

# Meteorologia 9

Circolazione generale  
dell'atmosfera

# Circolazione generale dell'atmosfera

- ***Circolazione ed energia***
- ***È un fatto noto che l'energia di cui disponiamo sulla Terra viene tutta dal Sole, e che, per questo, le zone equatoriali e tropicali sono calde, e quelle polari fredde.***
- ***L'osservazione, nella sua semplicità (è solo semplice, non banale!), porta a delle conclusioni molto interessanti.***

# Circolazione generale dell'atmosfera

- *Ricordiamo innanzi a tutto che un corpo, che non sia allo zero assoluto ( $0^{\circ}\text{K} = -273,15^{\circ}\text{C}$ ), emette energia raggiante, la cui quantità e natura dipendono proprio dalla sua temperatura.*
- *Data la stabilità dimostrata dal clima medio della Terra, in media ci dovrà essere una sorta di equilibrio termico fra l'energia che arriva dal Sole e l'energia che la Terra emette verso gli spazi siderali.*

# Circolazione generale dell'atmosfera

- *Utilizzando le leggi quantitative pertinenti al fenomeno, i ricercatori si sono venuti a trovare di fronte ad una situazione molto particolare:*
  - *le aree equatoriali e tropicali dovrebbero essere, se operassero in condizioni di equilibrio energetico locale, molto più calde di quanto siano realmente*

# Circolazione generale dell'atmosfera

- *le aree extra-tropicali e polari dovrebbero essere, se operassero in condizioni di equilibrio energetico locale, molto più fredde di quanto siano realmente.*
- Cioè:
- *alle basse latitudini esiste un surplus di energia in arrivo, ed*
  - *alle latitudini medie ed alte esiste un deficit di energia, sempre in arrivo.*

# Circolazione generale dell'atmosfera

- Poiché però ***la temperatura***:
  - nelle regioni tropicali, ***non aumenta*** (cosa che dovrebbe accadere a causa della sovrabbondanza dell'energia in arrivo), e
  - nelle regioni extra-tropicali, ***non diminuisce*** (cosa che dovrebbe accadere a causa della sovrabbondanza dell'energia emessa),
- significa semplicemente che il ***modello “locale”*** non è sufficiente per descrivere il fenomeno.
- È quindi necessario apportargli delle opportune modifiche.

# Circolazione generale dell'atmosfera

- Se si fa allora l'ipotesi che **esista un processo, capace:**
  - ***di prelevare l'eccesso di calore dove questo abbonda, e***
  - ***di re-distribuirlo dove questo è carente.***

# Circolazione generale dell'atmosfera

- È quanto effettivamente accade:
- *la circolazione generale dell'atmosfera si presenta come un insieme di fenomeni, che, pur nella loro varietà, prelevano, senza eccezioni (sia pure con tecniche diverse), energia dove ce n'è troppa per portarla dove ce n'è troppo poca.*

