

# CIRCOLAZIONE GENERALE DELL'ATMOSFERA

## I modelli di circolazione dell'atmosfera

La circolazione generale dell'atmosfera è finalizzata a garantire l'equilibrio termico della Terra. Se la Terra fosse interamente coperta di acqua, non ruotasse su sé stessa ed il piano dell'eclittica coincidesse con quello dell'orizzonte astronomico, sarebbe possibile individuare un nucleo caldo in corrispondenza della fascia equatoriale ed un nucleo freddo in corrispondenza delle calotte polari, con conseguenti moti ascendenti caldi e in quota, dall'equatore verso le regioni polari e moti discendenti freddi, al suolo, dai poli verso l'equatore (modello unicellulare, Fig. 3).

Questa situazione sarebbe determinata esclusivamente dalla differente insolazione tra regioni equatoriali e polari. Evidentemente, poiché le cose stanno diversamente, non solo dal punto di vista del processo di rotazione, ma anche nelle caratteristiche della Terra stessa, si pensi per esempio all'effetto prodotto dall'alternanza

tra oceani e continenti, ecco che il modello inizialmente introdotto non può che rappresentare un qualcosa che può solo avvicinarsi alla realtà. Non a caso all'equatore è riscontrabile un nucleo caldo ed in corrispondenza delle regioni polari due nuclei freddi.

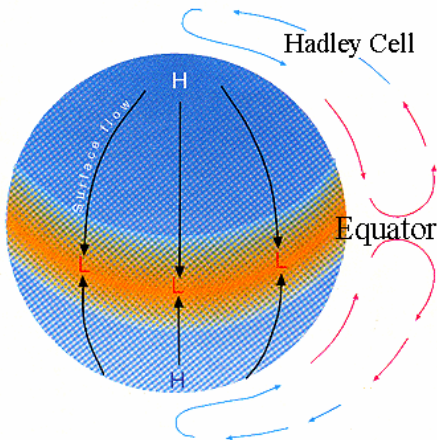


Fig. 3 Modello a cella singola.

Nello studio della circolazione generale dell'atmosfera il modello proposto è un modello che trova validità soprattutto nel campo della climatologia, nel senso che i risultati che andremo a proporre rappresentano situazioni medie, pur consentendo un certo tipo di previsioni.

## Modello di Bergeron

Un modello che descrive meglio la circolazione generale dell'atmosfera è il modello tricellulare di Bergeron, che andiamo ora a descrivere per l'emisfero Nord.

Ricordiamo che nel nostro modello non abbiamo ancora ammesso che ci siano le terre emerse. In ogni caso, nel procedere nella descrizione, evidenzieremo alcuni aspetti del modello che trovano conferma nella realtà.

Se considero la Terra, in relazione ai processi di insolazione e sulla base del modello unicellulare introdotto in precedenza, non si può negare che la parte della Terra più riscaldata è, senza ombra di dubbio, la fascia equatoriale.

Si sa che l'aria, una volta riscaldata dal basso diventa instabile. Avendo inoltre una densità minore tende a salire in quota. Questo processo continua fino a che non viene raggiunta la tropopausa, a circa 18km, che per noi rappresenta il tetto dell'atmosfera meteorologica.

D'altra parte quando l'aria sale si espande, interessa latitudini più elevate e risulta soggetta all'azione della forza deviante di Coriolis (verso destra nell'emisfero boreale, sinistra in quello

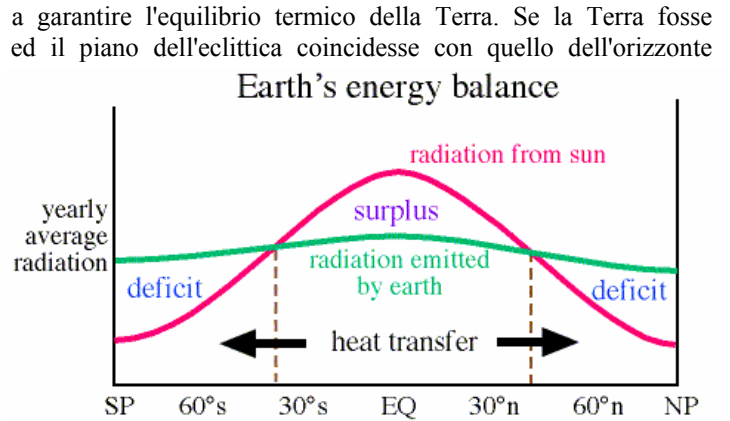


Fig. 1 Bilancio energetico della Terra ed equilibrio radiativo.

