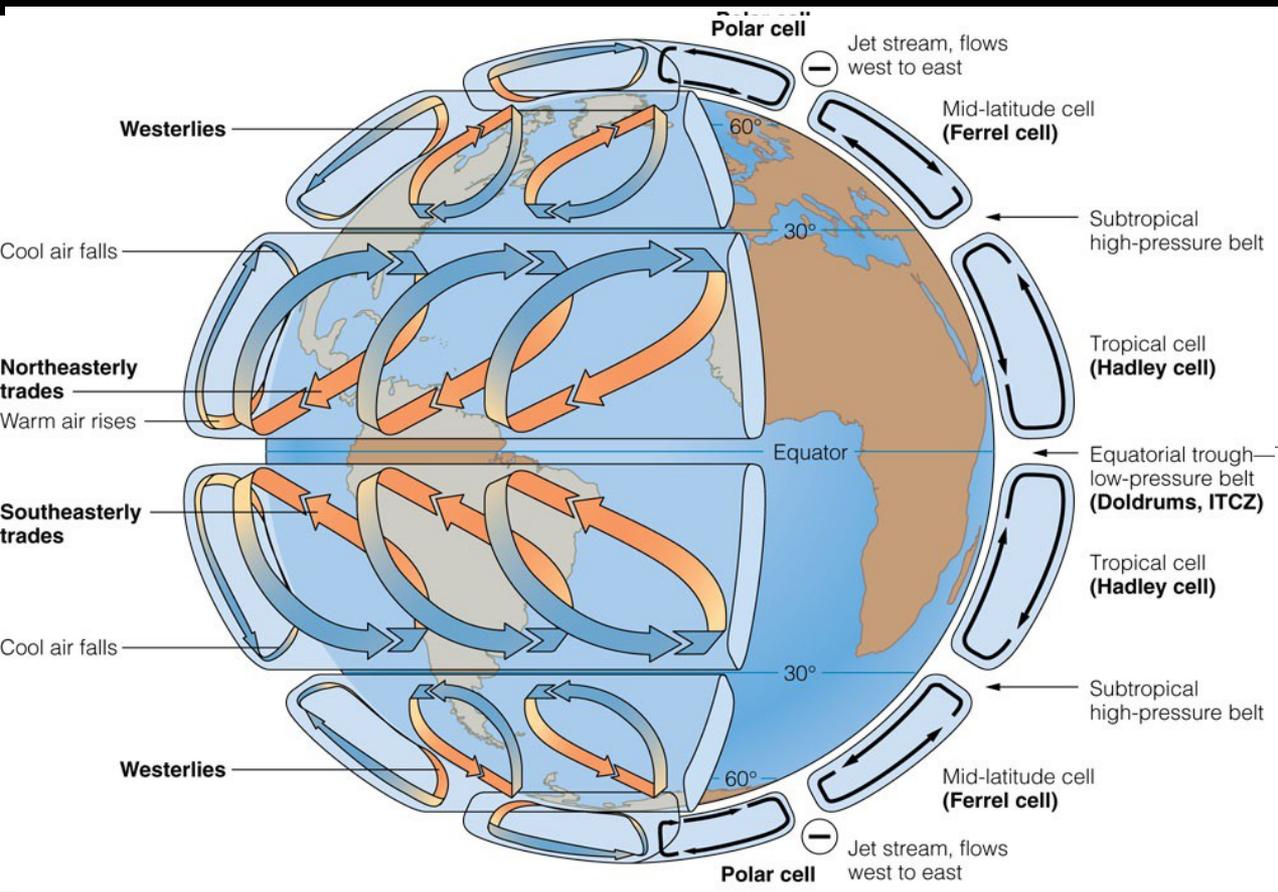
I VENTI PLANETARI



All'interno delle celle l'aria circola verso l'alto per poi ridiscendere verso la superficie a latitudini diverse.

Questi venti influenzano i tipi principali di clima e pilotano la circolazione oceanica.

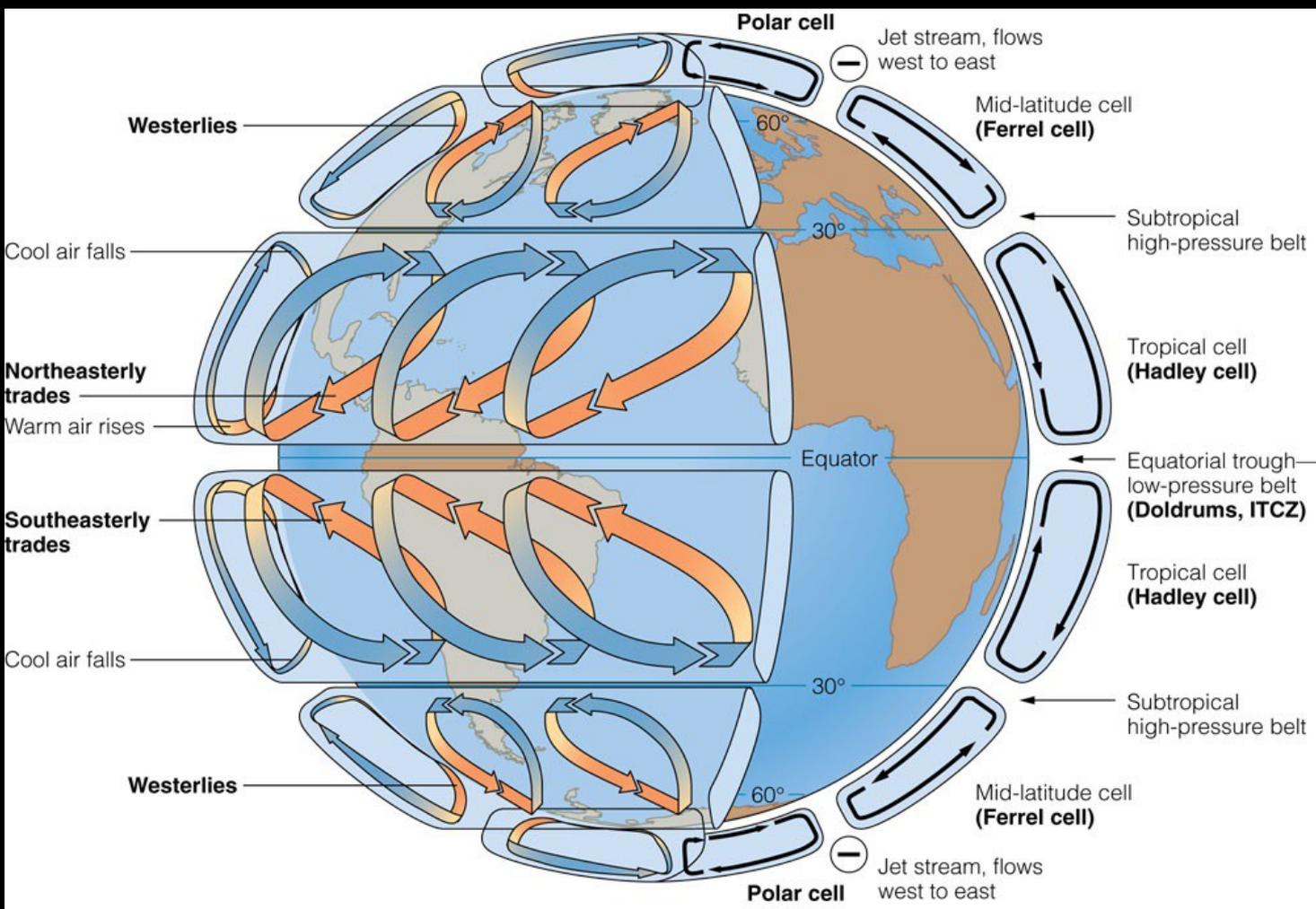
Colore rosa venti di superficie
Colore azzurro venti in quota



COME SI FORMANO gli ALISEI ?

Consideriamo l'emisfero Nord: nella prima cella, in quota i venti verso Nord vengono deviati a est (colore azzurro), a livello del mare viene richiamata aria verso equatore che sarà quindi deviata ad ovest (colore rosa) dando origine agli **Alisei di nord-est**.

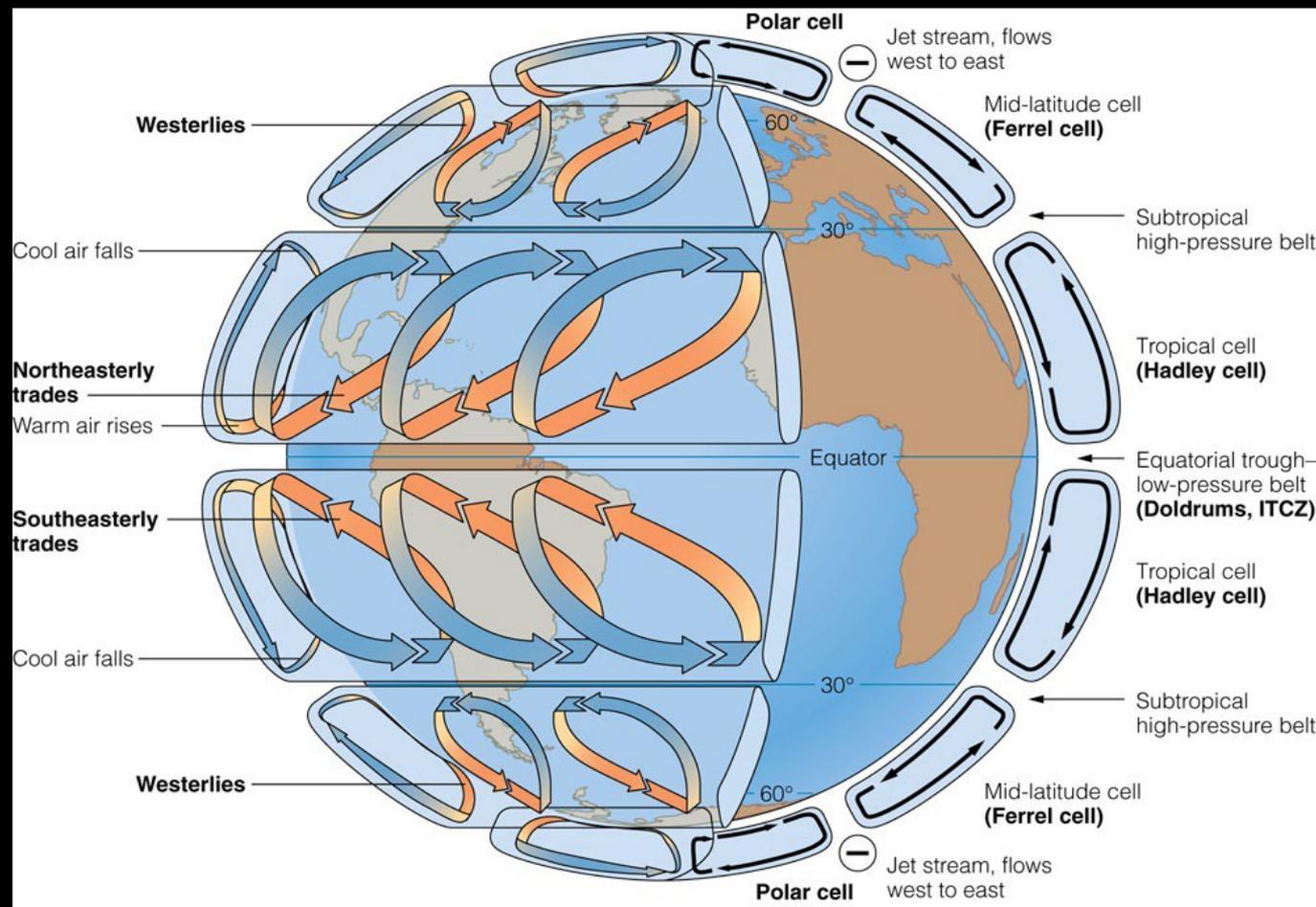
Con ragionamento analogo nell'emisfero Sud avremo gli **Alisei di sud-est**.