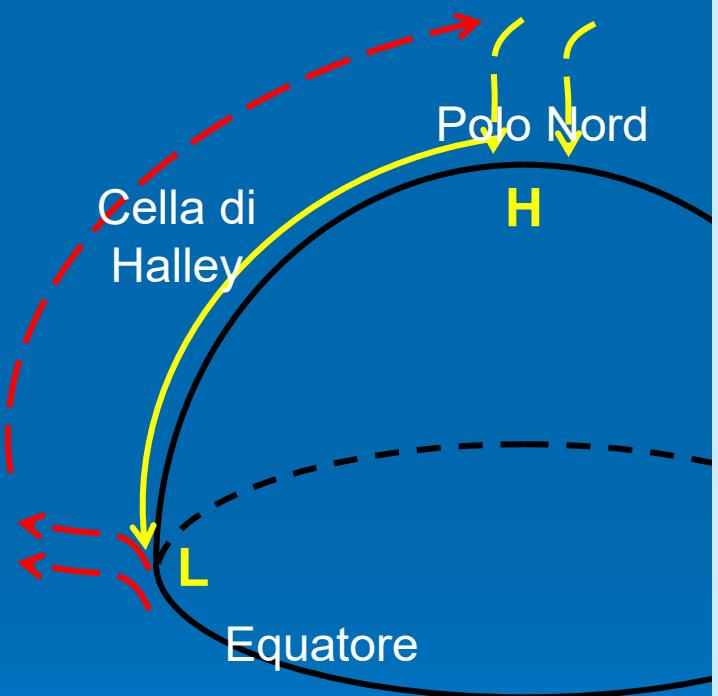
# Circolazione generale dell'atmosfera

- **Modelli di circolazione**
- (1) Modello di ***Edmond Halley*** (1668).
- Storicamente, il primo tentativo di costruire un modello di circolazione dell'atmosfera è stato fatto da ***Edmond Halley***, l'astronomo scopritore della cometa che porta il suo nome.
- Si tratta di un modello ultra-semplificato, che è stato ovviamente necessario modificare, ma che ha fatto capire, fin dall'inizio, la sostanza del problema.

# Circolazione generale dell'atmosfera

- *Halley ha descritto una situazione, che potrebbe essere valida per una Terra*
  - *omogenea (trascurando quindi i disturbi provocati dall'alternanza mari-continenti) e*
  - *ferma (non dotata, cioè, di moto di rotazione attorno al proprio asse).*
- In queste condizioni si verrebbe a formare una situazione del tipo che segue:

# Circolazione generale dell'atmosfera



Ai Poli, l'aria è fredda, e perciò “pesante” (Alta Pressione **H**); all'Equatore è calda, e perciò “leggera” (Bassa Pressione **L**).

È ragionevole aspettarsi che, al suolo, l'aria fredda polare inizi a scendere in latitudine, e che, in quota, l'aria calda equatoriale inizi a spirare verso il Polo, in modo da chiudere la circolazione.

Si viene così a ipotizzare la formazione di una **Cella di circolazione**, unica per ciascun emisfero: la **Cella di Halley (1668)**.

# Circolazione generale dell'atmosfera

- Già da questo modello si comincia a percepire un fatto:
  - *Al suolo, dell'aria fredda scorre verso le zone calde, ed*
  - *in quota, dell'aria calda scorre verso le zone fredde.*
- L'essenza del motore termico, chiamato “*atmosfera*”, è stata quindi messa in luce.

# Circolazione generale dell'atmosfera

- (2) Modello di **George Hadley (1735)**

*Però la Terra ruota attorno al proprio asse:  
che cosa cambia?*

Già sappiamo che in queste condizioni diventa essenziale il contributo dato dalla **Forza di Coriolis**.

George Hadley ne ha però intuito gli effetti *prima che Coriolis desse spiegazione completa del fenomeno.*

# Circolazione generale dell'atmosfera

- **L'aria calda**, che sale in quota a partire dal terreno surriscaldato delle zone equatoriali, **giunta alla tropopausa** (tetto dell'atmosfera meteorologica) **devia verso Nord e verso Sud**, iniziando così il suo moto verso i Poli.
- Non appena quest'aria si alza in latitudine, **comincia a risentire** della forza di Coriolis, **e quindi subisce una deviazione progressiva verso destra** (Em. Nord).

# Circolazione generale dell'atmosfera

- Quando tale deviazione raggiunge ***il valore limite di 90°***, l'aria cessa di salire (sempre in latitudine, non stiamo parlando di eventuali variazioni di quota!), e finisce con il costituire una specie di blocco alla salita di altra aria equatoriale.

# Circolazione generale dell'atmosfera

- Tale situazione si realizza in *latitudini prossime a quelle dei Tropici* (altre fonti danno stime di latitudine *dell'ordine dei 30° N e S*, ma il dettaglio è irrilevante nella costruzione di un quadro generale, esclusivamente qualitativo).

# Circolazione generale dell'atmosfera

- *Poiché non esiste ragione alcuna affinché l'Equatore cessi di alimentare la corrente verticale d'aria, è lecito aspettarsi che il processo continui, e quindi che si venga a formare un accumulo d'aria ad alta quota attorno ai Tropici, e quindi un aumento della pressione al suolo.*

# Circolazione generale dell'atmosfera

- Nascono così delle importanti aree di Alta Pressione **H**, nonostante il fatto che l'aria sia calda, e quindi “*leggera*” (= meno densa).



Sottolineiamo l'origine **dinamica** di queste aree di **H**, dovute all'**accumulo** d'aria provocato dal meccanismo che fa muovere l'atmosfera.