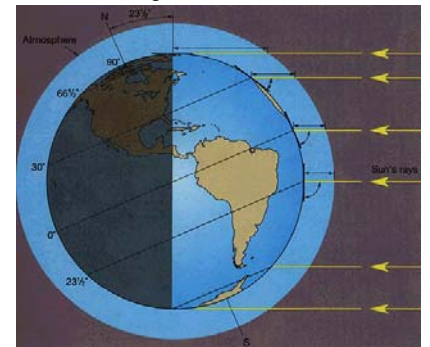
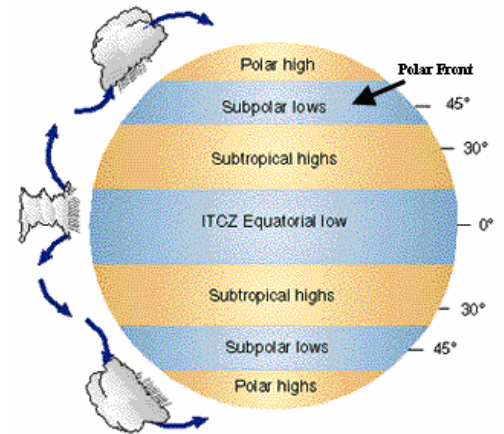


Fig. 2 Processo di insolazione.

Vale la pena osservare che la creazione di modelli di studio nella scienza, costituisce il pane quotidiano dei ricercatori ed è finalizzato al continuo tentativo di rappresentare con strutture matematiche, fisiche o chimiche, più o meno complesse, la realtà che ci circonda. Lo scopo finale è sempre quello di prevedere qualcosa.

I modelli utilizzati in meteorologia non sono da meno. Quelli iniziali tendono a rappresentare un certo problema secondo un approccio semplicistico e con un numero di variabili limitato all'osso. Successivamente, il modello viene migliorato e reso sempre più complesso, con il vantaggio di consentire previsioni sempre più precise, affidabili e anticipate.



© 1998 Wadsworth Publishing Company/ITP

Fig. 4 Distribuzione delle precipitazioni.



Fig. 5 Distribuzione delle fasce climatiche sulla Terra.

## CIRCOLAZIONE GENERALE DELL'ATMOSFERA

australe) sempre più intensa. Tale deviazione proseguirà fino ad un certo punto, allorché i venti spireranno per parallelo, definendo i cosiddetti Jet Stream Equatoriali, di cui parleremo in seguito e che spirano in quota a latitudini di circa 30°.

A questo punto la presenza in quota di grosse masse di aria da origine a "peso", quindi ad alta pressione in quota ed al processo di subsidenza che porta l'aria a scendere fino al suolo. Fra l'altro l'aria scendendo si riscalda, ed avendo perduto il contenuto umido nelle precipitazioni tipiche della fascia equatoriale (non a caso vi sono le foreste equatoriali), non da origine a formazioni nuvolose, ma, piuttosto, definisce le aree desertiche.

Giunta al suolo, siamo nelle regioni tropicali, quindi a circa 30° di latitudine, parte di quest'aria torna verso l'equatore, dando origine al regime dei venti permanenti degli Alisei (i venti in quota si chiamavano invece contro-alisei), parte si dirige verso le latitudini polari, dovendo compensare lo squilibrio termico, dando origine al regime dei venti da ovest.

L'aria che si dirige verso l'equatore chiude una prima cella denominata Cella di Hadley. Gli alisei (trade winds, venti commerciali, in quanto largamente sfruttati per tali scopi dalla marina britannica), provengono da NE nell'emisfero boreale, da SE in quello australe, come conseguenza dell'effetto della forza di Coriolis. In assenza di tale azione, dovrebbero provenire rispettivamente da N e da S.

Gli alisei presentano un andamento diverso a seconda che spirino sopra gli oceani, dove si mantengono pressoché costanti, sui 6÷10m/s, o sui continenti ove risentono del processo di risposta termica in relazione all'insolazione da parte dei diversi tipi di suoli.

