

Copertina

Corso di Fisica dell'Atmosfera

# Caratteristiche generali dell'atmosfera terrestre

Giaiotti Dario & Stel Fulvio

## Sommario della lezione

- Perché dedicarsi allo studio dell'atmosfera terrestre?
- Composizione chimica dell'atmosfera e abbondanze relative in funzione della quota.
- Evoluzione temporale della composizione chimica dell'atmosfera terrestre.
- Andamento termico medio in funzione della quota.
- Classificazione dell'atmosfera in funzione del profilo termico verticale.
- Proprietà elettriche dell'atmosfera in funzione della quota.
- Circolazione planetaria generale.
- Masse d'aria e fronti permanenti.
- Sezioni longitudinali del campo termico e dei venti.
- Bibliografia di riferimento e per approfondimenti.

## Perché dedicarsi allo studio dell'atmosfera terrestre?

- Utilità pratica: ci viviamo dentro.
  - Le attività umane sono condizionate dall'evolversi dell'atmosfera (**programmazione**).
  - Le attività umane condizionano l'evolversi dell'atmosfera (**consapevolezza e responsabilità**).
- Motivazione scientifica: presenta problemi non risolti di grande valenza concettuale.
  - L'atmosfera terrestre è un **sistema complesso** che ci:
    - a) propone **aspetti** della realtà ancora **poco conosciuti**;
    - b) propone **comportamenti noti**, ma **scarsamente predicibili**;
    - c) richiede un **approccio conoscitivo multidisciplinare**;

Per un giovane studente o un ricercatore, il sistema fisico “atmosfera terrestre” è da considerarsi un ambito della scienza ove applicarsi se si vuole trattare questioni specifiche poco chiare e questioni concettuali di valenza generale.

Si veda l'articolo:

Four golden lessons for young researchers,  
Weinberg S., Nature vol 426, Nov, 26 2003, page 389.

## Alcune considerazioni su come affrontare lo studio dell'atmosfera terrestre

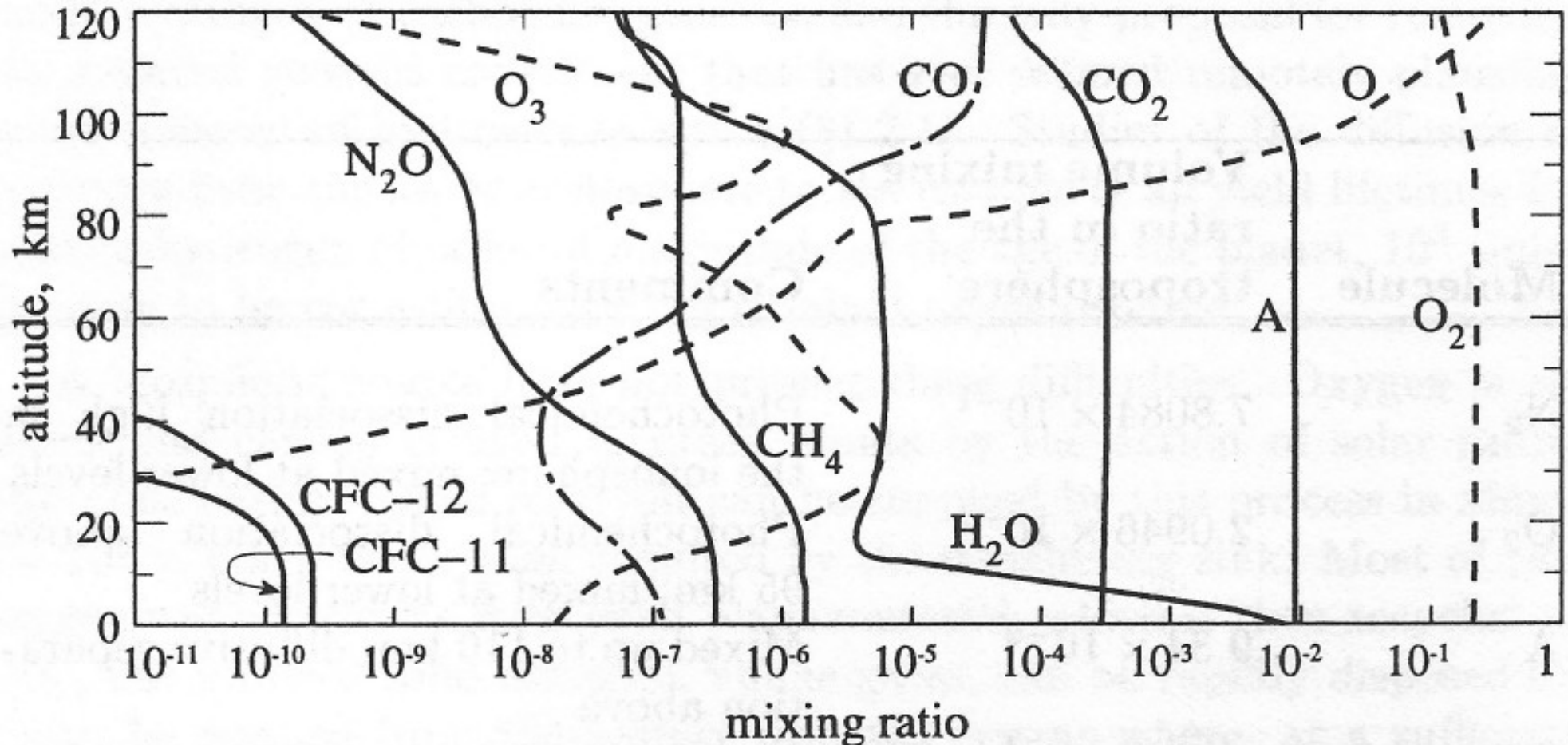
- Non è necessario conoscere nei dettagli tutti i lavori svolti sul tema, prima di cimentarsi nella ricerca, ma è indispensabile avere ben chiari i concetti fondamentali e le evidenze sperimentali che li sostengono o che li mettono in crisi.
  - Questo corso aspira a fornirvi concetti ed evidenze per permettervi di approfondire da soli l'argomento e per accostarsi ai problemi ancora insoluti.
- Non avere timore di apprendere strumenti e concetti apparentemente non attinenti con la fisica dell'atmosfera. L'approccio interdisciplinare è quello vincente.
  - Questo corso vi proporrà esempi di risultati ottenuti facendo uso di idee e metodi provenienti da discipline diverse e spesso considerate molto distanti.
- Provare a proporsi problemi e a spiegare evidenze con gli strumenti appresi durante le lezioni e negli altri corsi seguiti fino ad oggi. Non limitarsi a riprodurre i risultati presentati nel corso, durante la preparazione e soprattutto dopo lo svolgimento dell'esame.
  - Questo corso aspira ad insegnarvi ad analizzare i problemi e a proporli per la soluzione.
- Avere consapevolezza del percorso storico compiuto dalle idee e dalle evidenze che a lezione vengono enunciate come i fondamenti della disciplina. Non limitarsi a riprodurre i fondamenti presentati nel corso; assimilarli come frutto del pensiero e dell'azione di altre persone che le hanno elaborate in tempi passati.
  - Questo corso aspira ad insegnarvi a riflettere sui fondamenti piuttosto che abituarsi ad essi.

## La composizione chimica dell'atmosfera nei pressi della superficie della Terra

Gas	Volume
Nitrogen (N <sub>2</sub> )	780,840 ppmv (78.084%)
Oxygen (O <sub>2</sub> )	209,460 ppmv (20.946%)
Argon (Ar)	9,340 ppmv (0.9340%)
Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	381 ppmv
Neon (Ne)	18.18 ppmv
Helium (He)	5.24 ppmv
Methane (CH <sub>4</sub> )	1.745 ppmv
Krypton (Kr)	1.14 ppmv
Hydrogen (H <sub>2</sub> )	0.55 ppmv

TABLE 1. Composition of dry atmosphere, by volume ppmv (parts per million by volume). Water vapor ( $H_2O$ ) is not included in above dry atmosphere table. Sources for this table: NASA. Carbon dioxide (updated 2006). Methane updated (to 1998) by IPCC. The data presented in this table are reported without uncertainties and they are used here only for a general description of the chemical atmosphere features.