Non è inutile insistere sul fatto che si tratta di **Alte Pressioni calde**, dovute alla enorme quantità delle masse in gioco, e non alla densità del materiale interessato.

# Circolazione generale dell'atmosfera

- È appena necessario accennare al fatto che l'aria calda, bloccata nel suo movimento in latitudine ai Tropici, *non possa accumularsi all'infinito*, per cui dovrà cominciare a muoversi verso il basso (***moto di subsidenza***).

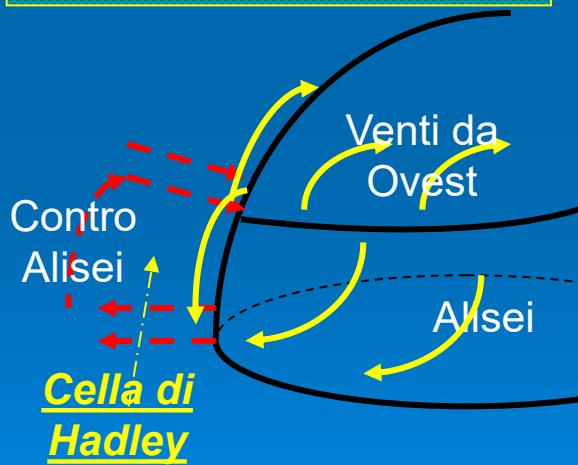
# Circolazione generale dell'atmosfera

- L'aria subisce, di conseguenza, ***un processo di compressione***, per cui si riscalda e si allontana dal punto di saturazione.
- Si vengono così a creare delle ***situazioni di siccità estreme***, che culminano nella formazione dei ***deserti***.

# Circolazione generale dell'atmosfera

Giunta al suolo, l'aria si schiaccia.

Si noti che per sapere “perché” la circolazione si comporta proprio in questo modo è stato necessario aspettare Coriolis (1844)



Parte di essa *torna verso l'Equatore* (la circolazione così si chiude, e viene quindi perpetuata), e *parte di essa devia*, invece, *verso il Polo*.

Il flusso d'aria ora detto è stato rappresentato per il tramite delle frecce continue (correnti al suolo, quindi non tratteggiate), *di colore giallo*.

Fra l'Equatore ed il Tropico si viene così a chiudere una prima cella di circolazione, dette a *Cella di Hadley* (1735).

# Circolazione generale dell'atmosfera

- Le correnti al suolo, che dai Tropici spirano verso l'Equatore, risultano essere molto stabili e ben definite. Prendono il nome di ***Alisei (Trade Winds)***.
- Le correnti in quota, tendenzialmente orientate in direzione opposta agli Alisei, sono molto meno stabili, e prendono il nome di ***Contro-Alisei***.

# Circolazione generale dell'atmosfera

- Le correnti al suolo che partono dai Tropici ed iniziano a salire in latitudine prendono invece il nome, data la deviazione cui sono sottoposte, di **Venti da Ovest (Westerlies)**.
- Anche queste correnti *saliranno in latitudine fintantoché non saranno deviate, nella loro traiettoria, di 90°*.
- Questo avviene ad una latitudine dell'ordine dei **60°N.**

# Circolazione generale dell'atmosfera

- Proviamo ora ad abbandonare, per un attimo, le zone tropicali, ed andiamo a vedere cosa accade nei pressi del **Polo**.
  - L'aria fredda, che si trova **a livello del suolo**, inizia a muoversi **dal Polo** (area di **H termica**, cioè dovuta alla temperatura ambientale) verso latitudini **più basse**, e
  - **devia verso destra** (Polo Nord), fino a arrestare la propria discesa in latitudine, proprio attorno a quei **60°N**, **dove l'aria fredda di origine polare viene in contatto, al suolo, con l'aria calda di origine tropicale**.

# Circolazione generale dell'atmosfera

- Troviamo così aree di basse pressioni permanenti, quali possono essere la ***Depressione dell'Islanda*** e la ***Depressione delle Isole Aleutine***, che giocano un ruolo fondamentale sulla dinamica dell'atmosfera.