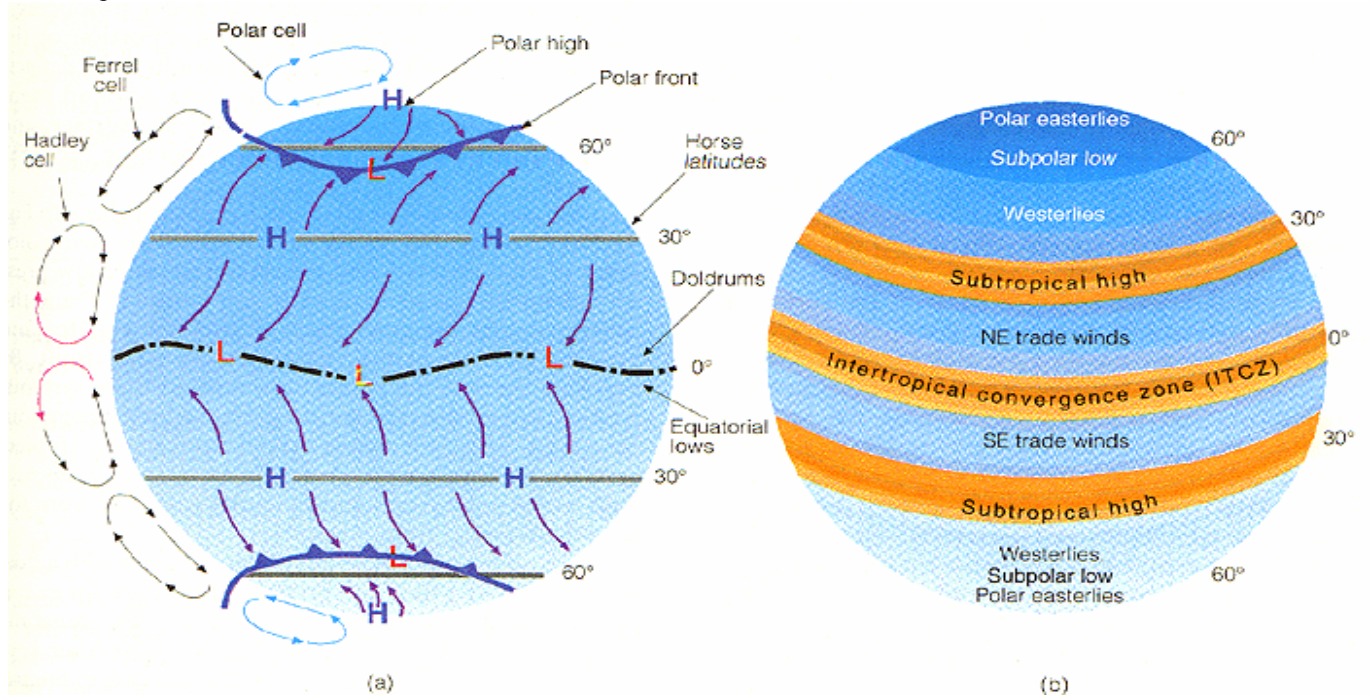


Fig. 6 Modello tricellulare di Bergeron.

Similmente, i venti da ovest, nascono come venti da SW, solo che a causa della forza di Coriolis, più intensa alle latitudini medie, vengono deviati fino a provenire da ovest. Questo fatto spiega il perché dalle nostre parti, di solito, il brutto tempo arrivi da ovest.

L'aria di origine tropicale, che si dirige verso le regioni polari, ben presto si scontra con l'aria fredda di origine polare proveniente dalle circolazioni polari, definendo una superficie di discontinuità e, nell'intersezione con il suolo, il fronte polare.

L'aria polare più fredda e pesante tende ad infilarsi sotto l'aria tropicale, più calda e più leggera, dando origine ai cicloni extra tropicali. Si osservi che per varie ragioni, facilmente intuibili, a differenza di quanto avveniva in corrispondenza dei tropici, in queste regioni lo scambio energetico è discontinuo.

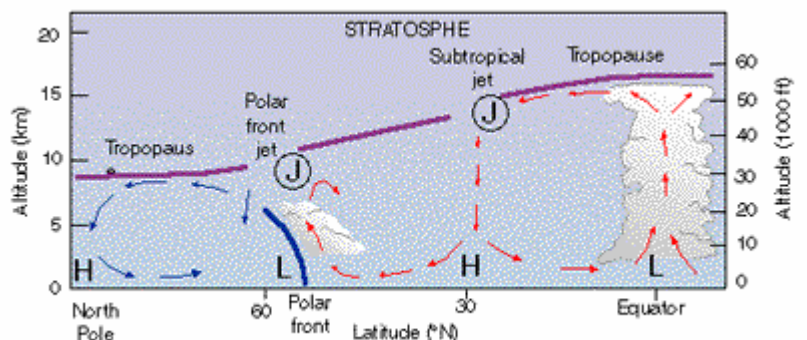
In ogni caso l'aria calda sale fino alla tropopausa e da qui si va a chiudere verso i tropici definendo la seconda cella, detta cella di Ferrel.

Tra regioni polari e latitudini medie si formano infine delle celle di circolazione con aria fredda di origine polare, che si dirige verso le latitudini medie per poi chiudersi nuovamente verso i poli, in quota, definendo la cella polare. Vale la pena ricordare che ai poli la troposfera è alta appena 7km.

A circa 60° di latitudine, in quota troviamo infine i Jet Stream Polari.

### Jet Stream

I Jet Stream (o correnti a getto) sono essenzialmente delle cinture, a serpentina chiusa, di diametro relativamente piccolo e



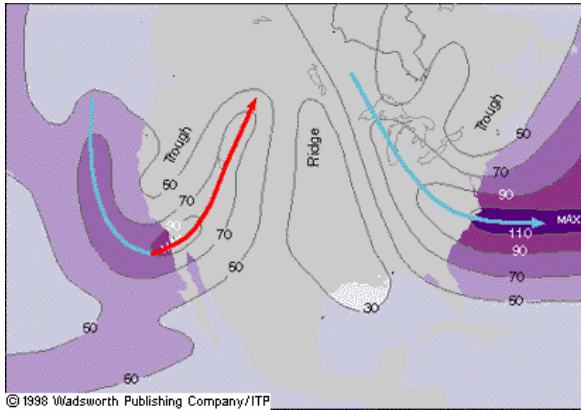
© 1998 Wadsworth Publishing Company/ITP

Fig. 7 Jet Stream Polari ed Equatoriali.

## CIRCOLAZIONE GENERALE DELL'ATMOSFERA

caratterizzate da venti molto intensi (150÷300 nodi).

Si individuano in quota alle latitudini di 30° (Jet Stream Equatoriale) e di 60° (Jet Stream Polare).