## Andamento della composizione chimica dell'atmosfera con la quota



**Figure 1.1** Vertical profiles of mixing ratios of selected species at an equinox. CFC-11 and CFC-12 are chlorofluorocarbons.

Il rapporto di mescolanza (**mixing ratio**)

## I principali gas e le loro concentrazioni nel tempo

- La composizione chimica dell'atmosfera del nostro pianeta è ben diversa dalla composizione chimica del resto dell'universo.
- La composizione chimica dell'atmosfera del nostro pianeta cambia nel tempo.
- Le concentrazioni dei gas e dei vapori componenti l'atmosfera terrestre attuale è sostanzialmente diversa da quella primordiale (4 Gy).
- Esistono variazioni della composizione chimica atmosferica **significative** a scale temporali diverse.
- La **significatività** della variazione non dipende solo dalle variazioni di massa (concentrazioni), ma soprattutto dagli effetti che queste variazioni causano sul sistema Terra.



# Serie temporale delle concentrazioni di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) negli ultimi 50 anni

## Recent Monthly Average Mauna Loa CO<sub>2</sub>

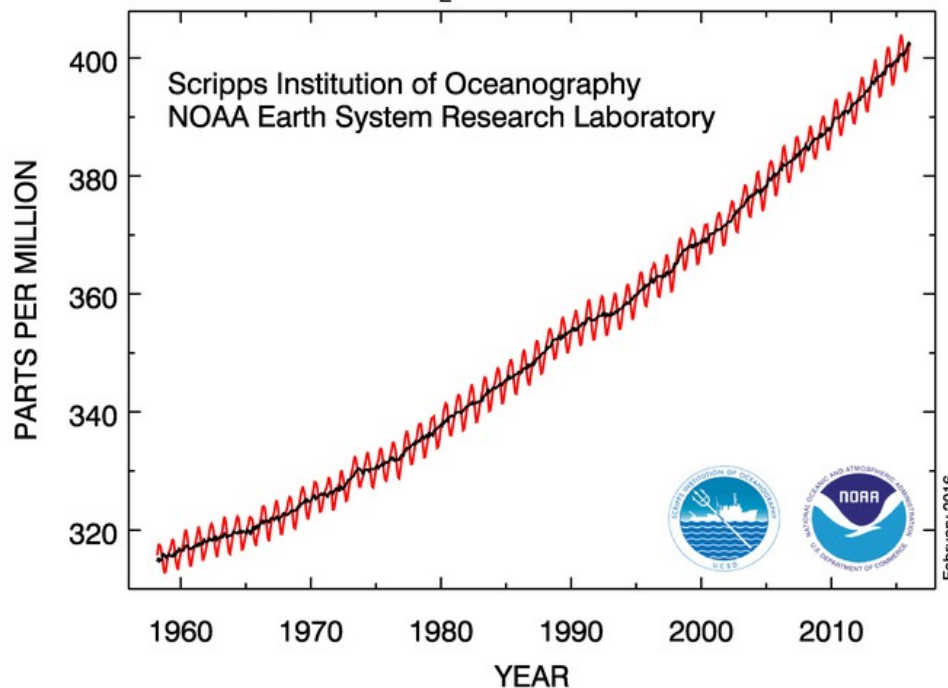
**January 2016: 402.52 ppm**  
**January 2015: 399.96 ppm**  
*Last updated: February 5, 2016*