I venti occidentali

si formano nella seconda cella intorno ai 30° N e S

l'aria che scende dalla prima cella, mantiene ancora una moto verso nord, cosicché in superficie i venti, deviati verso est (colore rosa) danno origine ai *venti occidentali*, venti che abbiamo alle nostre latitudini



Il fronte polare

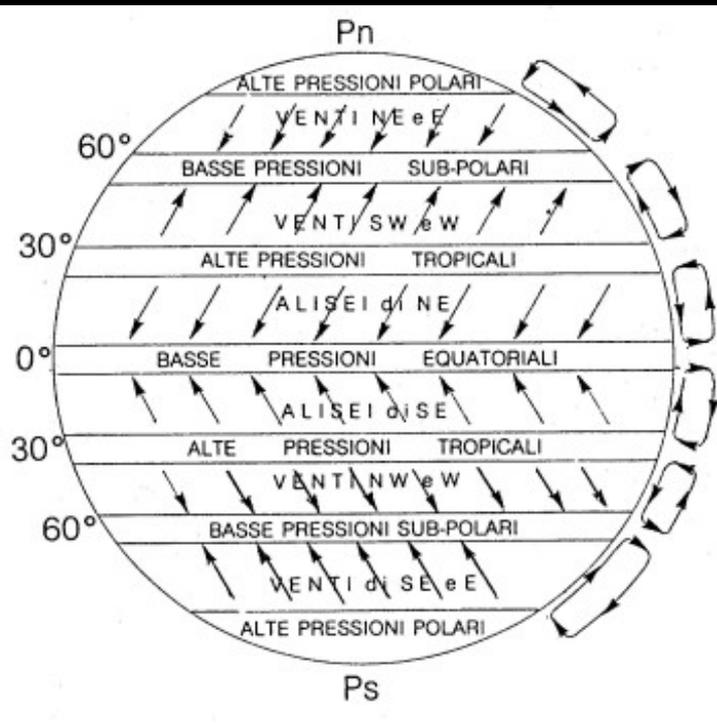
Verso i 60° di latitudine le celle di Ferrel si richiudono, si forma la cella polare in cui si ha di nuovo la classica circolazione meridionale con venti di superficie che spirano dai poli verso l'equatore quindi *polari orientali (da est)*

I VENTI

- **N.B.:** per convenzione, si usano termini diversi per distinguere le direzioni dei venti da quelle delle correnti:
 - i venti **provengono** da E o W
 - le correnti **vanno** a E o W.
- Quindi con la terminologia inglese:
 - *easterly e westerly* = da est e da ovest = **aggettivi applicati ai venti**
 - *eastward e westward* = verso est e verso ovest = **applicati alle correnti**

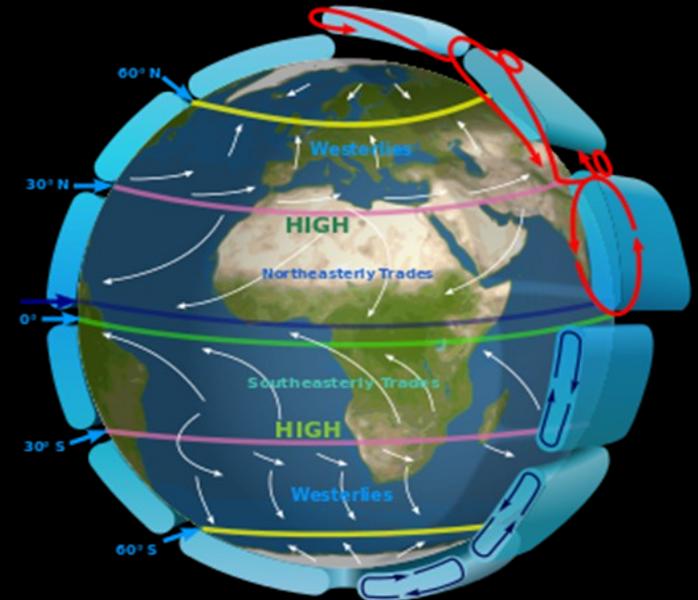
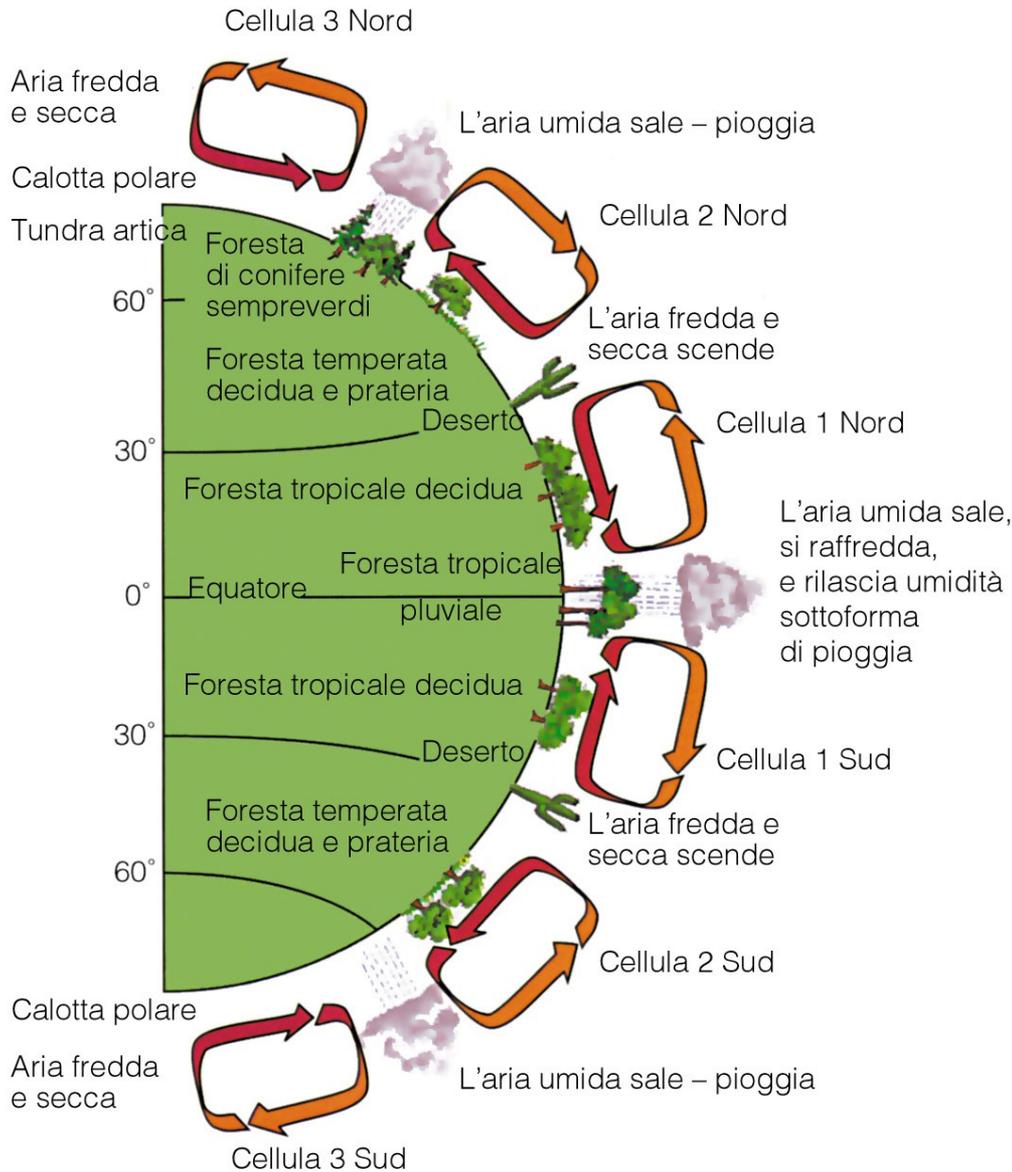
I VENTI PLANETARI

Distinguiamo le diverse fasce, ognuna caratterizzate dai seguenti venti:



- **Alisei** : venti da E che spirano nelle fasce tropicali e subtropicali (tra 30°N e 30°S). Sono aree di condizioni di vento estremamente uniformi, dove i venti spirano costantemente dalla stessa direzione con forza media per tutto l'anno. La loro forza aumenta leggermente in inverno. Gli alisei dei due continenti sono separati da...
- **Area delle calme equatoriali**, area attorno ai 5°, venti deboli e variabili;
- **Area dei venti occidentali** : tra 30° e 65°, più forti in inverno, aree con frequenti tempeste
- **Aree polari (>65°)**: venti cambiano direzione, diventando polari orientali E -> W.

MODELLO DELLA CIRCOLAZIONE GENERALE DELL'ATMOSFERA E BIOMI

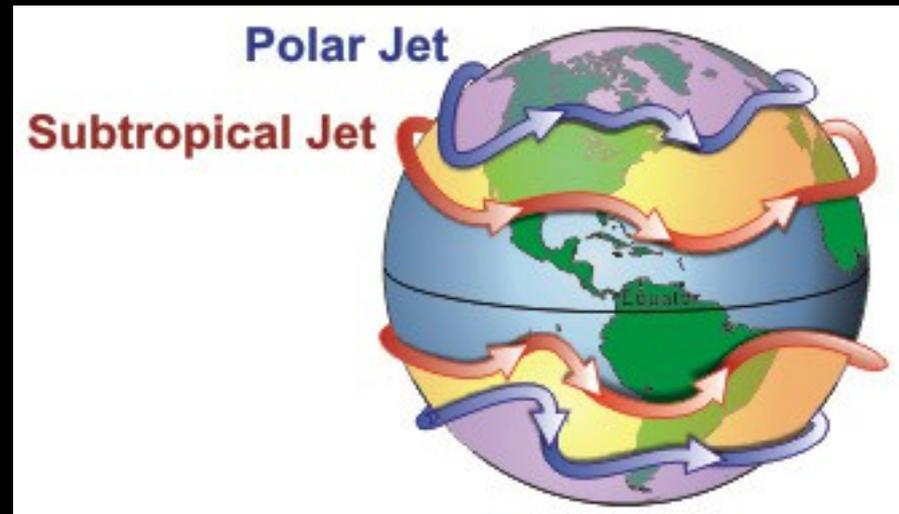


l'ascesa/discesa di queste masse d'aria nelle celle determinano le **principali zone climatiche con deserti, praterie e foreste.**

I VENTI

- La distribuzione dei venti realmente osservata si discosta un poco da quella teorica a causa della presenza delle masse continentali, che contribuiscono a modificare ulteriormente la circolazione atmosferica.
- Poiché in estate l'aria si riscalda più velocemente sui continenti rispetto agli oceani, e si raffredda più velocemente in inverno, i continenti sono interessati in estate da LP e in inverno da HP.
- **Risultato**: deviazione della direzione media dei venti principali da E o da W su alcune parti degli oceani.
- **Esempio**: in alcune aree oceaniche le variazioni sono molto marcate, fino ad una completa inversione della direzione come i **monsoni** nell'Oceano Indiano che soffiano verso terra nel periodo estivo e verso il mare nel periodo invernale.