**Fig. 8** Jet Stream: promontorio e saccatura.

L'andamento a serpentina o ad onda fa sì che, all'interno degli stessi siano identificabili promontori e saccature, il che implica che il flusso di aria non mantiene costante la velocità. Il massimo di velocità si individua infatti in corrispondenza del tratto precedente all'asse della saccatura.

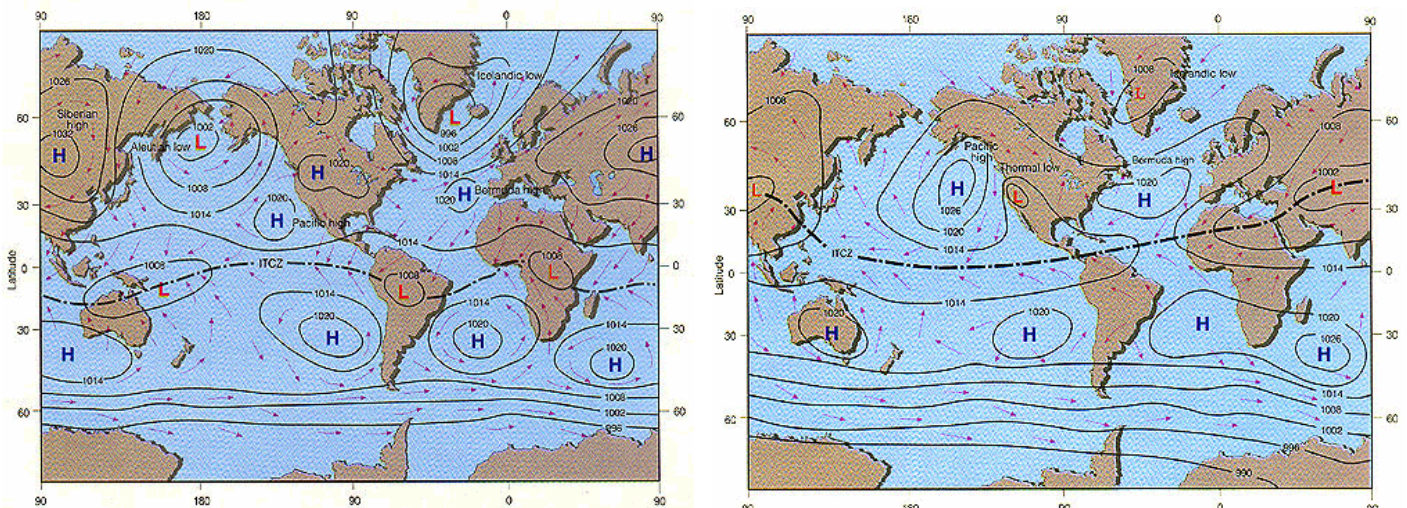
L'esatta spiegazione della loro esistenza non è completamente nota, anche se la teoria più avvalorata vuole che le correnti a getto siano il risultato dell'allineamento in quota di più e più getti di aria di origine polare ed equatoriale.

Si ritiene che influenzino il tempo meteorologico alle latitudini medie (cicloni extra tropicali) ed alle latitudini equatoriali (cicloni tropicali, uragani, ecc.) e siano fondamentali per il trasporto del calore in direzione delle regioni polari.

### Circolazione generale dell'atmosfera

Se infine andiamo a guardare la situazione reale (figura 9), possiamo notare l'esistenza di centri di pressione (anticiclonici o ciclonici) a carattere:

- semi permanente (anticiclone delle Azzorre, anticiclone del Pacifico, depressione dell'Islanda, depressione delle Isole Aleutine)
- stagionale (anticiclone della Siberia, anticiclone del Canada, depressione monsonica)



**Fig. 9** Distribuzione della pressione e dei venti a gennaio ed a luglio.

### El Niño Southern Oscillation (ENSO)

"El Niño" è un disturbo del sistema atmosferico oceanico del Pacifico tropicale che ha importanti conseguenze per il clima di tutto il pianeta. Tra queste, citiamo l'incremento della piovosità sull'America Centrale e sul Perù dove ha provocato alluvioni distruttive e le condizioni di aridità nelle regioni del Pacifico orientale talvolta associate a devastanti incendi in Australia.

Le osservazioni delle condizioni nel Pacifico tropicale sono considerate essenziali per le previsioni a breve termine (da pochi mesi a un anno) delle variazioni climatiche. Al fine di fornire i dati necessari il NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, USA) gestisce una rete di boe (Fig. 10) che misura la temperatura, la corrente e i venti della fascia tropicale. Queste boe trasmettono i dati che possono essere ricevuti in tutto il mondo, in tempo reale, dai ricercatori.

In condizioni normali (Fig 11), i venti Alisei soffiano verso ovest lungo la fascia tropicale del Pacifico. Questi venti accumulano uno strato di acque calde superficiali nel Pacifico orientale. In questo modo la superficie del mare della regione indonesiana si solleva di mezzo metro rispetto a quella che bagna le coste dell'Ecuador.