Esiste in ciclo stagionale

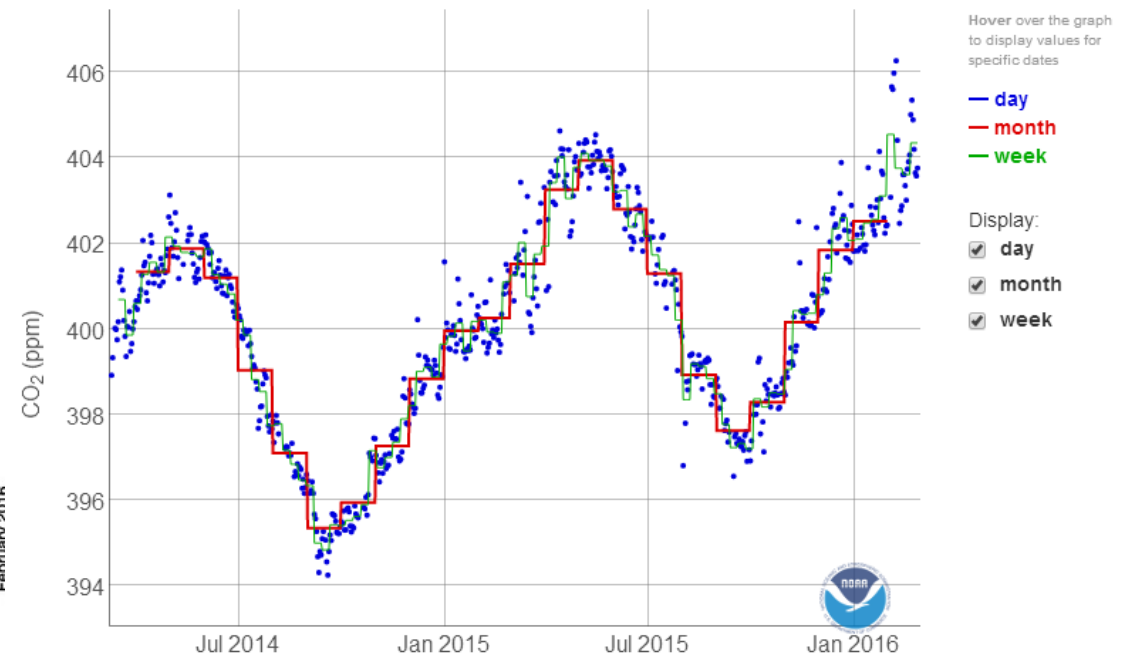
Sovrapposto ad un trend  
interannuale

Figura tratta da: NOAA Earth  
System Research Laboratory

Atmospheric CO<sub>2</sub> at Mauna Loa Observatory



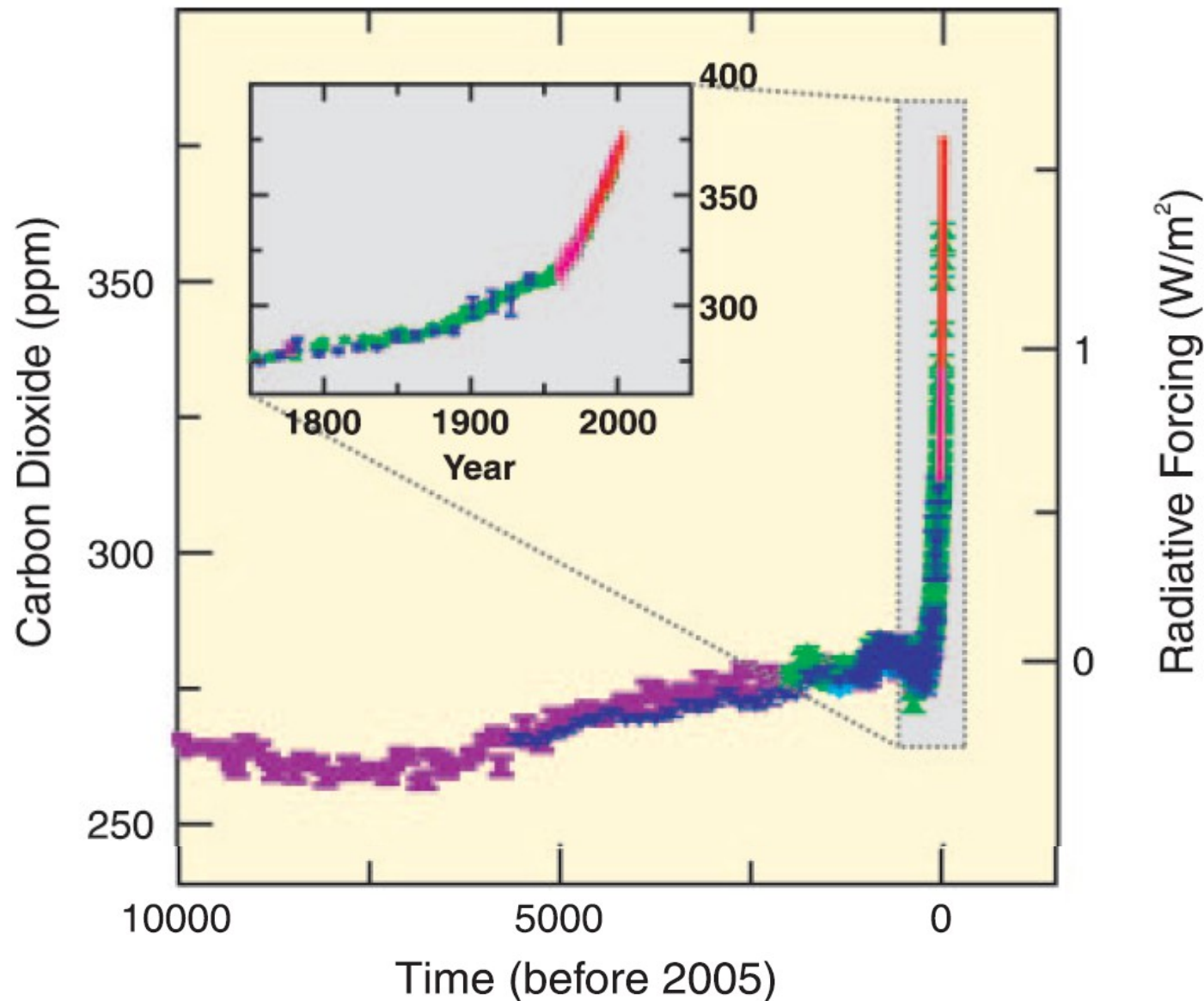
Mauna Loa Daily, Monthly and Weekly Averages for two years





## Serie temporale delle concentrazioni di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) negli ultimi 10<sup>4</sup> anni

### Changes in GHGs from ice core and modern data



Dall'anno 1750 in poi la serie viene presentata ingrandita.

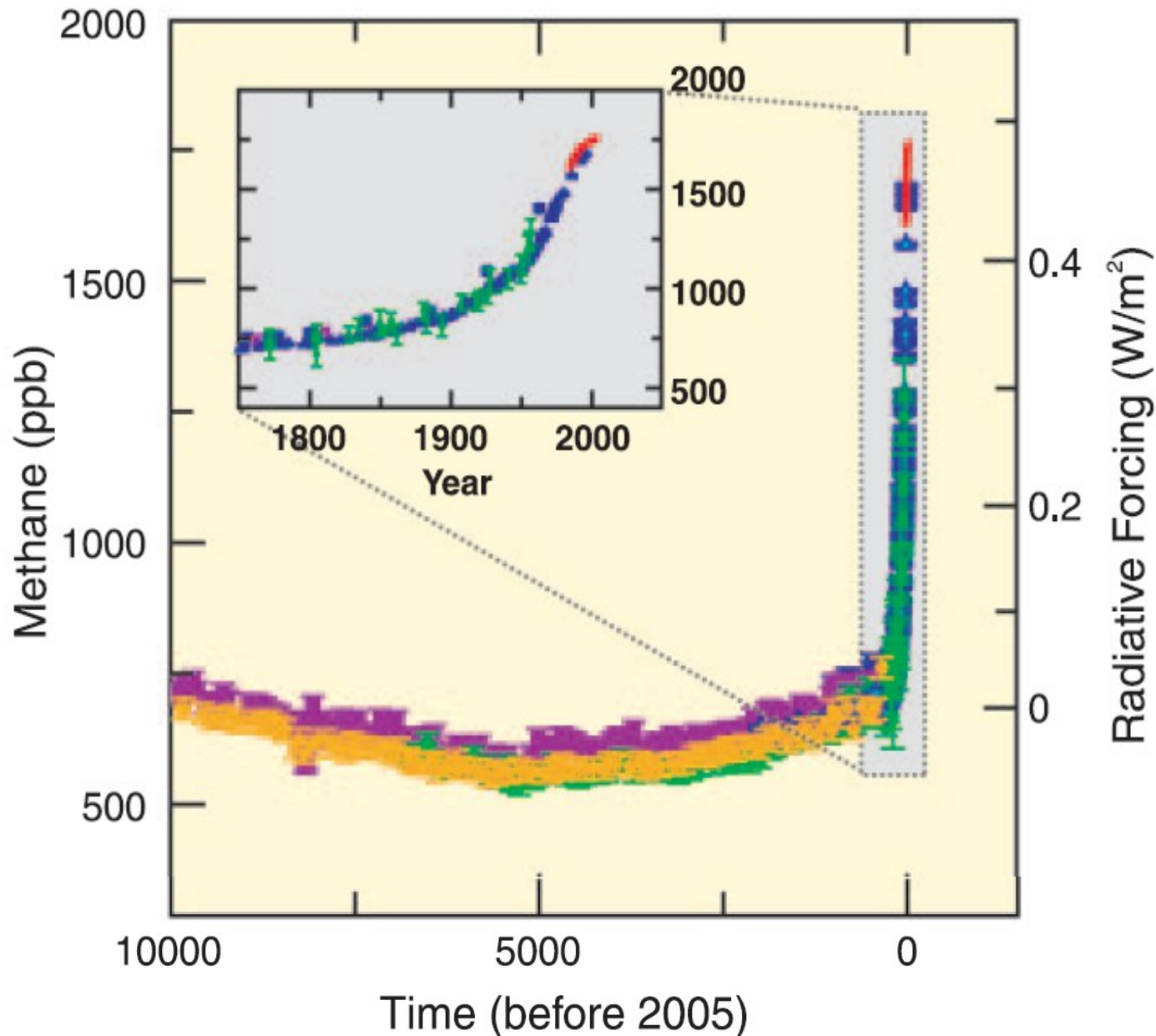
Colori diversi indicano risultati tratti da diverse ricerche.

In rosso sono riportate misure dirette, negli altri colori sono presentate stime dedotte da carote di ghiacci permanenti.

La forzante radiativa e relativa ai valori del 1750.

Figura tratta da: IPCC's Fourth Assessment Report (AR4) 2007

## Serie temporale delle concentrazioni di metano ( $\text{CH}_4$ ) negli ultimi $10^4$ anni



Dall'anno 1750 in poi la serie viene presentata ingrandita.