Le correnti a getto (jetstream)



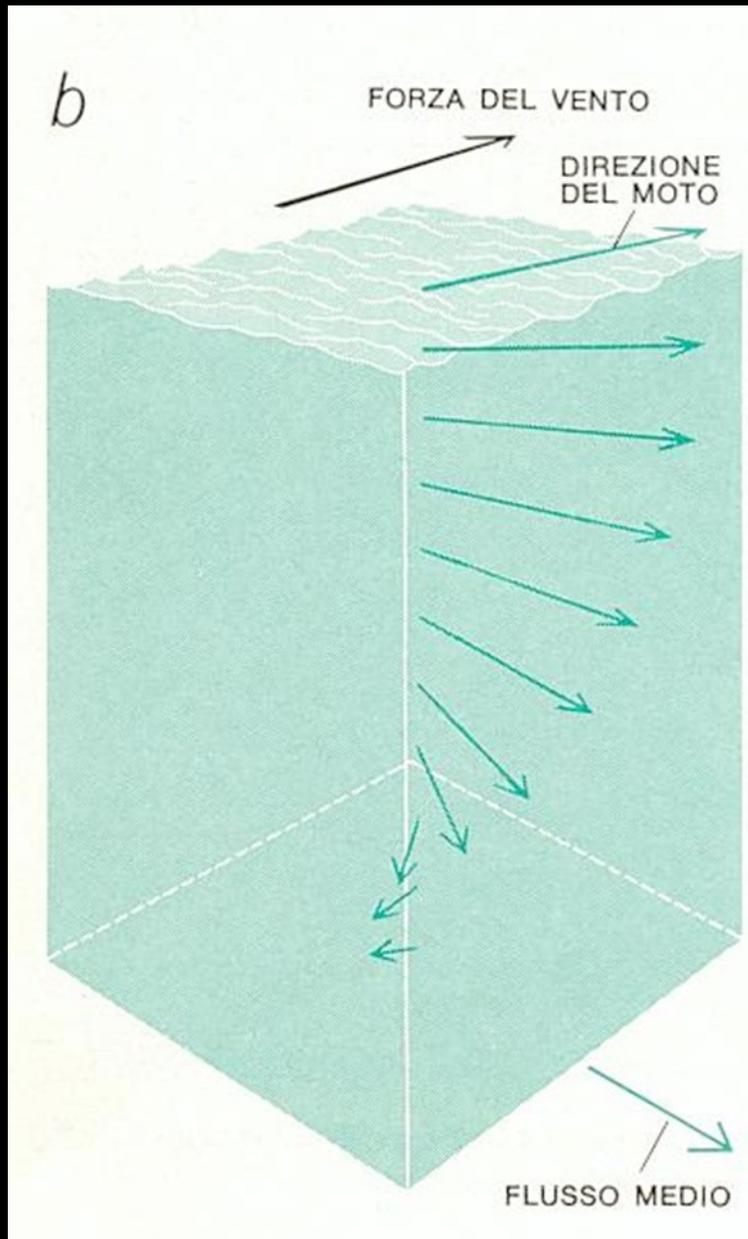
Sono flussi d'aria a sezione relativamente piccola, si formano a circa 11 Km dalla superficie, sono venti zonali che fluiscono da ovest verso est in entrambi gli emisferi. Sono due in ogni emisfero la *polare* e la *subtropicale*, si formano in corrispondenza della transizione fra le celle che abbiamo visto.

Per convenzione la velocità del vento deve essere superiore a 90 Km/h ma si sono misurate punte anche di 400 Km/h.

Vengono comunemente sfruttate dai moderni aerei per volare da ovest verso est.

SPIRALE DI EKMAN

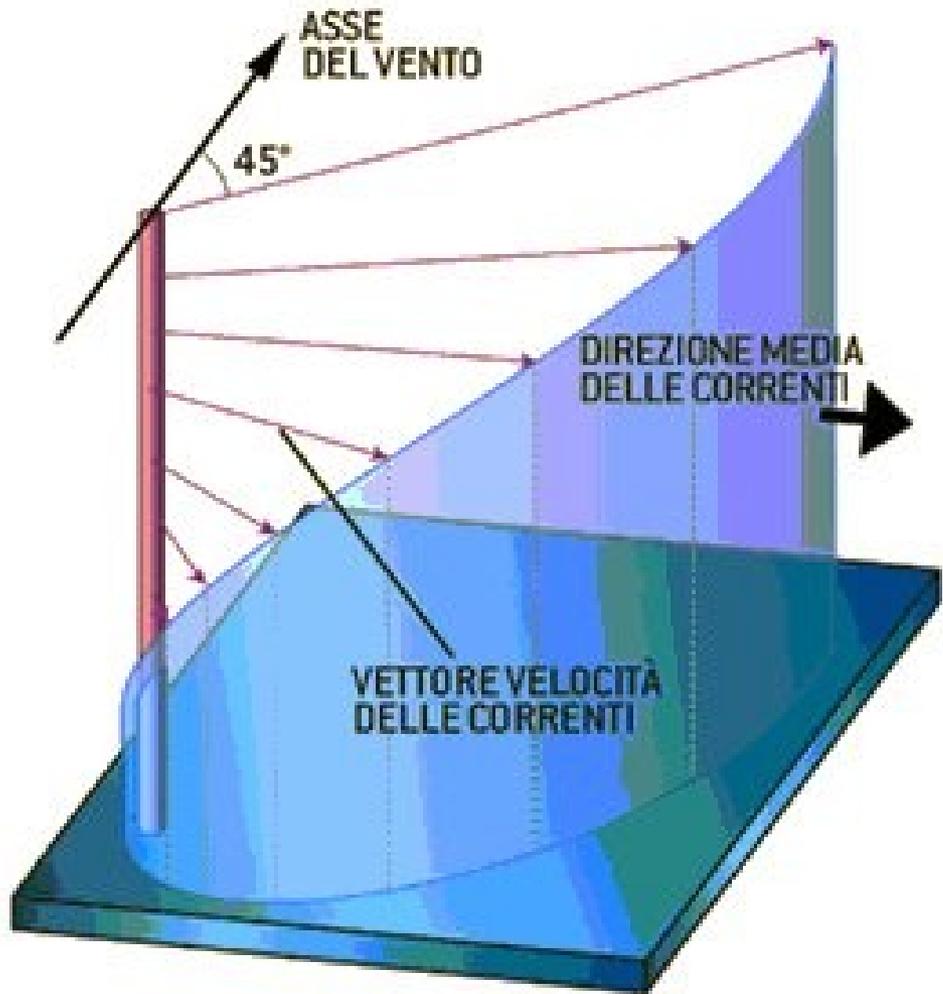
- Quando i venti spirano sulla superficie marina, formano le correnti marine generate dal vento.
- Il trasferimento del momento dal vento all'acqua avviene sotto l'influenza della forza di Coriolis.
- Come effetto, **l'acqua non si muove seguendo la direzione del vento.**



Come reagisce lo strato superficiale degli oceani a questo movimento?

A causa della **forza di Coriolis**, lo strato sub-superficiale dell'acqua si muove più verso destra rispetto alla direzione del vento (emisfero nord).

Scendendo in profondità, al livello di ogni singolo strato di acqua, questo angolo aumenta sempre di più, mentre la velocità di corrente diminuisce e progressivamente si annulla.



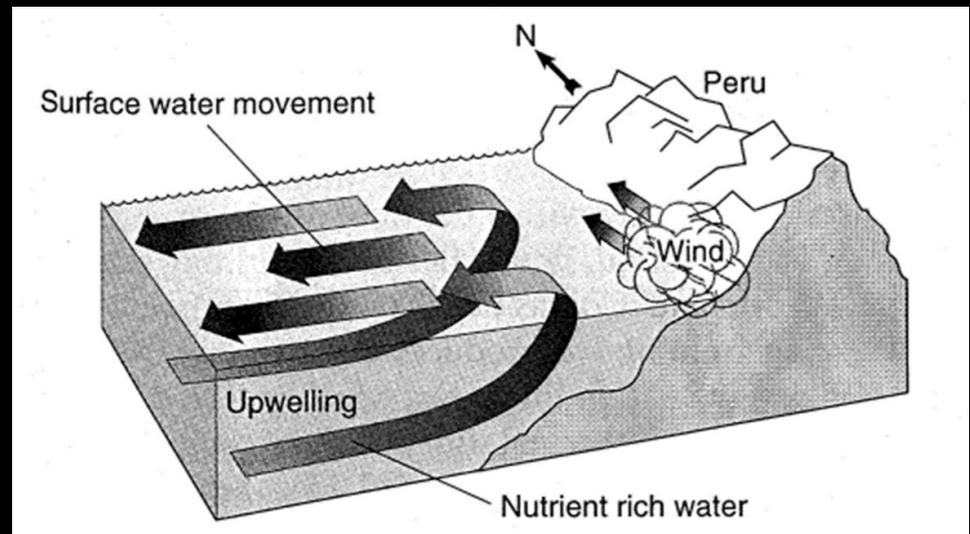
- Si forma in questo modo una spirale
- La spirale del moto indotta dal vento è detta **SPIRALE DI EKMAN**
- **Il trasporto di Ekman** diventa la causa principale del moto nei primi 1000 m delle acque oceaniche.

Flusso medio delle correnti è a 90° rispetto alla direzione del vento.

UPWELLING

L'effetto combinato tra vento, forza di Coriolis e trasporto di Ekman dà origine al fenomeno di **upwelling** cioè la risalita di acque profonde che risalgono verso la superficie dell'oceano dove vanno a rimpiazzare l'acqua superficiale più calda.

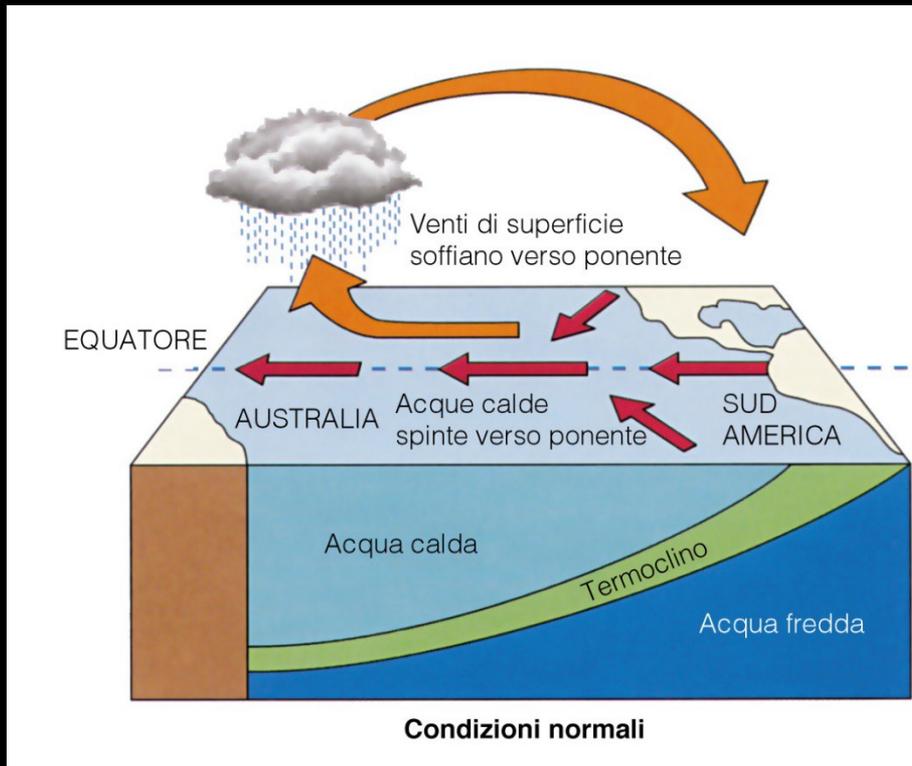
Sono l'evidenza diretta del trasporto di Ekman.