Anche la temperatura superficiale è di circa 8 gradi centigradi più alta rispetto a quella del Sud America: questo è dovuto alla risalita, nel Pacifico orientale, dei livelli profondi di acque fredde. Quest'acqua fredda è ricca di sostanze nutritive, mantenendo alti livelli di produttività primaria, ecosistemi marini diversificati e una pesca migliore e più abbondante.

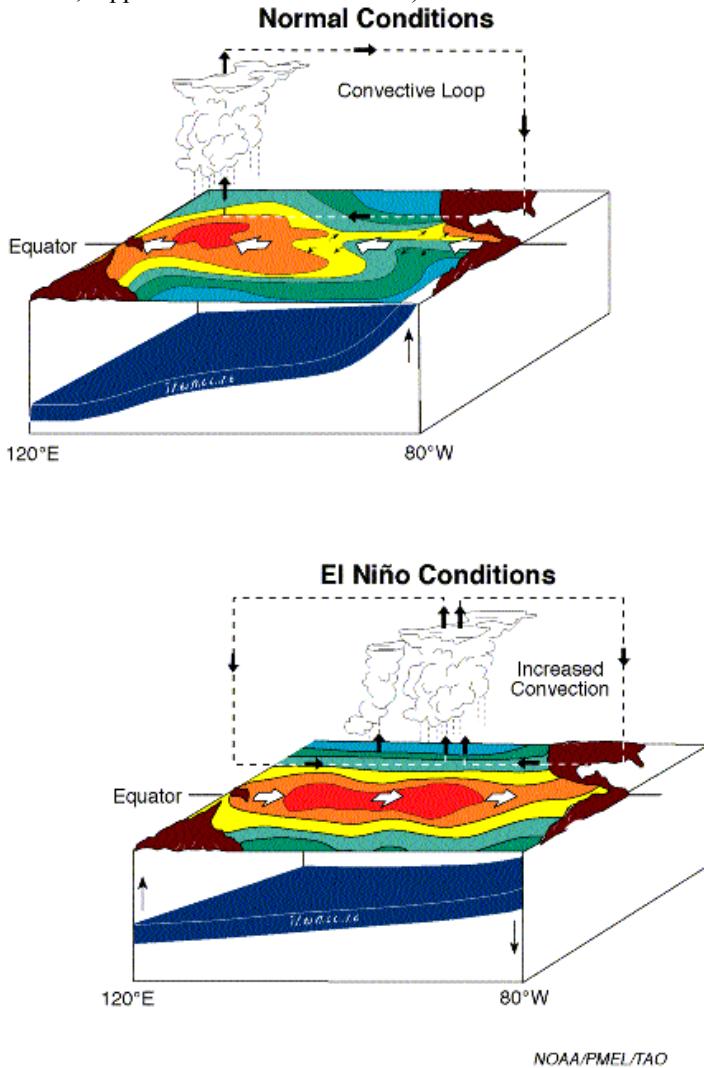
La piovosità è associata a correnti di aria calda ascensionali che vengono prodotte dalle acque calde superficiali, mentre il Pacifico orientale è relativamente secco. Le osservazioni al meridiano 110° Ovest (Fig. 12) mostrano che le acque fredde (sotto



**Fig. 10** Boa oceanica del NOAA.

## CIRCOLAZIONE GENERALE DELL'ATMOSFERA

i 17°C, rappresentate dalla fascia nera) si trovano a circa 50 metri dalla superficie.



**Fig. 11** Diagramma schematico che confronta le condizioni normali con quelle caratterizzate dalla presenza di El Niño, nell'Oceano Pacifico.

deboli mentre quelli orientali soffiano verso occidente (verso l'Indonesia).

Il grafico inferiore di figura 13, riguardante il gennaio 1991, mostra le anomalie rispetto alle medie di gennaio.

In questo diagramma le anomalie sono molto piccole (giallo/verde) e indicano un gennaio "tipico".

Nel gennaio 1998 ci fu un picco delle condizioni "El Niño". L'acqua calda (colore rosso nel pannello in alto a destra, Fig. 13) si è diffusa dal Pacifico occidentale verso Est (in direzione del Sud America) mentre le "lingue fredde" (colore verde) si sono indebolite e i venti del Pacifico occidentale, normalmente calmi, soffiano con forza in direzione Est, spingendo l'acqua calda verso oriente.

Le anomalie mostrano chiaramente che l'acqua del Pacifico equatoriale è molto più calda rispetto a un normale gennaio.

Nel gennaio 1997 ci fu una condizione particolarmente fredda ("La Niña"). La lingua fredda (in blu) è più fredda del solito di circa un grado centigrado. Talvolta (ma non sempre) agli eventi denominati "La Niña" segue "El Niño".

Nei periodi caratterizzati da "El Niño", gli Alisei si indeboliscono nelle regioni centrali e occidentali del Pacifico e, di conseguenza, il termocline (lo strato di acque che sta al di sotto di quello superficiale, nel quale la temperatura si abbassa più velocemente rispetto agli altri strati) del Pacifico orientale si abbassano mentre si solleva quello occidentale.

Le osservazioni al meridiano 110° Ovest mostrano, ad esempio, che durante il 1982-83 l'isoterma dei 17°C si ritirò a circa 150 metri di profondità.