# Circolazione generale dell'atmosfera

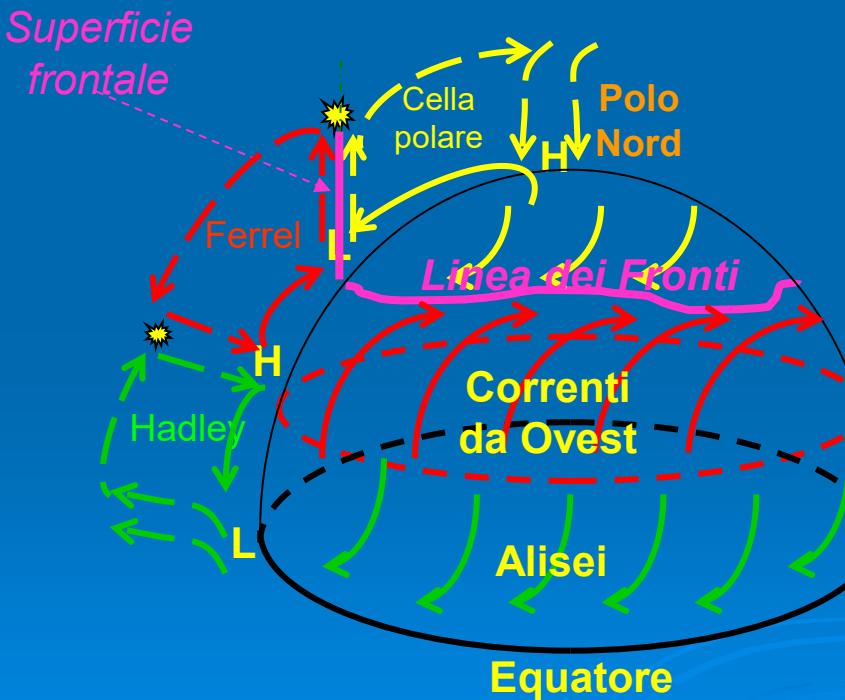
- Le circolazioni che si vengono in tal modo a formare costituiscono:
- per l'aria che dai *Tropici sale in latitudine*, una cella dalla circolazione opposta a quella di Hadley, detta **Cella di Ferrel**, dal nome di colui che, per primo, ne ha teorizzato l'esistenza [**William Ferrel (1817-1891)**]
- per l'aria che *scende dal Polo*, una cella, la cui circolazione è analoga alla *Cella di Hadley* delle basse latitudini, e che quindi viene chiamata **Cella (di Hadley) polare**.

# Circolazione generale dell'atmosfera

- (3) **Modello *a tre celle***
  - La situazione globale può venire descritta per mezzo di un ***modello a tre celle***,
  - ancora semplificato rispetto alla realtà, ma nel complesso funzionante in modo accettabile.

# Circolazione generale dell'atmosfera

- Nel grafico troviamo una novità:



Viene introdotta una superficie di separazione fra l'aria calda di origine tropicale, che si muove verso Nord, e l'aria fredda, di origine polare, che si muove verso Sud: la **superficie frontale**. La sua intersezione con la superficie della Terra prende il nome di **linea dei fronti**, e su di essa si sviluppano le perturbazioni delle latitudini medie.

# Circolazione generale dell'atmosfera

- A integrazione della discussione, osserviamo come le **H** tropicali rappresentino *una fonte continua di scambio d'aria*, e quindi di energia, fra l'aria calda tropicale e l'aria meno calda delle latitudini medie.
- La **Linea dei Fronti** , invece, rappresenta *una fonte di scambio discontinua*, che cattura masse d'aria calda di origine tropicale, e le trasporta verso le zone occupate da aria fredda, di origine polare.

# Circolazione generale dell'atmosfera

- (4) ***Jet Streams ed Onde del Rossby***
- In corrispondenza al simbolo:  , troviamo due correnti aeree molto intense, localizzate nell'alta Troposfera, nella zona confinante con la Tropopausa.
- Si tratta dei ***Jet streams***, o ***Correnti a getto***, (due per emisfero!), dei quali:
  - quello che si forma a latitudine più bassa, detto ***Jet sub-tropicale***, può ritenersi avviato dalla concentrazione di venti che camminano per parallelo
  - quello che si forma a latitudine più alta (in posizione strettamente correlata con l'estremità superiore della superficie frontale), detto ***Jet polare***, può ritenersi avviato dalla pendenza assunta in loco dalle superfici isobariche.