EL NINO

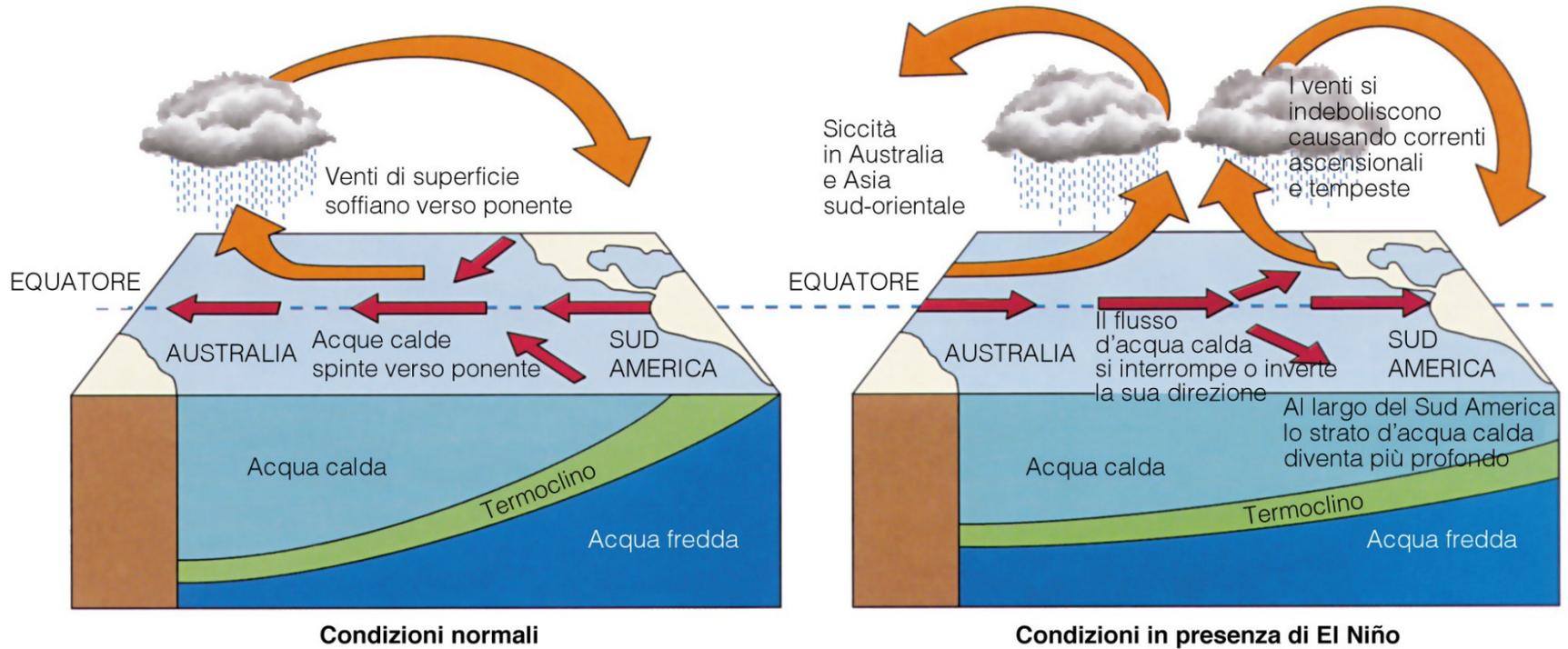
Nell'Oceano Pacifico tropicale, questo normale upwelling costiero, è però influenzato, a volte, da cambiamenti climatici che si ripetono a distanza di pochi anni e che sono detti "El Nino" o ENSO, El Nino Southern Oscillation.

CONDIZIONI NORMALI



- Venti di superficie soffiando a ponente, causano risalita di acque di profondità, fredde e ricche di nutrienti.
- Gli strati d'acqua fredda e calda sono separati dal termocline.
- Il **termocline** è lo strato di transizione tra lo strato rimescolato di superficie e lo strato di acqua profonda

EL NINO



CONDIZIONI ANOMALE

- I venti superficiali verso ponente diminuiscono d'intensità, si interrompono gli upwellings causando il riscaldamento delle acque superficiali.
- Quando El-Niño dura 12 mesi o più, nelle zone di upwelling si ha un crollo delle popolazioni fito-zooplanctoniche e pesci con grave danno per la pesca.

TIPICI EFFETTI di EL NINO SUL CLIMA MONDIALE

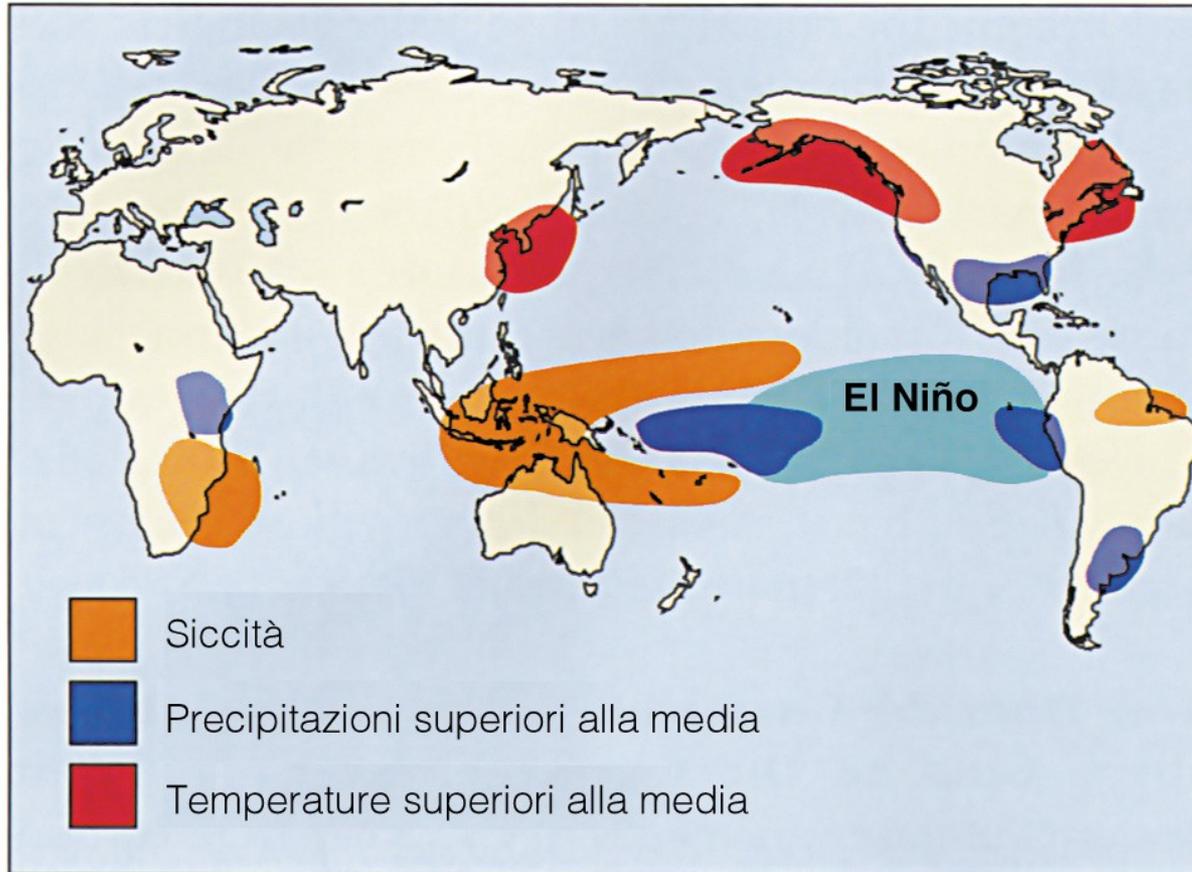
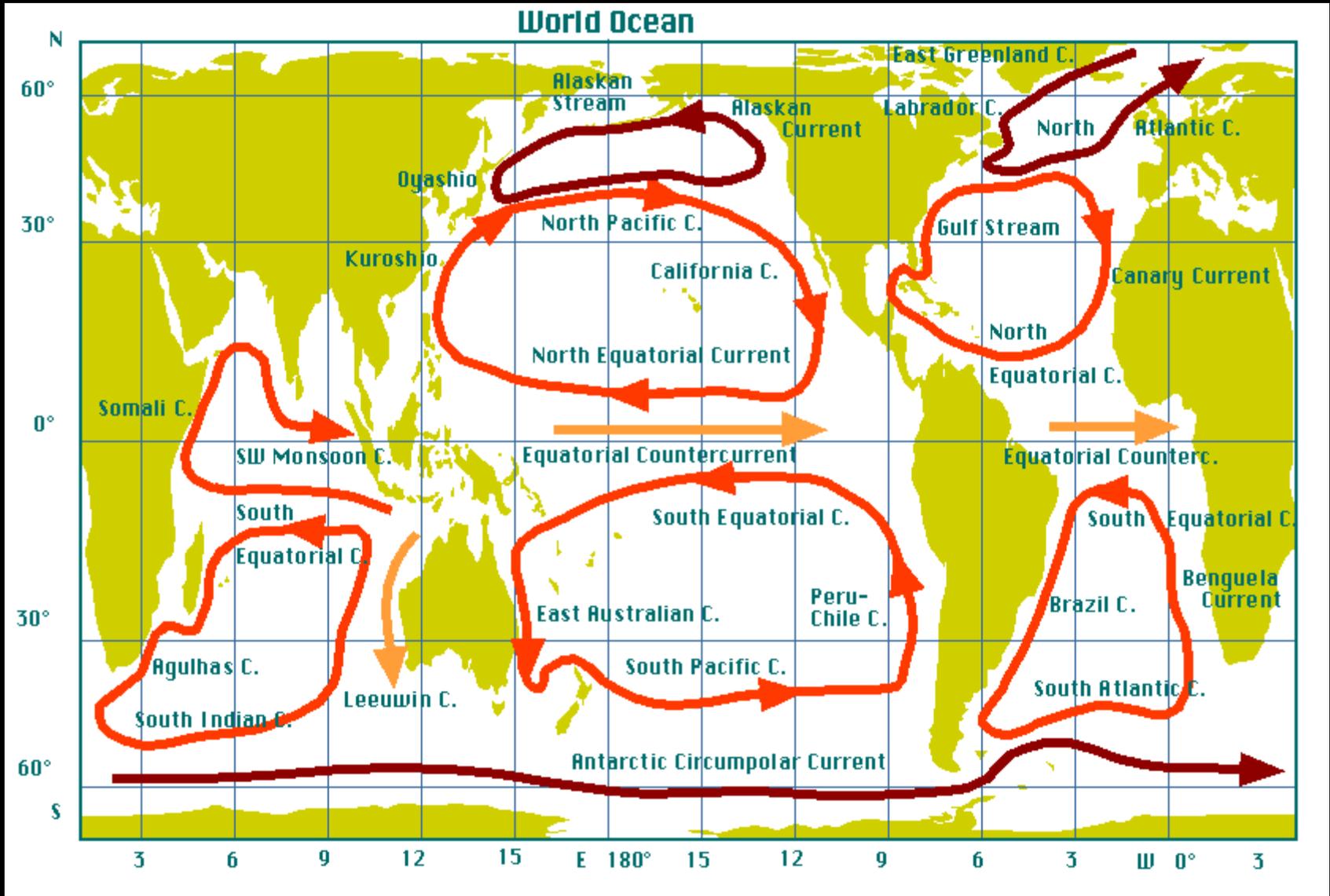