Questo fatto riduce l'efficienza della risalita delle correnti fredde e impedisce il rifornimento della zona eufotica da parte di acque ricche di nutrimento provenienti dal termocline. Il risultato fu un aumento della temperatura superficiale e un drastico declino della produttività primaria che colpì i livelli più alti della catena trofica, compresa la pesca commerciale in queste regioni.

L'indebolimento dei venti Alisei occidentali durante le fasi caratterizzate da "El Niño" è evidente anche in figura 11.

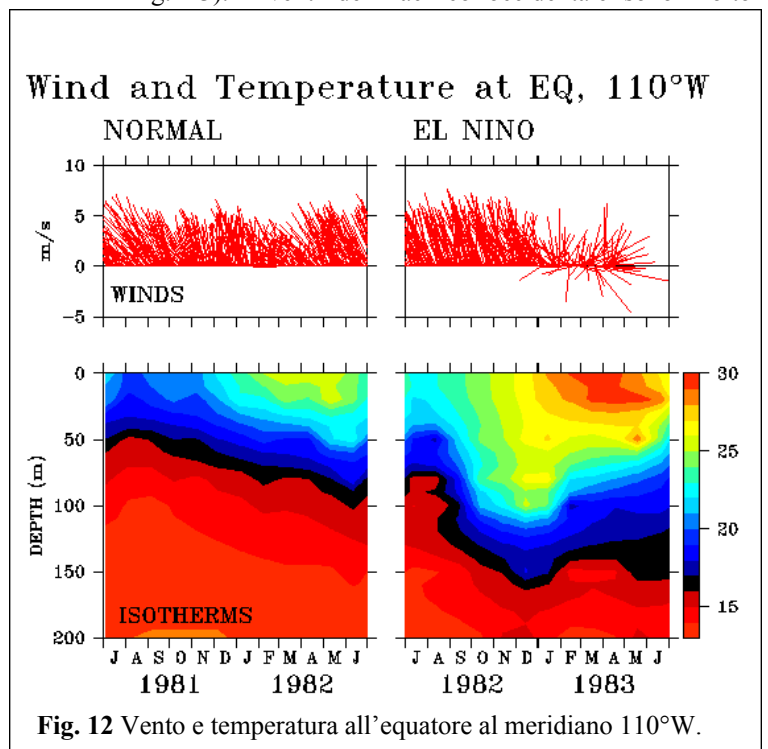
Le piogge seguono le acque calde in estensione verso oriente, e provocano alluvioni sul Perù e siccità in Indonesia e in Australia.

La dislocazione verso Est del calore atmosferico provoca cambiamenti globali della circolazione atmosferica che alla fine influenzano il clima di regioni anche molto lontane dal Pacifico tropicale.

"El Niño" può essere individuato attraverso le misure di temperatura superficiale, come quelle mostrate qui, come risultano dal TAO Array (reti di boe ormeggiate: Atlas e Proteus)

Nel gennaio 1991, le temperature superficiali e i venti erano normali, con acque calde nel Pacifico occidentale (in rosso nel grafico centrale superiore di fig. 13) e acque

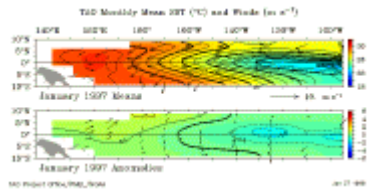
fredde, chiamate "lingua fredda" (*cold tongue*) nel Pacifico orientale (in verde, nel grafico centrale superiore, Fig. 13). I venti del Pacifico occidentale sono molto



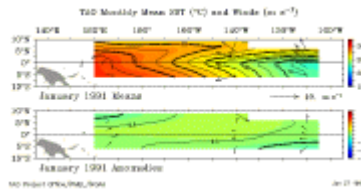
**Fig. 12** Vento e temperatura all'equatore al meridiano 110°W.