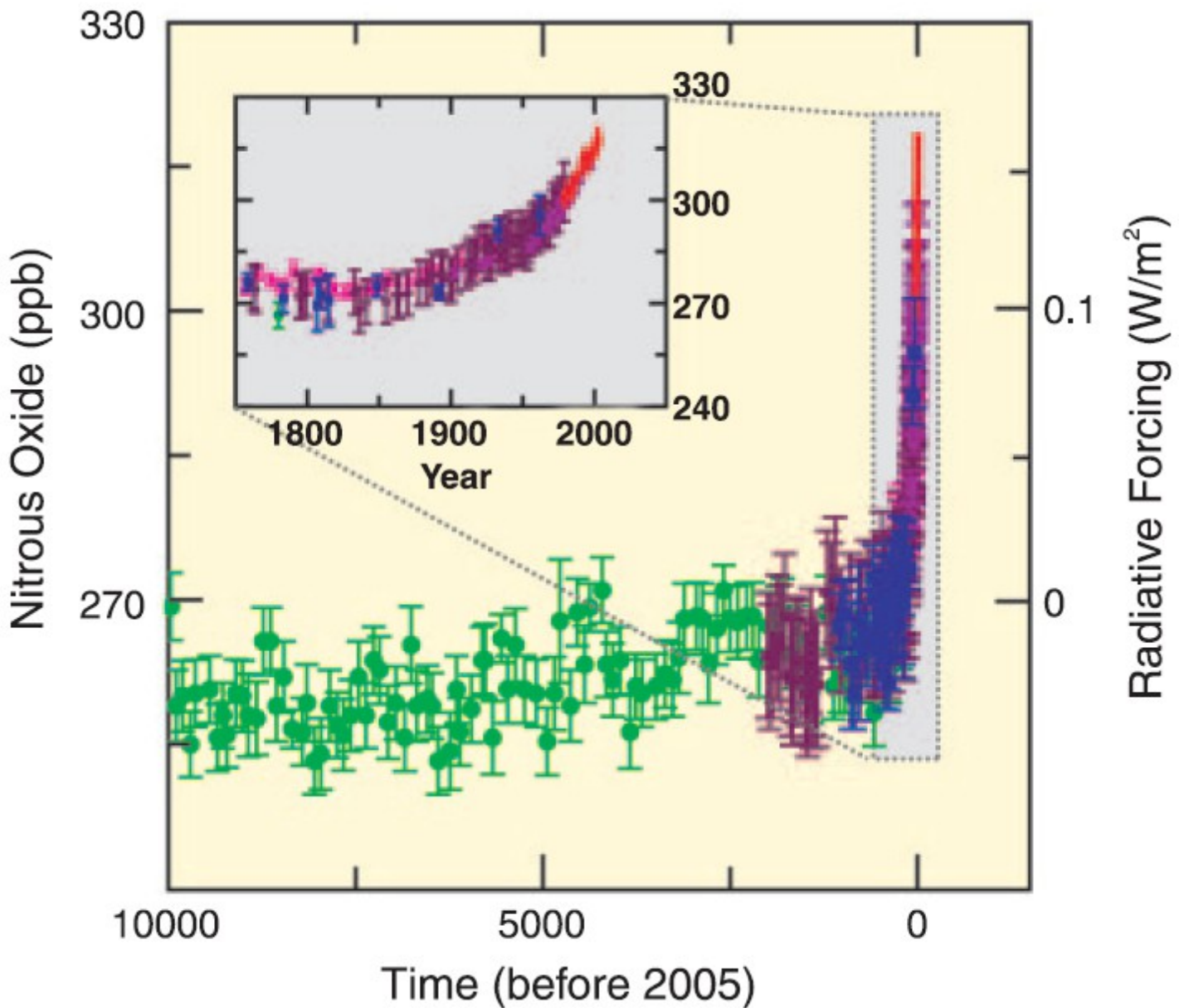
Colori diversi indicano risultati tratti da diverse ricerche.

In rosso sono riportate misure dirette, negli altri colori sono presentate stime dedotte da carote di ghiacci permanenti.

La forzante radiativa è relativa ai valori del 1750.

Figura tratta da: IPCC's Fourth Assessment Report (AR4) 2007

## Serie temporale delle concentrazioni di $N_2O$ negli ultimi $10^4$ anni



Dall'anno 1750 in poi la serie viene presentata ingrandita.

Colori diversi indicano risultati tratti da diverse ricerche.

In rosso sono riportate misure dirette, negli altri colori sono presentate stime dedotte da carote di ghiacci permanenti.

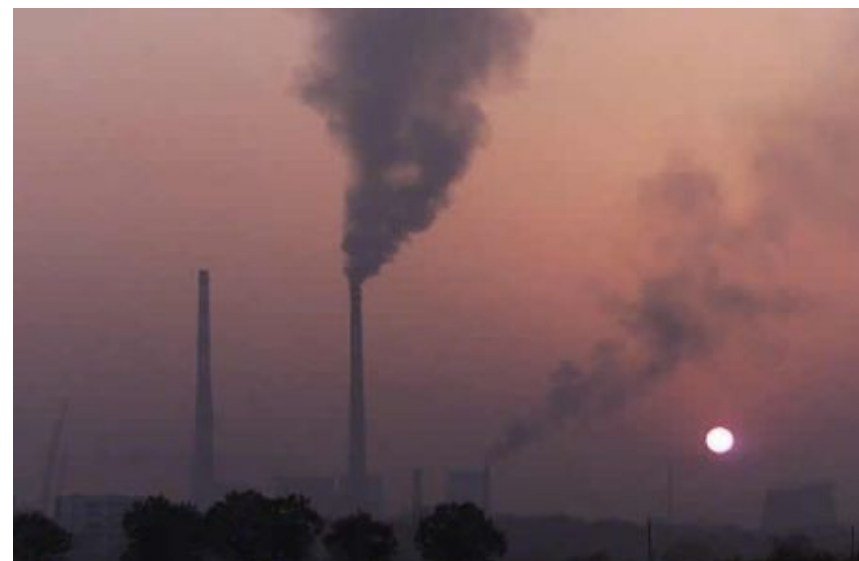
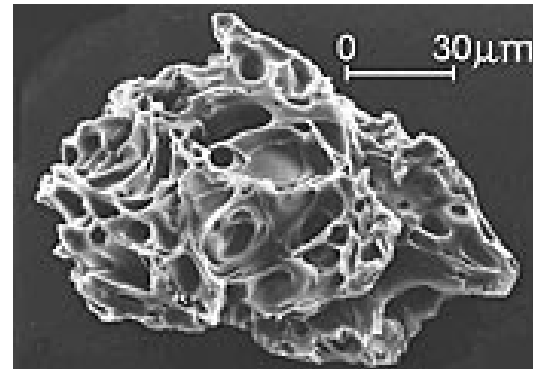
La forzante radiativa e relativa ai valori del 1750.