Figura 6-7

LE CORRENTI MARINE

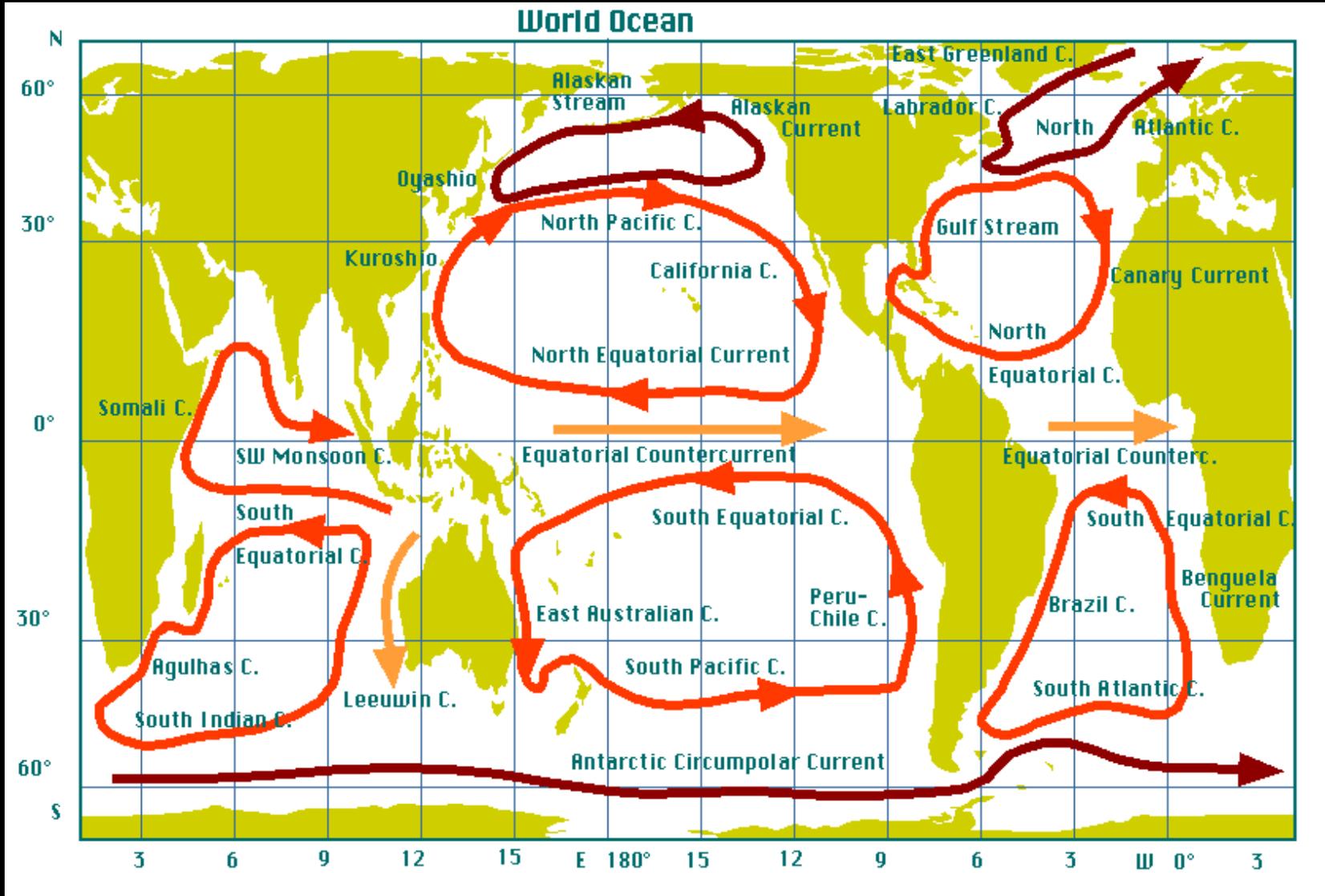
I venti planetari pilotano le correnti oceaniche, oceani e atmosfera devono essere considerati come un sistema dinamico accoppiato.

Guardiamo la Mappa delle Grandi Correnti Superficiali Oceaniche.

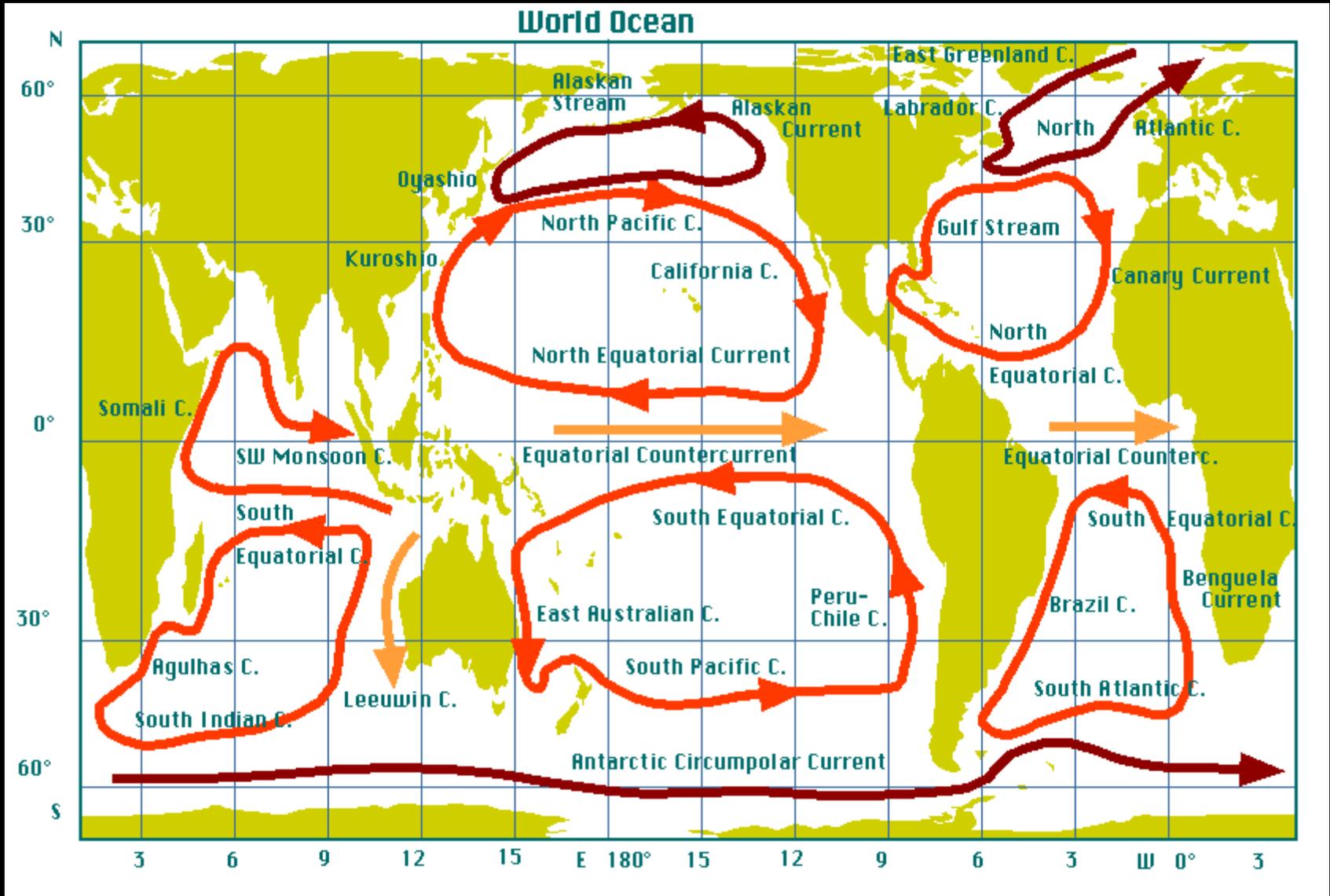


Tra 5° e 40° N e S: l'azione combinata degli *alisei* e dei *venti occidentali* produce ampi *vortici subtropicali*, con:

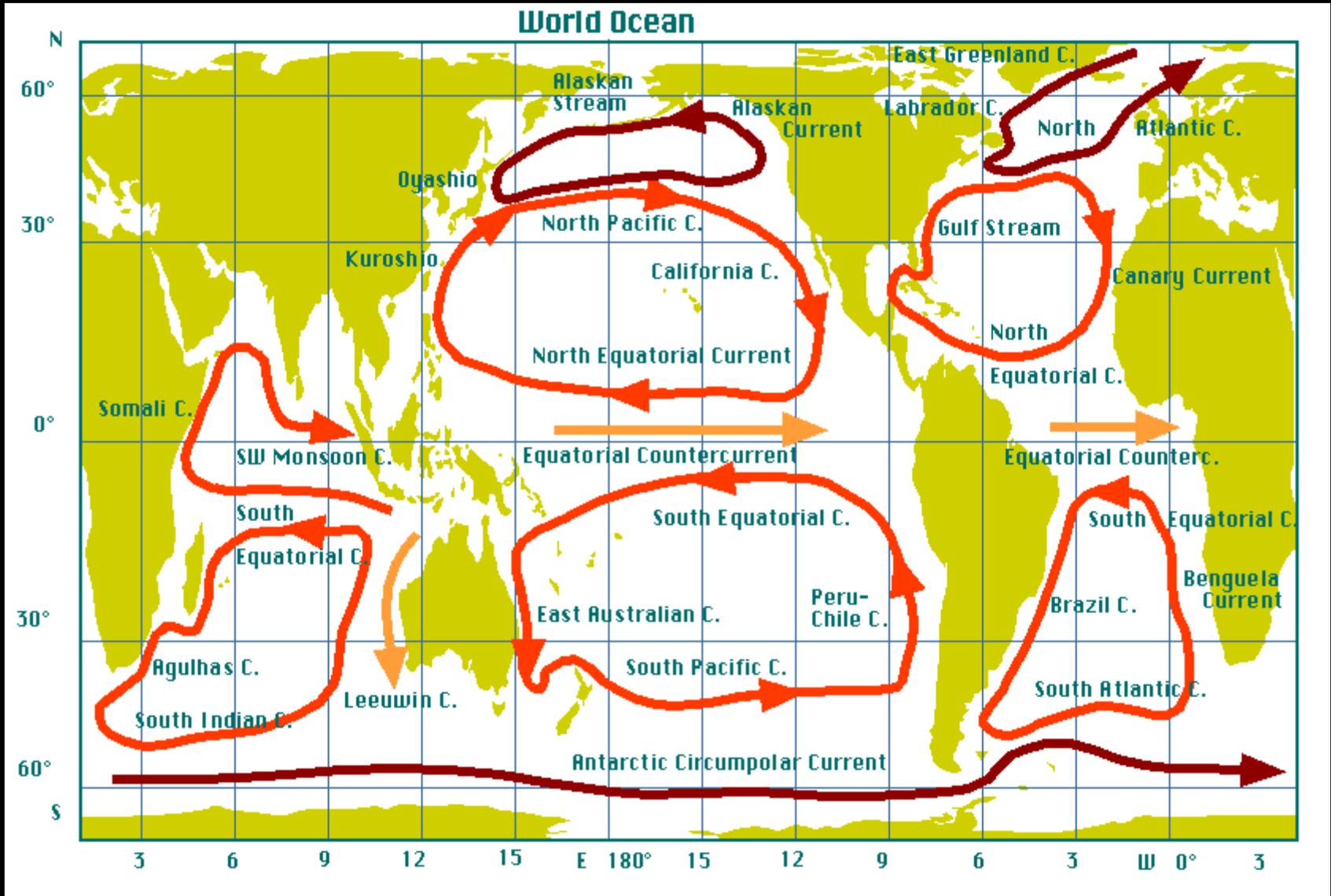
- rotazione oraria nell'emisfero N
- rotazione antioraria nell'emisfero S



- A lat. $> 40^{\circ}\text{N}$ si forma un *vortice subpolare* nel Nord Pacifico, determinato dall'azione combinata dei *venti occidentali* e dei *polari da est*: qui troviamo la corrente di Oyashio, e la corrente dell'Alaska.
- Anche nel Nord Atlantico è evidente un *vortice subpolare*, che comprende la corrente Nord Atlantica, la corrente Orientale della Groenlandia, la corrente del Labrador.