CIRCOLAZIONE GENERALE DELL'ATMOSFERA

Condizione "La Niña" (freddo)  
Gennaio 1997



Condizioni normali  
Gennaio 1991



Condizione "El Niño" (caldo)  
Gennaio 1998

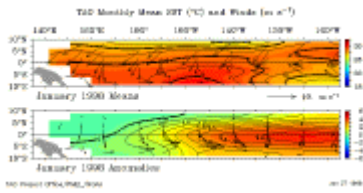
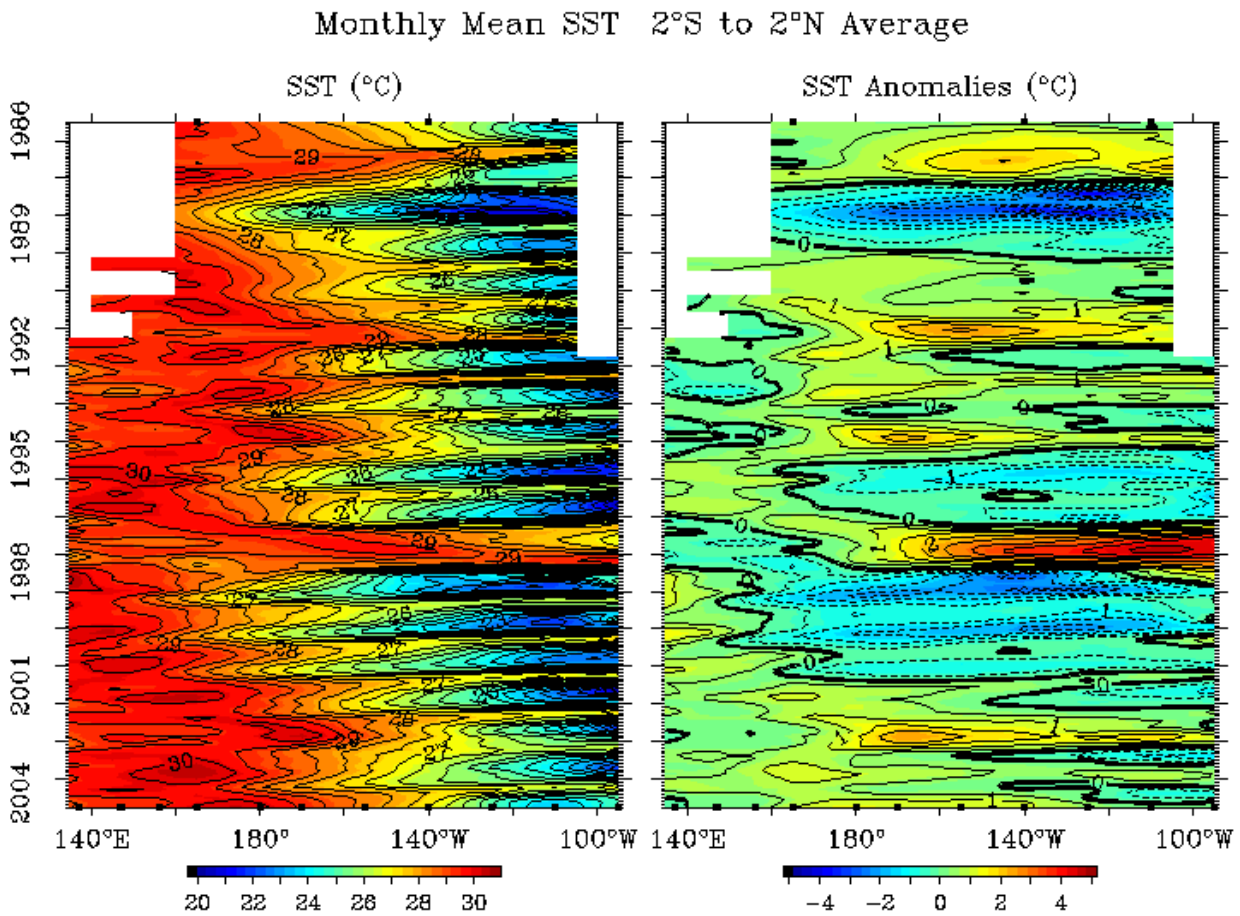


Fig. 13 Condizione di la Niña, normali e di El Niño.

Le temperature superficiali di vari anni, riportati in figura 14, mostrano numerosi fenomeni di "El Niño". In questo pannello, nella parte sinistra, sono indicate le temperature superficiali all'equatore (L'Indonesia è a sinistra e l'America Meridionale a destra).



TAD Project Office/PMEL/NOAA

Oct 12 2004

Fig. 14 Le temperature superficiali in funzione del tempo.

In ordinate la scala del tempo dal 1986 (in alto) fino ad ora (in basso). La prima cosa da notare è la "merlatura" blu nella parte destra del diagramma (Pacifico Orientale). Questo indica le acque fredde tipiche di questa regione, chiamate "lingua fredda". La temperatura della "lingua fredda" varia stagionalmente, essendo più calda nell'emisfero nord in primavera e più fredda in autunno. Il colore rosso della regione di sinistra indica le acque calde tipiche dell'Oceano Pacifico Occidentale. "El Niño" è un'esagerazione del normale ciclo stagionale. Durante "El Niño" del 1986/87 si può notare che l'acqua calda penetra verso Est nella primavera dell'87. C'è un altro "El Niño" tra il 1991 e il 1992 (con una punta nella primavera del '92). "El Niño" del 1997/98 è uno dei più forti.

Le anomalie della temperatura superficiale del mare dal 1986 ad oggi, consente di osservare i fenomeni "El Niño" del 1986-1987, 1991-1992, 1993, 1994 e del 1997.

Gli anni caratterizzati da "El Niño" sono più facili da notare nel pannello di destra (anomalie). Le anomalie mostrano quanto diversa è la temperatura dal valore normale. Temperature significativamente maggiori rispetto alla norma sono indicate in rosso e quelle inferiori in blu. Nella parte destra del grafico delle anomalie è facile vedere i fenomeni "El Niño" con temperature particolarmente calde del Pacifico orientale (rosso) negli anni 1986-1987, 1991-1992, 1993, 1994 e 1997-1998. Notate l'acqua molto fredda (blu) del Pacifico orientale nel 1988-1989: si tratta di un forte fenomeno "La Niña", che appare talvolta in seguito ad un anno "El Niño". Nel 1995-1996 ci fu una debole condizione "La Niña". Particolarmente insolita è la frequenza di condizioni "El Niño" avvenute nel periodo 1990-1994.