Figura tratta da: IPCC's Fourth Assessment Report (AR4) 2007

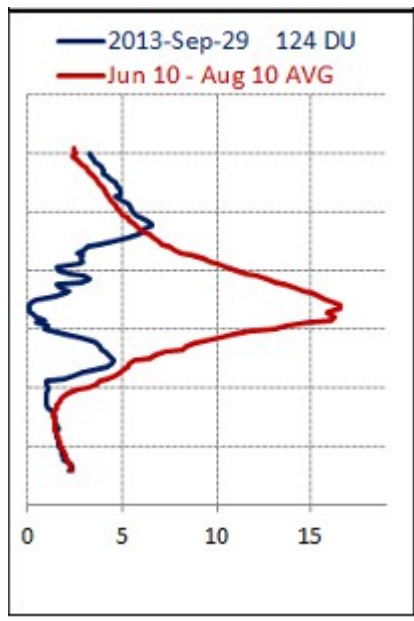
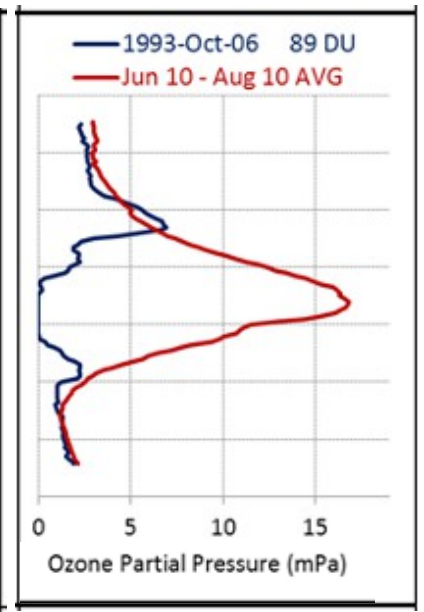
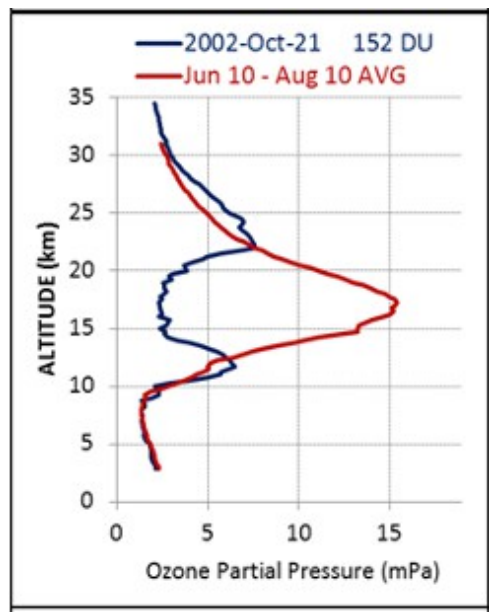
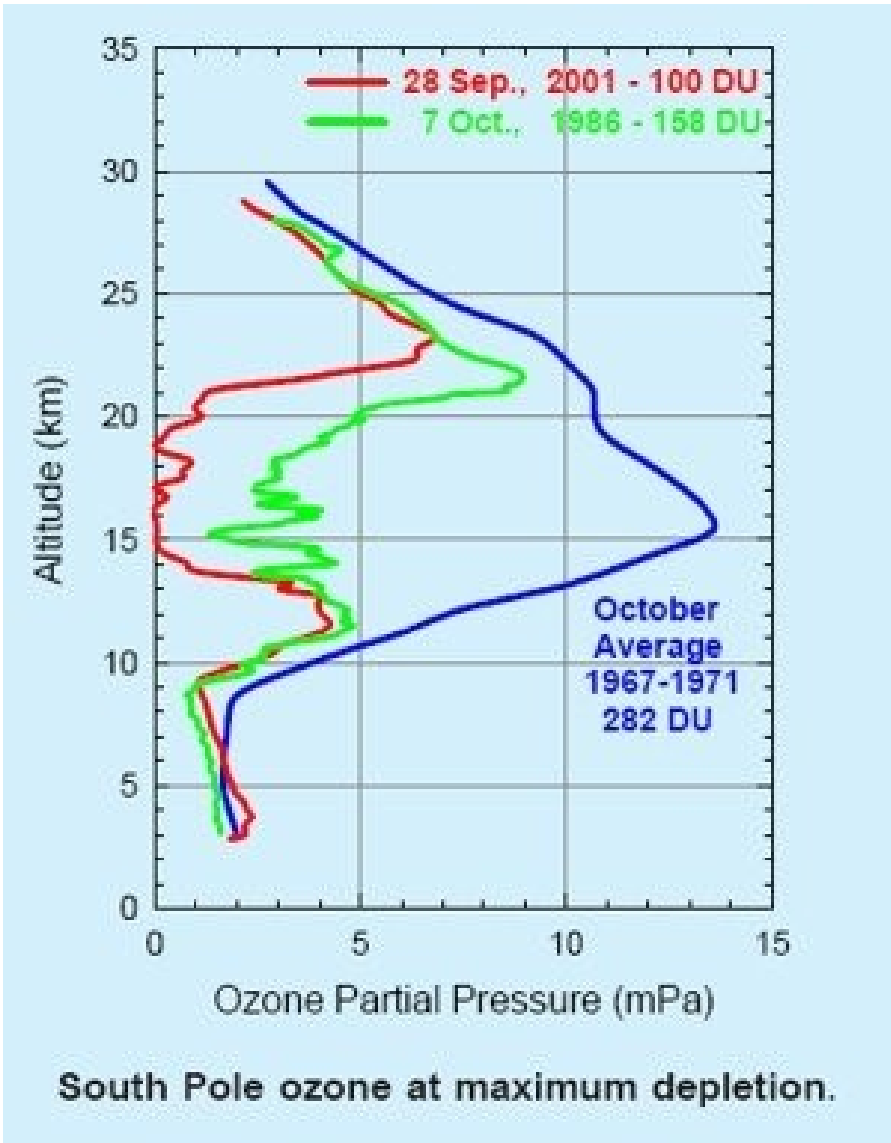


## Immissioni naturali ed immissioni antropiche

La composizione chimica dell'atmosfera cambia perché in essa vengono **immessi** gas, vapori e particelle materiali sia per cause naturali e per il contributo di **emissioni** di origine antropica.



# Le variazioni stagionali dell'Ozono stratosferico sull'Antartide



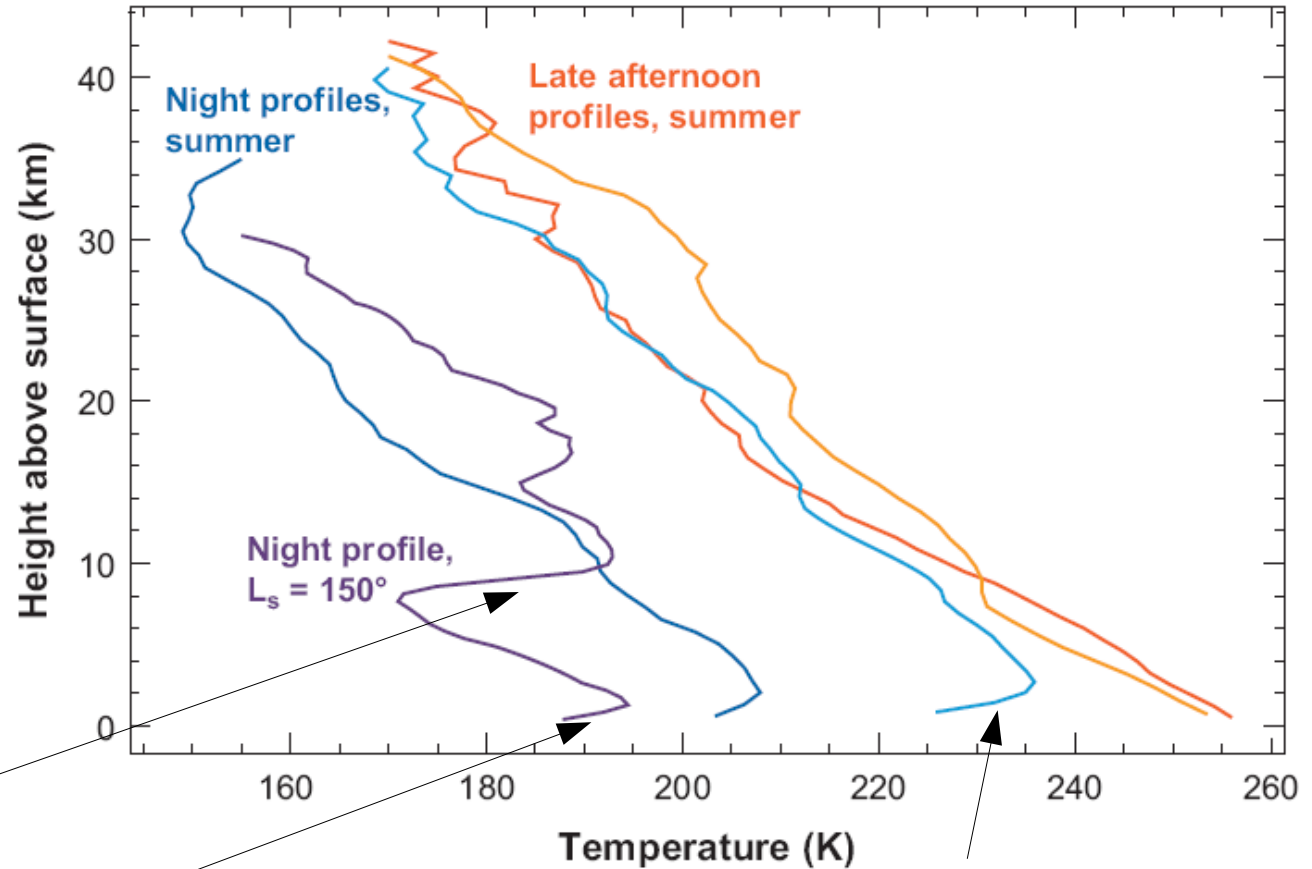
1 Dobson Unit would contain about  $2.69 \times 10^{16}$  ozone molecules for every square centimeter of area at the base of the column.