- A lat. $> 40^\circ$ S non si forma un *vortice subpolare* perché nell'emisfero S non esistono continenti che producono l'effetto barriera, cosicché la corrente Circumpolare Antartica circola liberamente da W \rightarrow E.



- L'Oceano Indiano è dominato dall'inversione stagionale dei venti (*monsoni*) ai quali corrisponde un'inversione delle correnti superficiali.
- Figura mostra *monsone di SW* quando si forma la Controcorrente Equatoriale: in questo modo la circolazione dell'Oceano Indiano settentrionale differisce significativamente da quella degli altri bacini oceanici.

La Circolazione Termoalina detta anche Nastro Trasportatore

Si tratta di una circolazione globale oceanica.

E' una circolazione profonda, causata dalla variazione di densità delle masse d'acqua.

La densità è determinata dalla temperatura (termo-) e dalla salinità (-alina) delle acque.

Vediamo ora che cosa è e come si forma

IL NASTRO TRASPORTATORE



Le acque dense Nord Atlantiche, a causa del maggiore contenuto salino e delle temperature più fredde, affondano e riemergono a livello degli Oceani Indiano e Pacifico, provocandone il raffreddamento.

IL NASTRO TRASPORTATORE

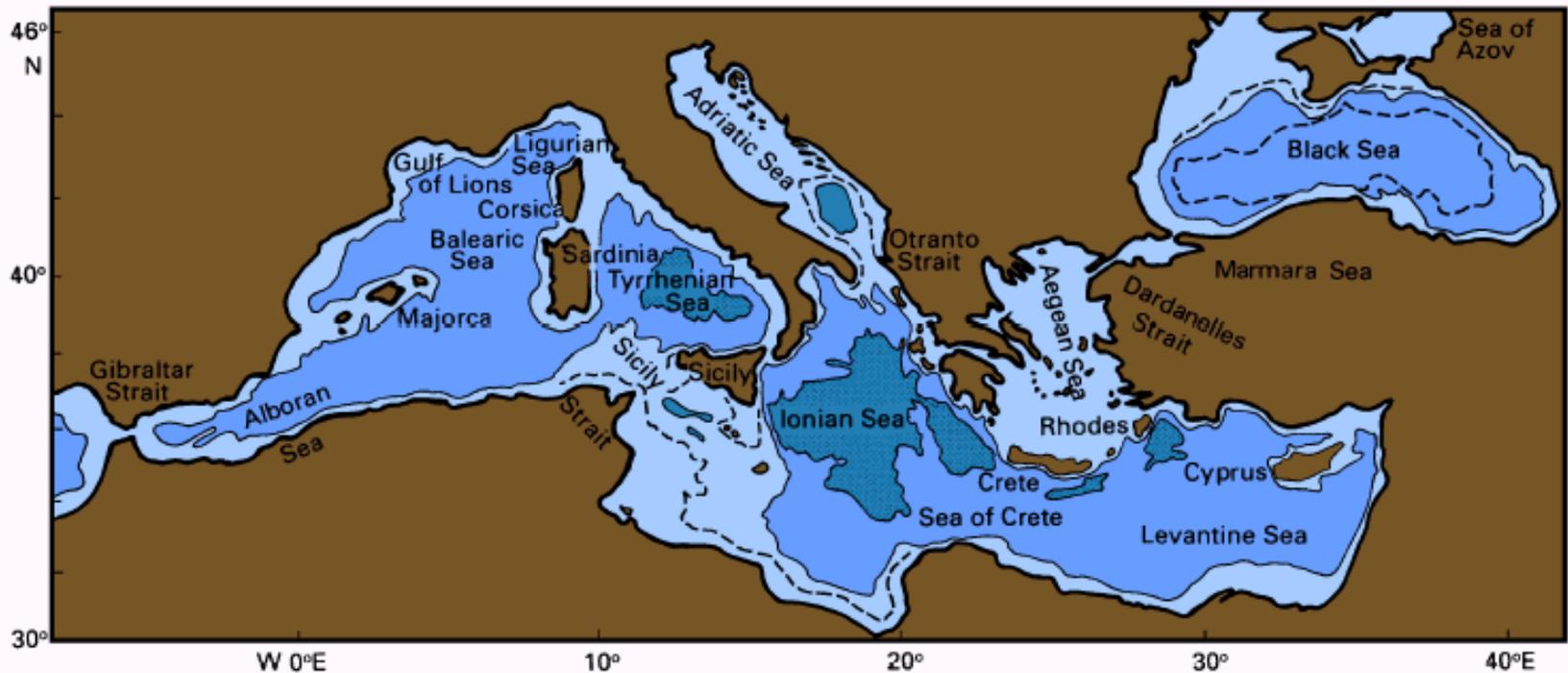


Si forma quindi una corrente di ritorno più superficiale, favorita dai venti. Questa porta acque più calde e meno salate (meno dense) in superficie verso l'Atlantico, dove tendono a raffreddarsi e ad affondare nuovamente, per iniziare un nuovo ciclo.

Il nastro trasportatore porta calore verso l'Europa e trasferisce CO₂ in profondità.

The background of the image is a photograph of a powerful ocean wave crashing. The water is a deep, dark blue-grey, and the crest of the wave is a thick, white foam that is being blown back by the wind. The sky above the wave is a pale, hazy yellow, suggesting a bright sun low on the horizon, which creates a strong backlighting effect on the scene. The overall mood is one of raw natural power and energy.

Il nostro Mediterraneo (Euroafricano)

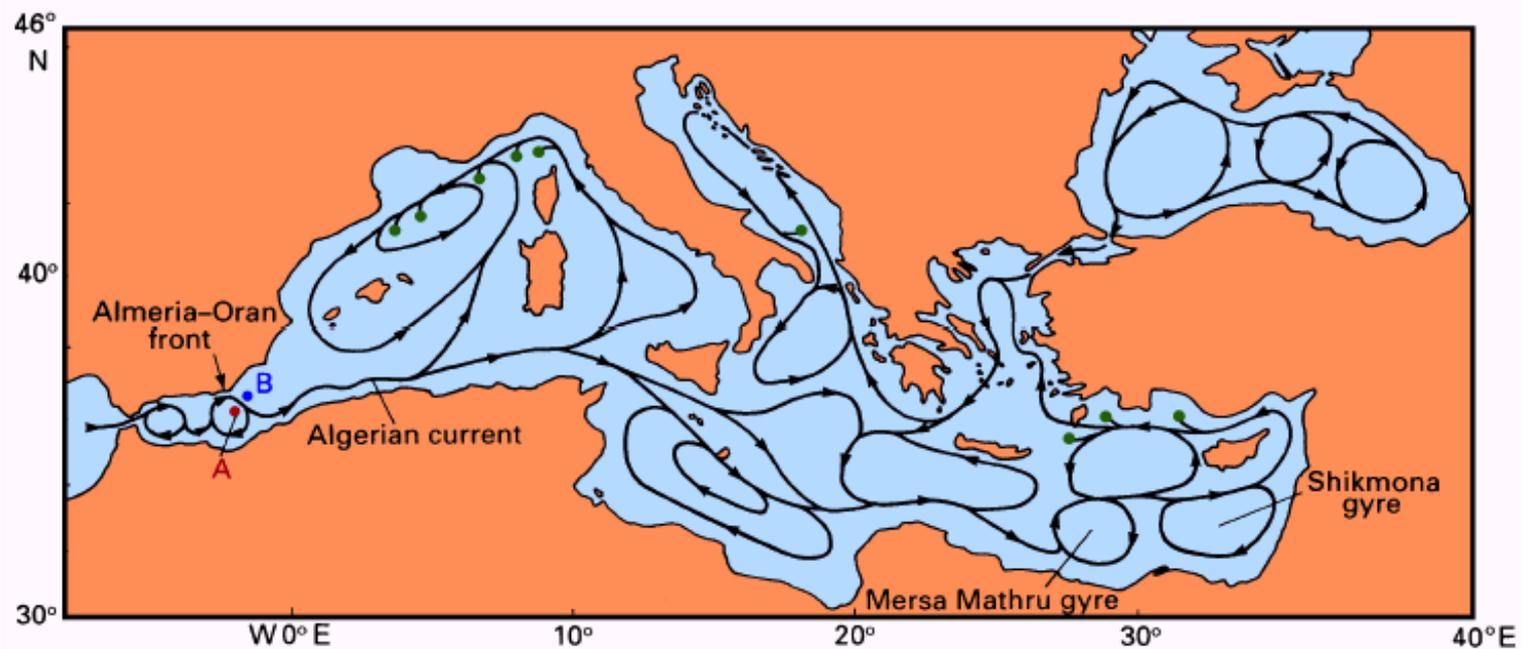


- Mar Mediterraneo consiste in una serie di bacini profondi connessi l'un altro.
- **Stretto di Sicilia** divide il Mediterraneo in 2 bacini:
 - Mediterraneo Occidentale
 - Mediterraneo Orientale
- **Stretto di Messina** è poco profondo (120 m) e non ha significatività per la circolazione generale.
- Una serie di altri stretti divide questo mare in bacini minori.