# Circolazione generale dell'atmosfera

- I ***Jet streams*** giocano un ruolo fondamentale sul comportamento dell'atmosfera, tanto che qualcuno li ha definiti *il sistema nervoso dell'atmosfera*.
- In particolare, essi mostrano di essere assoggettati a dei movimenti ondulatori, che si propagano lungo tutta la superficie frontale.

# Circolazione generale dell'atmosfera

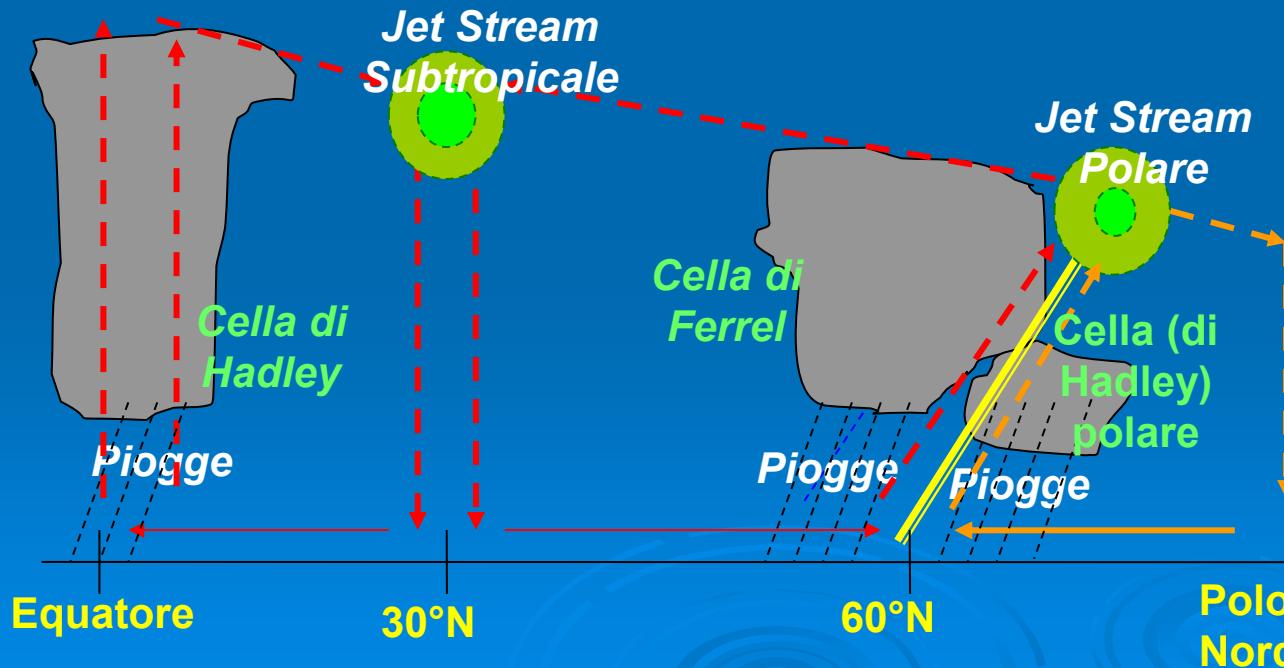
- Tali onde sono di norma lunghissime:
  - *due o tre oscillazioni, ed hanno fatto il giro della Terra (per parallelo).*
- Queste sono le **onde del Rossby**, che, soprattutto nei vecchi metodi di previsione, davano suggerimenti al meteorologo sulla direzione in cui si sarebbero mosse le perturbazioni.
- Il problema assume rilevante importanza nella Meteorologia teorica.

# Circolazione generale dell'atmosfera

- Volendo dare un quadro ancora più aderente alla realtà, è necessario ricordare che la tropopausa: *tetto dell'atmosfera meteorologica*, è più alta all'Equatore e più bassa ai Poli.