Figure tratta da: NOAA Earth System Research Laboratory

## Esempi di profili termici dell'atmosfera del pianeta Marte

**Figure 3**

Temperature profiles as a function of height as derived from MGS radio occultation data. Late-afternoon temperatures are shown from southern mid-latitudes during summer. Nighttime temperatures are also shown from mid-latitudes during summer. A nighttime profile is shown with large waves taken near the Tharsis volcanoes at  $L_s = 150^\circ$ .



Le quote alle quali il segno del gradiente verticale della temperatura cambia sono chiamate **inversioni termiche**. Per la Terra si tratta di strati in cui la temperatura sale con la quota

Figura tratta da:

Spacecraft Observations of the Martian Atmosphere by Michael D. Smith, Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 2008. 36:191–219

## Temperatura atmosferica e quota

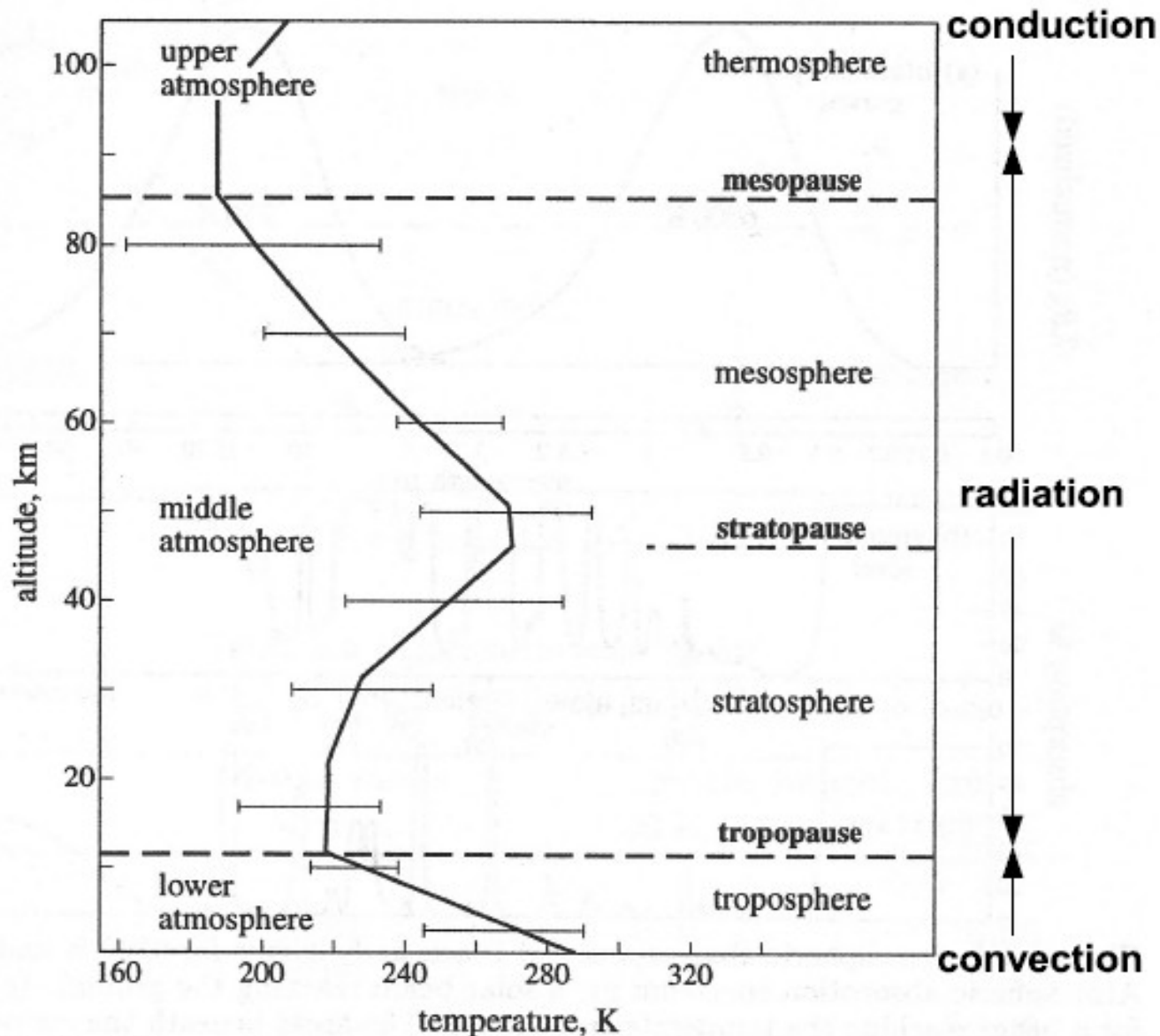
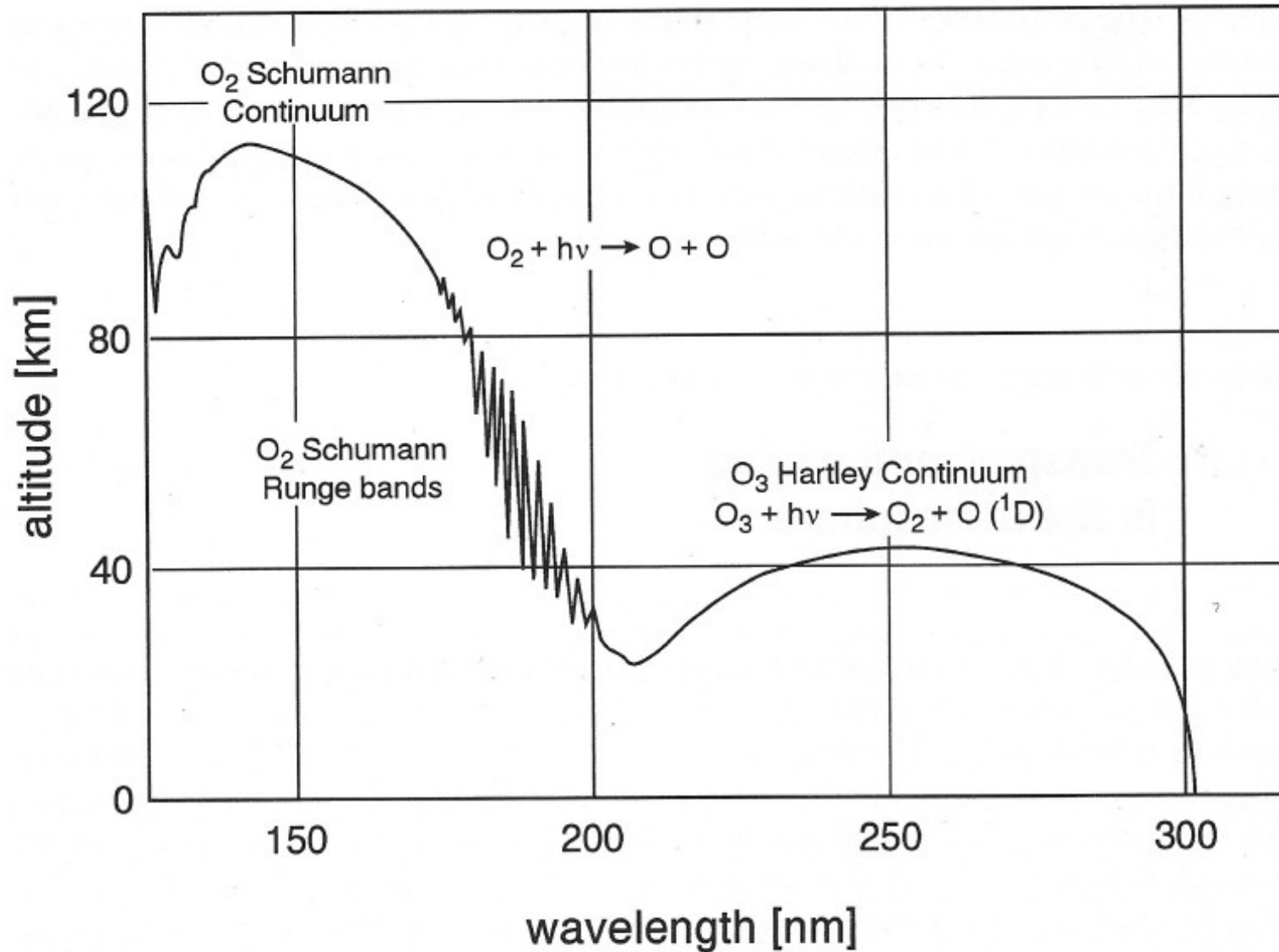