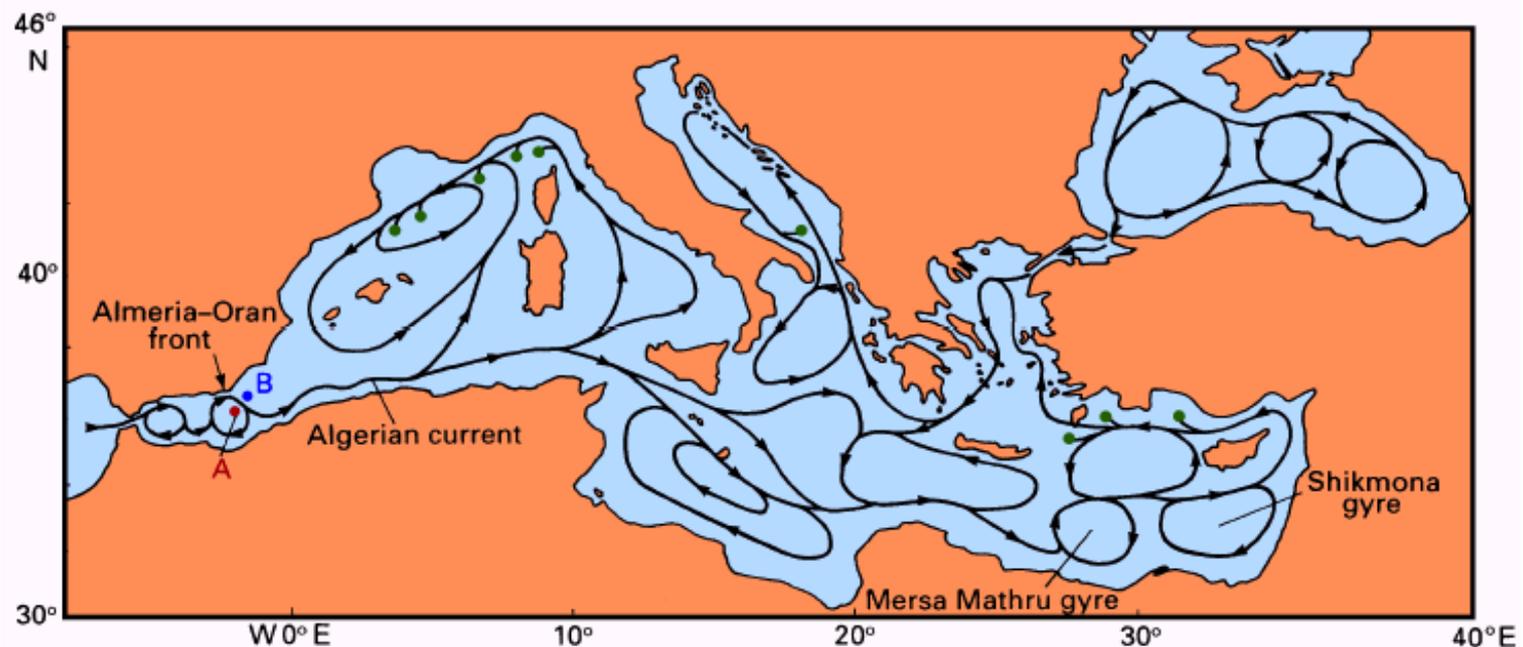
- profondità media = **1430 m**
- profondità massima = **5000 m**
- Mar Mediterraneo comunica con l'Oceano Atlantico attraverso la soglia di Gibilterra, molto ristretta:
 - larghezza = **22 km**
 - profonda = **320 m**
- Scambi medi:
 - **flusso entrante** superficiale di acque + fredde e - salate (poco dense)
 - **flusso uscente** al fondo di acque + calde e salate, + dense

=> Mediterraneo in media è un **bacino di evaporazione**

- Alcuni bacini minori del Mediterraneo (mare Adriatico e mare Nero) sono al contrario **bacini di diluizione**, per la presenza di fiumi importanti (f. Po e Danubio).

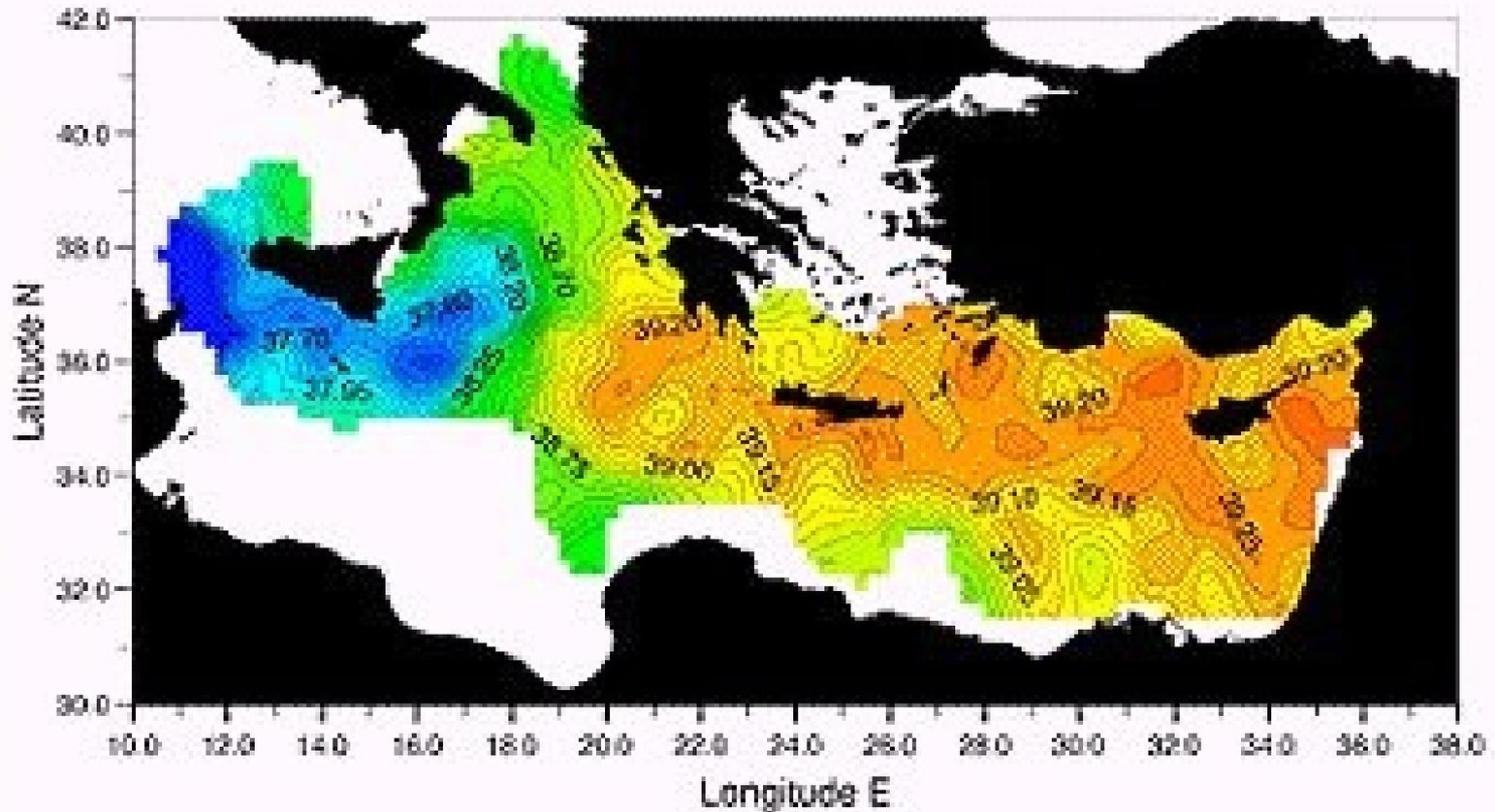


- L'Acqua Atlantica, fredda ed a bassa salinità, entra attraverso la soglia di Gibilterra e prosegue con un flusso verso E.
- La forza di Coriolis deflette tale flusso verso E, lungo le coste dell'Africa, in una corrente ristretta.



- Il flusso Atlantico continua nella **Corrente Algerina**, che mantiene un carattere di getto ristretto, ampio circa 30 km, con velocità di corrente medie di 0.4 m/s.
- Verso la Tunisia, tale corrente si amplia e si divide in 2 rami:
 - 1 diretto verso il mar Tirreno
 - 1 diretto verso il Mediterraneo Orientale, che attraversa lo stretto di Sicilia.