# Circolazione generale dell'atmosfera

- Una ipotetica sezione verticale meridiana dell'atmosfera assumerebbe quindi l'aspetto schematico che segue:



# Circolazione generale dell'atmosfera

- **(5) Introduzione ai Monsoni**
- A titolo di esempio, prendiamo in considerazione il problema dei **Monsoni**, o, meglio, dei **Monsoni asiatici**, i più intensi, e pertanto i più noti.
- Essi coinvolgono l'intero sub-continente indiano, e sono caratterizzati da **venti periodici** (semestrali), **dovuti alla differenza di comportamento termico delle aree continentali** (India) **e di quelle marittime** (Oceano Indiano).

# Circolazione generale dell'atmosfera

- In breve, durante *l'estate dell'emisfero Nord*, il terreno del sub-continente indiano si surriscalda, mentre il mare, per caldo che esso sia, **è meno caldo della terra**.
- L'aria sul continente tende a salire, richiamando altra aria dall'oceano. Ne deriva un apporto di umidità notevole.
- Nel momento in cui l'aria si avvicina alla catena dell'Himalaya, è anche costretta a salire, e quindi ad espandersi ed a raffreddarsi.

# Circolazione generale dell'atmosfera

- L'umidità contenuta si condensa, e piove:  
***esistono aree dove vengono raggiunti e superati i 12000 mm di pioggia in 6 mesi.***
- Si parla allora di ***Monsone estivo***, e della ***Stagione delle piogge***.
- Per quanto si possa parlare, chi è vissuto solo in Europa non può avere la sensazione fisica di cosa significhi la caduta di ***12000 litri di acqua per m<sup>2</sup> di superficie, in 6 mesi!***
- Si tratta di 12 tonnellate di acqua per m<sup>2</sup>, il che fa letteralmente paura.

# Circolazione generale dell'atmosfera

- Ricordiamo che tutta l'acqua che viene scaricata libera le proprie *calorie latenti di condensazione: 600 cal/gr*, il che equivale a dire *liberazione di quantità enormi di energia termica*.
- Non fa meraviglia il pensare che quest'aria, resa secca e calda a causa dell'acqua perduta, nel superare l'Himalaya riesca a creare, sottovento ad essa, una zona desertica ed inospitale: *il Deserto del Gobi*.

# Circolazione generale dell'atmosfera

- Durante *l'inverno dell'emisfero Nord* le parti si invertono: ***il terreno è più freddo ed il mare è più caldo.***
- Il vento inizia a spirare dalla terra verso il mare, ed il cielo sul continente rimane libero dalle nubi.
- Si parla allora di ***Monsone invernale*** e di conseguente ***Stagione secca.***

# Circolazione generale dell'atmosfera

- *Nell'intervallo fra il monsone estivo e quello invernale si instaura*, di solito, un periodo di calma.
- È questa la stagione in cui si osserva, sempre in questa zona, la nascita e lo sviluppo di centri di bassa pressione estremi: *i cicloni tropicali*.
- Si tratta di cicloni capaci di liberare energie dell'ordine delle migliaia di bombe atomiche, del tipo di quelle sganciate su Hiroshima e Nagasaki, che vengono alimentati dall'energia liberata dal vapore che si sprigiona dal mare.

# Circolazione generale dell'atmosfera

- (6) **Brezze di terra e di mare**
- Fenomeni molto più attenuati, ma determinati dalla stessa origine, sono le **brezze di terra** e **di mare** che si sperimentano nelle stazioni balneari costiere.
- Nascono per il diverso andamento termico diurno del terreno e della superficie marina, che conduce alla formazione alternativa di aree di bassa pressione e di alta pressione localizzate una volta sul terreno e un'altra volta sul mare.

# Circolazione generale dell'atmosfera

- ***La mattina***, man mano che si alza il Sole, ***il vento inizia a spirare dal mare verso la terra.*** A causa della *Forza di Coriolis*, che si fa sentire man mano che la velocità del vento cresce, il vento modifica la direzione da cui proviene, *seguendo il movimento del Sole.*
- Da ciò, il detto popolare che ***il vento ruota come il Sole.***
- Il fenomeno, nella sua essenza, è però diverso!

# Circolazione generale dell'atmosfera

- Con questo, si ritiene di aver dato una descrizione sufficientemente completa della *Circolazione Generale dell'Atmosfera*, o almeno sufficientemente completa per interpretare i fenomeni meteorologici che ci riguardano come appartenenti ad un “*unicum*”, le cui parti sono in stretta relazione/dipendenza fra loro.