Figura tratta da:  
Goody, R. 1995  
Principles of Atmospheric  
Physics and Chemistry.  
Oxford University Press.

**Figure 1.2** Vertical temperature structure of the atmosphere. The solid curve represents the U.S. Standard Atmosphere, see Appendix B. The horizontal bars show the range of monthly mean temperatures in the Northern Hemisphere.



## Penetrazione della radiazione ultravioletta nell'atmosfera terrestre

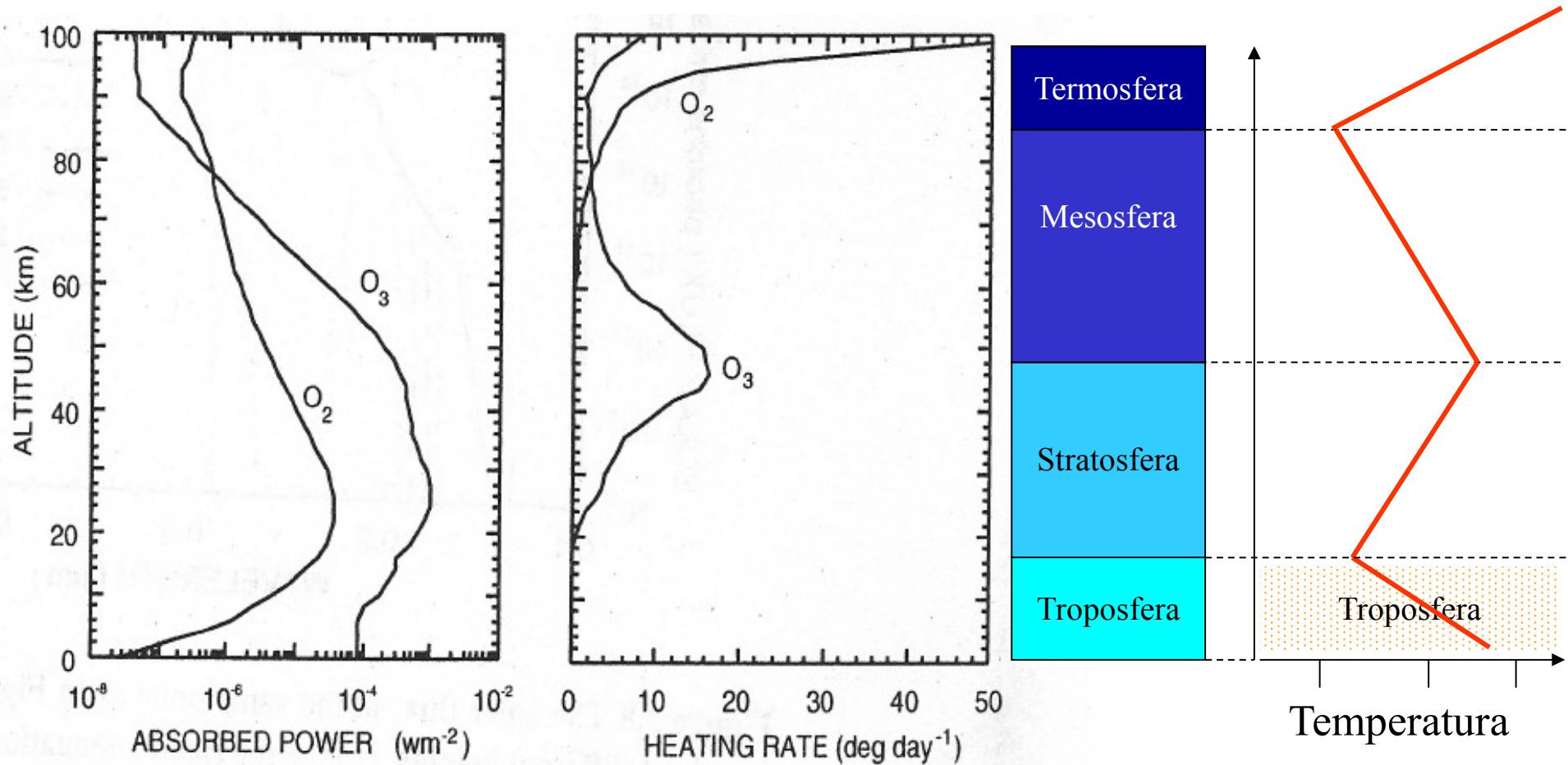


Quota alla quale la radiazione proveniente dallo spazio (Sole) si riduce ad 1/10 dell'intensità originale.

Figura tratta da:  
Zellner, R. 1999  
Global Aspects of  
Atmospheric Chemistry,  
vol. 6 -  
Topics in Physical  
Chemistry.  
Springer.

**Fig. 1.2.** Penetration of solar ultraviolet radiation into the atmosphere as a function of wavelength and absorption by oxygen and ozone. The curve indicates the altitude at which incoming radiation is attenuated to about one-tenth of its initial intensity.