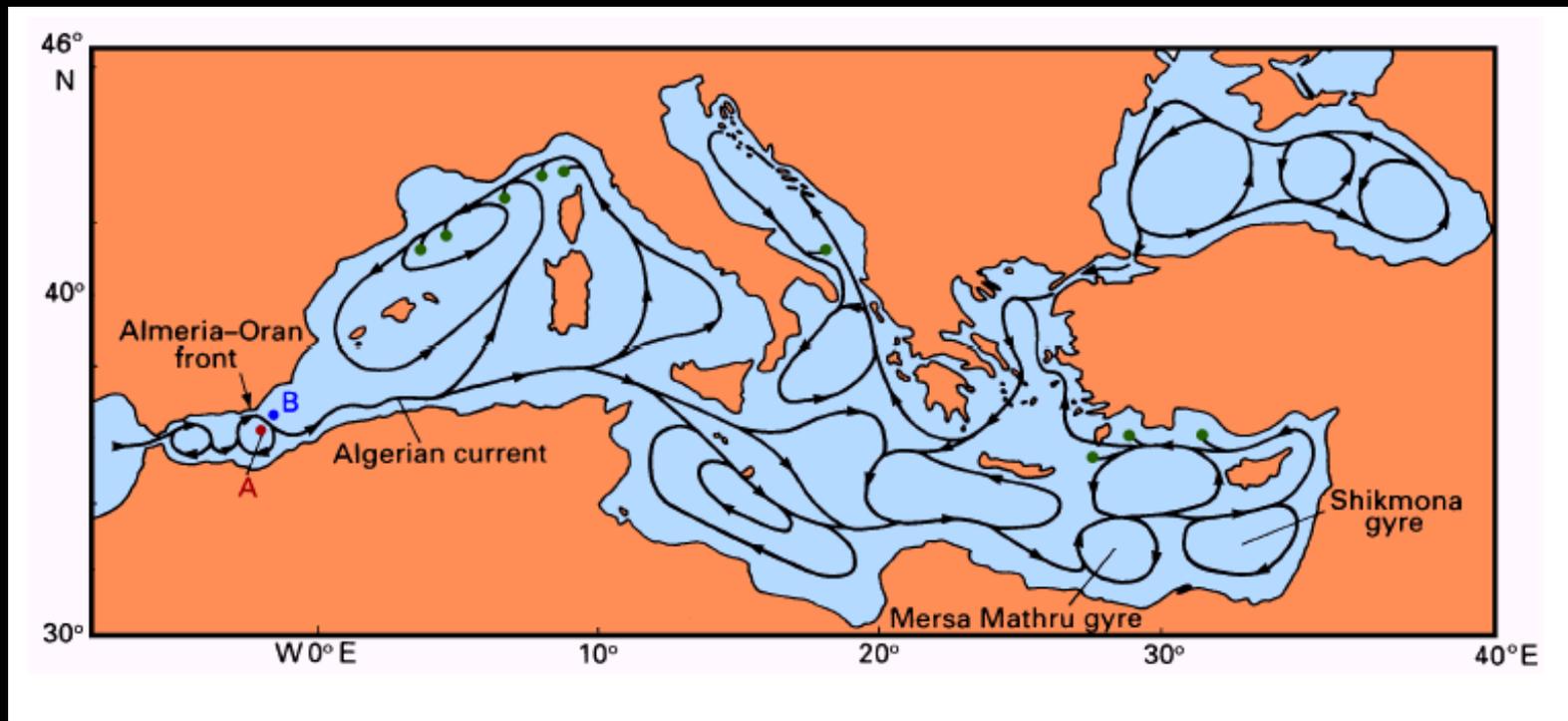
Cruise POEM-AS87: Salinity at surface



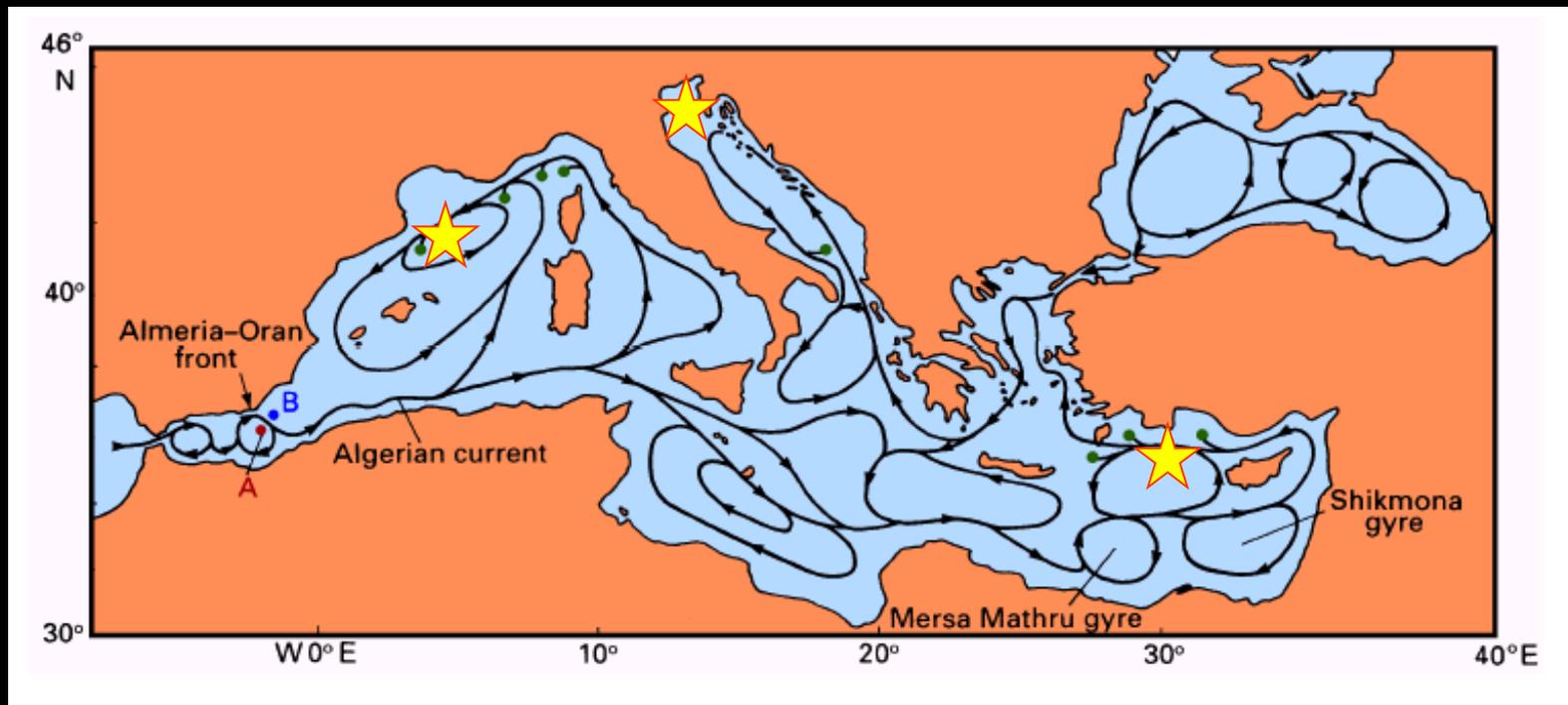
Procedendo dal bacino Occidentale al bacino Orientale:

=> aumento dell'Evaporazione

=> incremento della salinità



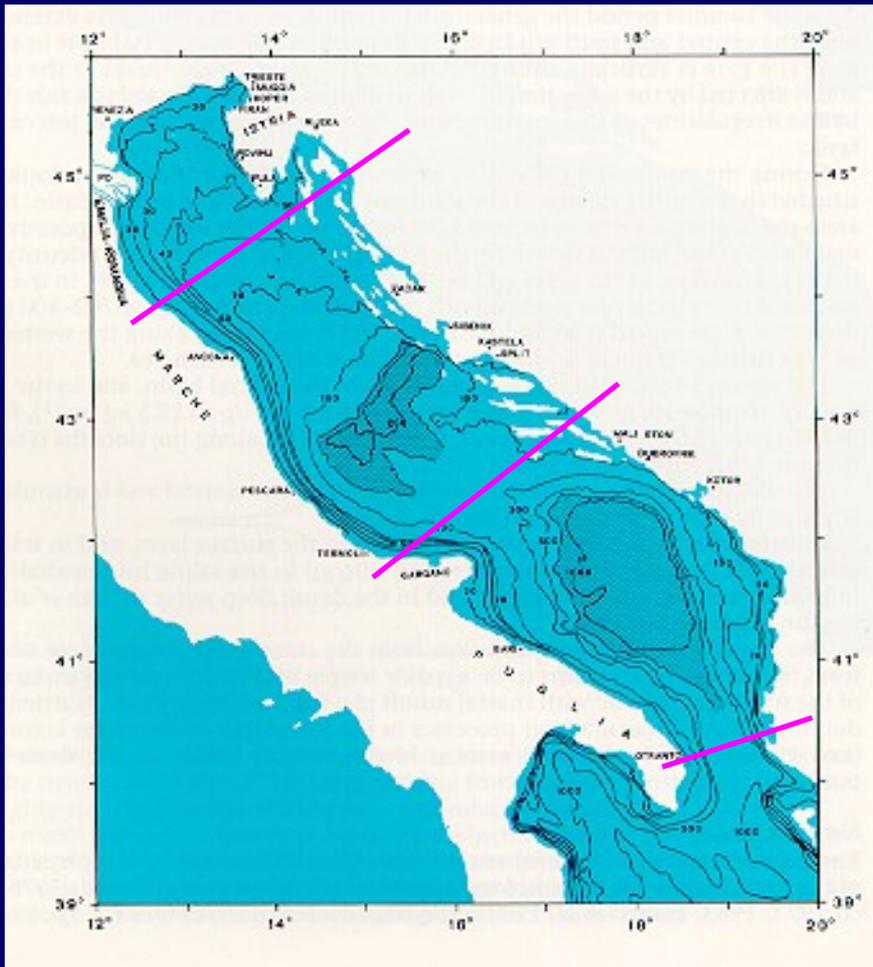
Nel Mediterraneo orientale, si notano molti *vortici*, di dimensioni variabili, che possono raggiungere anche elevate profondità.



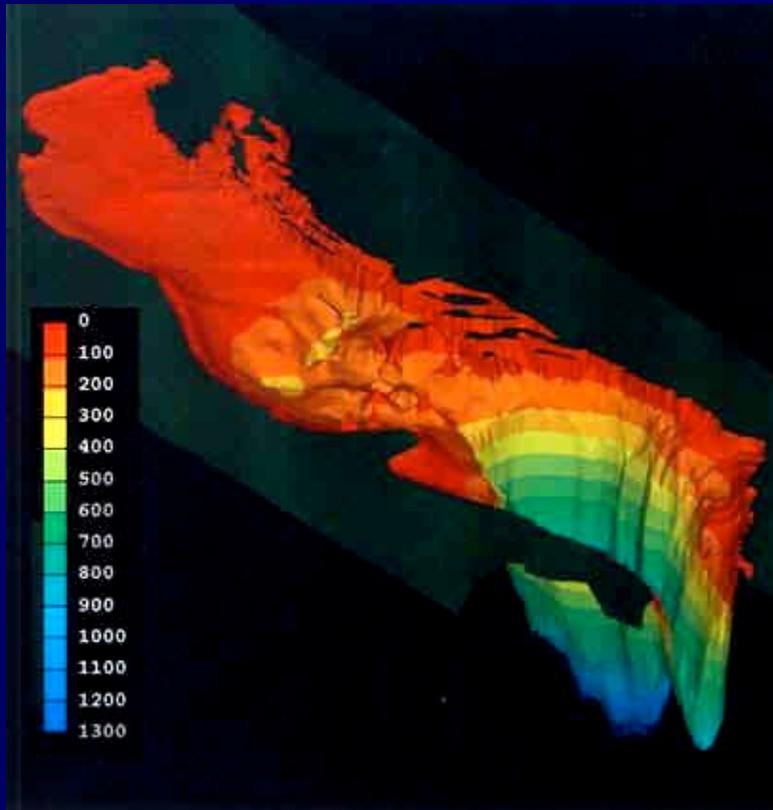
- Raffreddamento non agisce su tutto il Mediterraneo, ma solo su 3 aree ben distinte:
 1. Mar Ligure - Mare delle Baleari
 2. Mare Adriatico
 3. Mare di Levante (tra Rodi e Cipro)
- Il raffreddamento viene causato dallo spirare dei venti siberiani da NE, che nel caso del Mar Ligure ruotano da NW (*mistral*), nell'Adriatico si mantengono da NE (*bora*) e nel Mare di Levante da N.

Mare Adriatico

- ✓ Lunghezza: km 800
- ✓ Larghezza: km 150
- ✓ Superficie: km² 139.000
- ✓ Suddiviso in tre bacini:
 - *settentrionale:*
 - *centrale:*
 - *meridionale:*



Profondità dei bacini



Profondità max dei tre bacini:

√ - **settentrionale:**

√ • m 70

√ - **centrale:**

√ • m 230

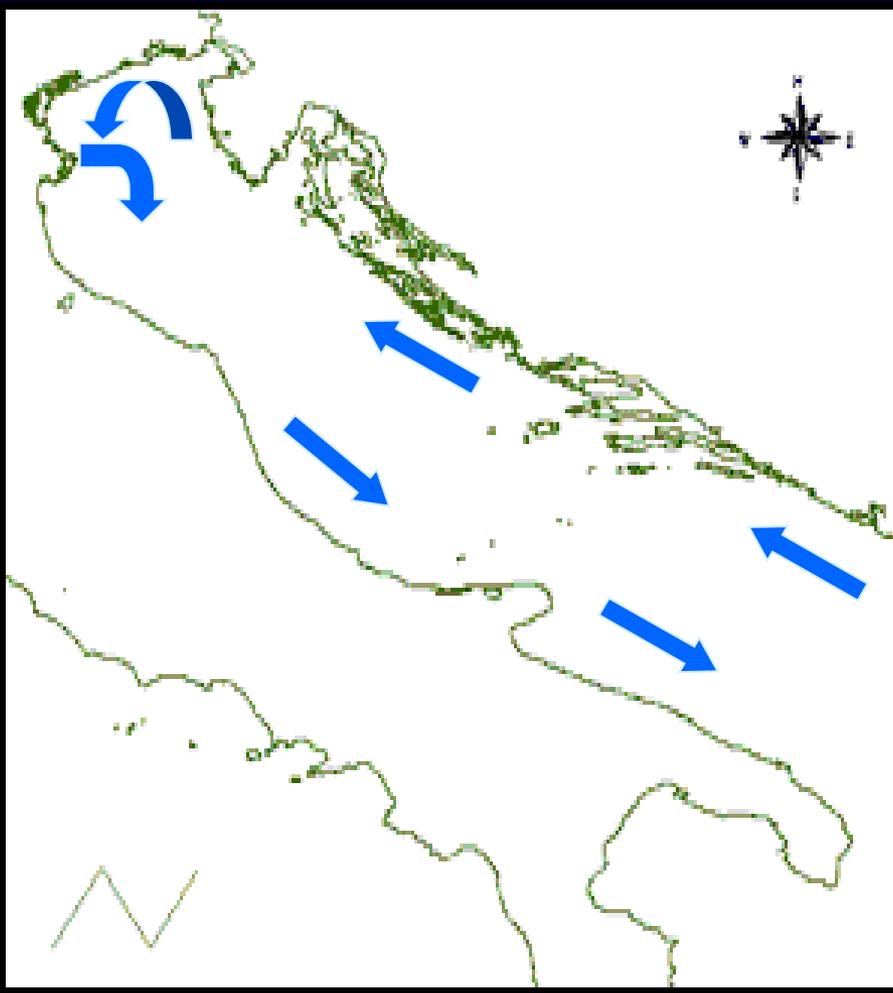
√ • fossa mesoadriatica

√ - **meridionale:**

√ • m 1220

√ • fossa sudadriatica

Circolazione dell'Adriatico



▼ Fuoriuscita del Po:

- richiama acque ad elevata salinità dalla soglia di Otranto
- queste scorrono lungo il margine della ex-Jugoslavia
- giungono nel bacino nord
- defluiscono lungo il margine della penisola italiana

▼ *circolazione ciclonica*