## CIRCOLAZIONE GENERALE DELL'ATMOSFERA

### Alcune informazioni riguardo le denominazioni dei fenomeni El Niño e La Niña

El Niño era, in origine, il nome assegnato dai pescatori dell'America Meridionale al manifestarsi di un insolito aumento della temperatura dell'acqua lungo le coste pacifiche durante il periodo natalizio. El Niño, in spagnolo, significa infatti "Il Bambino" con riferimento a Gesù. La Niña significa "La Bambina" e talvolta il fenomeno di raffreddamento dell'acqua è chiamato El Viejo (Il Vecchio), anti-El Niño, o semplicemente "a cold event" oppure "a cold episode". El Niño viene spesso chiamato "a warm event". C'è anche un po' di confusione nell'uso dei termini El Niño, La Niña e ENSO.

### Conseguenze globali di un evento ENSO nel trimestre estivo ed invernale.

A livello globale le conseguenze visibili sin dal semestre caldo sono (Fig. 15):

- Siccità sulle sponde atlantiche del Brasile e del centro Africa a causa della disgregazione dei venti adatti alla formazione di tifoni.
- Siccità notevole in Indonesia, Australia e Sudest asiatico (-80%).
- Indebolimento del monzone estivo con siccità nelle zone nordoccidentali indiane.

Nel trimestre invernale, invece, le conseguenze sono decisamente maggiori:

- Alluvioni tra Ecuador e Perù
- Persiste la siccità nel Brasile nordoccidentale, in Indonesia e coinvolge anche aree sudafricane implicate nel sistema Monsonico.
- Coinvolgimento del Nordamerica in seguito ad un rafforzamento della corrente a getto subtropicale con inverni miti e siccitosi in Alaska, Canada e USA nord orientali. Tempeste di pioggia e neve tra California, Florida, Stati del Golfo (1997-1998).
- Inverni caldi e siccitosi nell'arcipelago Giapponese.

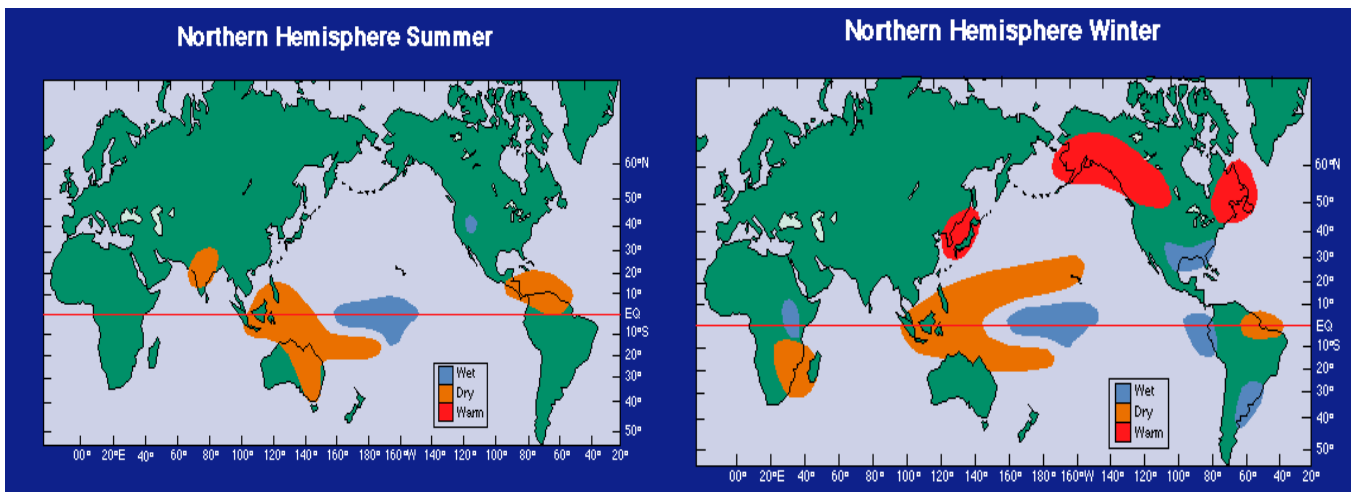


Fig. 15 Conseguenze globali di un eventi ENSO nella stagione estiva ed in quella invernale

### Riferimenti Bibliografici

- Ahrens, "Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment" Brooks & Cole Pub Co.
- Barry, Chorley "Atmosphere, weather & climate" Ed. Routledge, Londra
- <http://apollo.lsc.vsc.edu/>
- <http://spazioweb.inwind.it/gpscienze/Terra/Pianeta/indicepianeta.htm>
- [http://www.fmboschetto.it/lavori\\_studenti/El\\_Nino.pps](http://www.fmboschetto.it/lavori_studenti/El_Nino.pps)
- <http://www.vialattea.net/pagine/elnino/el-nino-storyB.html>
- Sannino "Meteorologia Nautica" Ed. Italibri