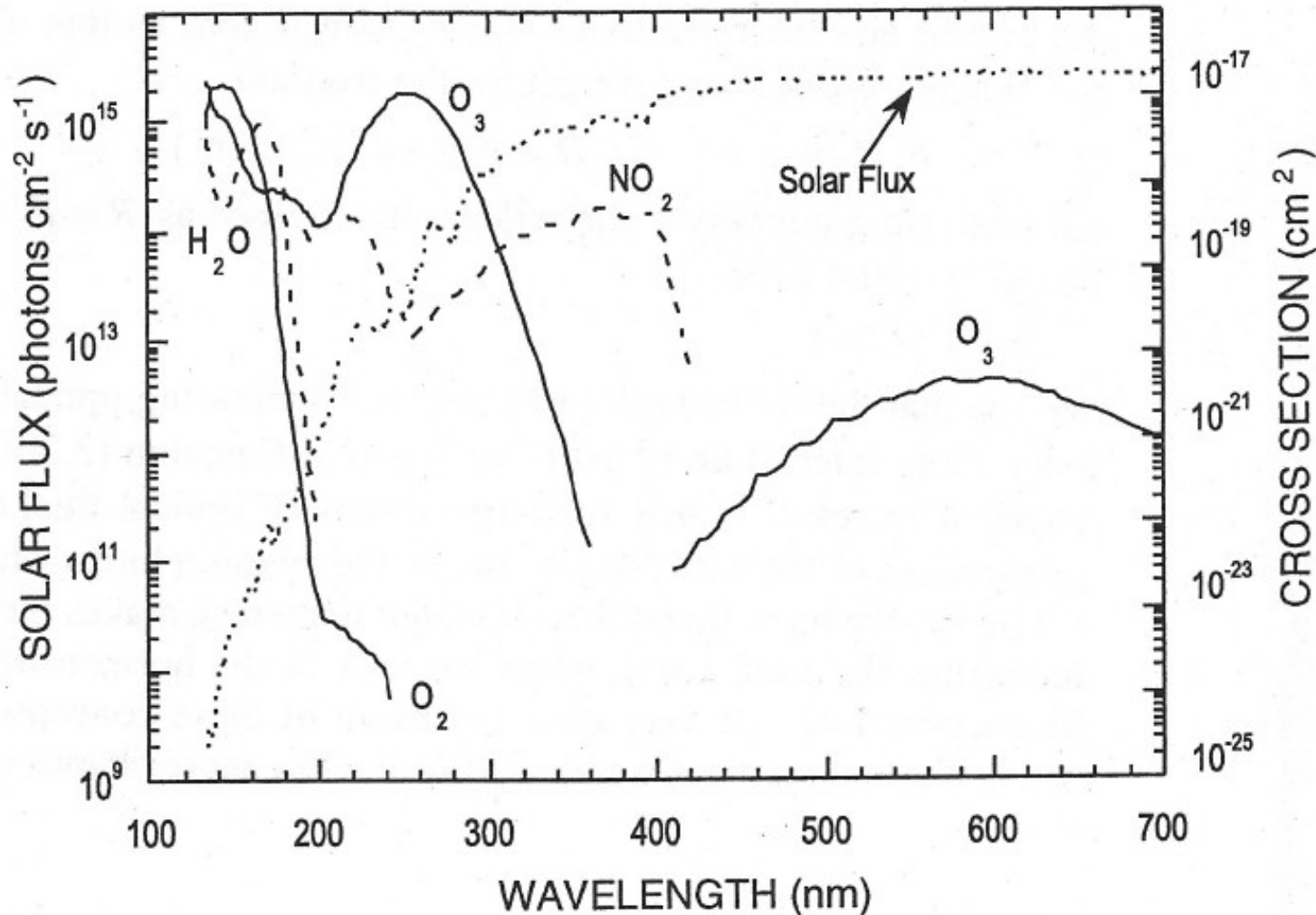
## I gas responsabili delle principali inversioni termiche nell'atmosfera terrestre.



**Figure 3.9** The absorbed power per unit volume (*left*) and the heating rate (*right*) as a function of altitude. The increasing specific heat as the height decreases makes oxygen mainly responsible for heating in the thermosphere and ozone responsible in the stratosphere

Figura presa da  
Visconti, G. 2001  
Fundamentals of Physics  
and Chemistry of the  
Atmosphere. Springer-  
Verlag  
Berlin.

## La radiazione solare e l'assorbimento dei gas atmosferici



**Figure 3.7** The flux of solar radiation in units of photons  $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$  for an interval of 5 nm, and the absorption cross section in  $\text{cm}^2$  for a few gases in the atmosphere of the Earth

Figura tratta da  
Visconti, G. 2001  
Fundamentals of Physics  
and Chemistry of the  
Atmosphere. Springer-  
Verlag Berlin.

## Flusso energetico specifico in funzione della quota

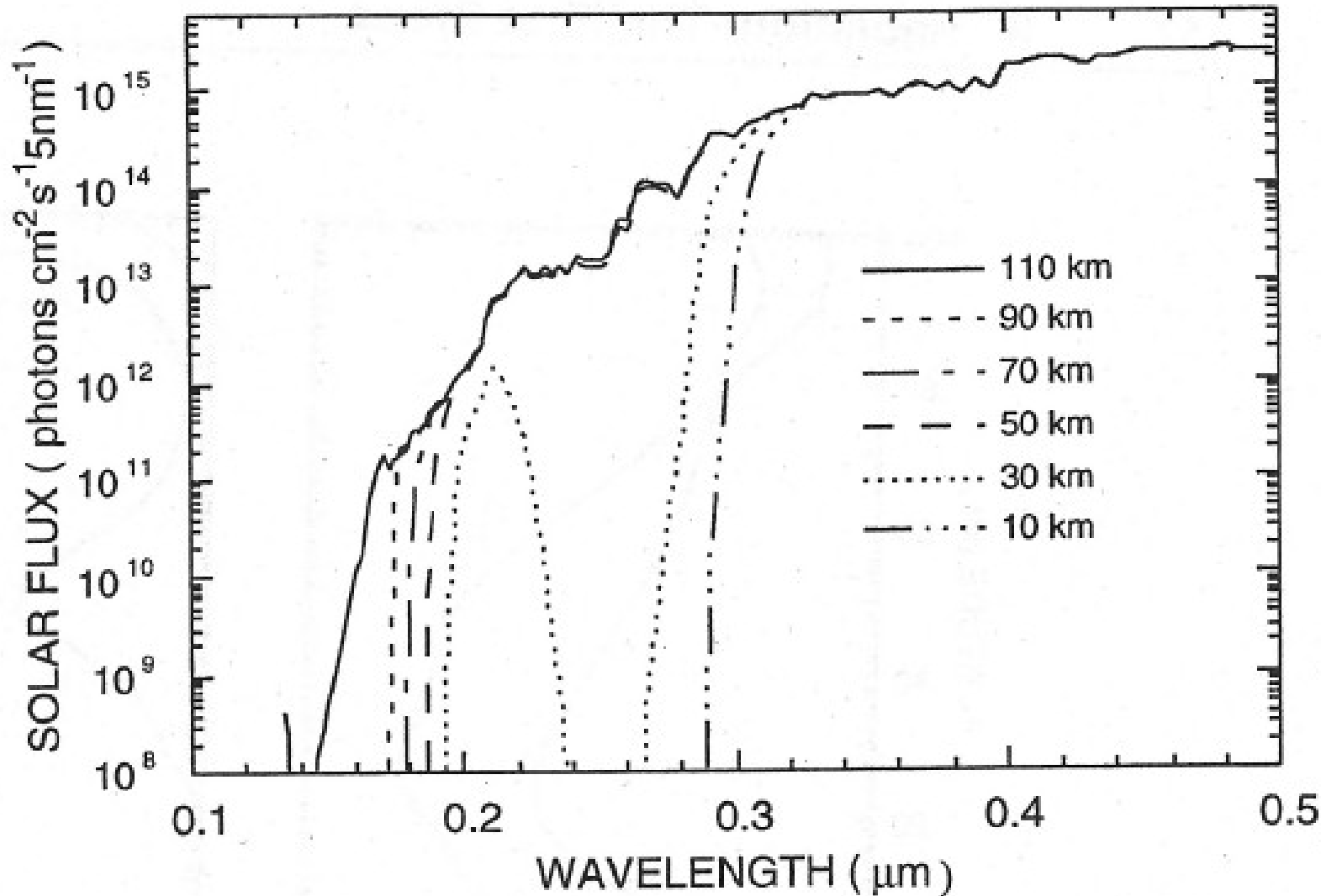
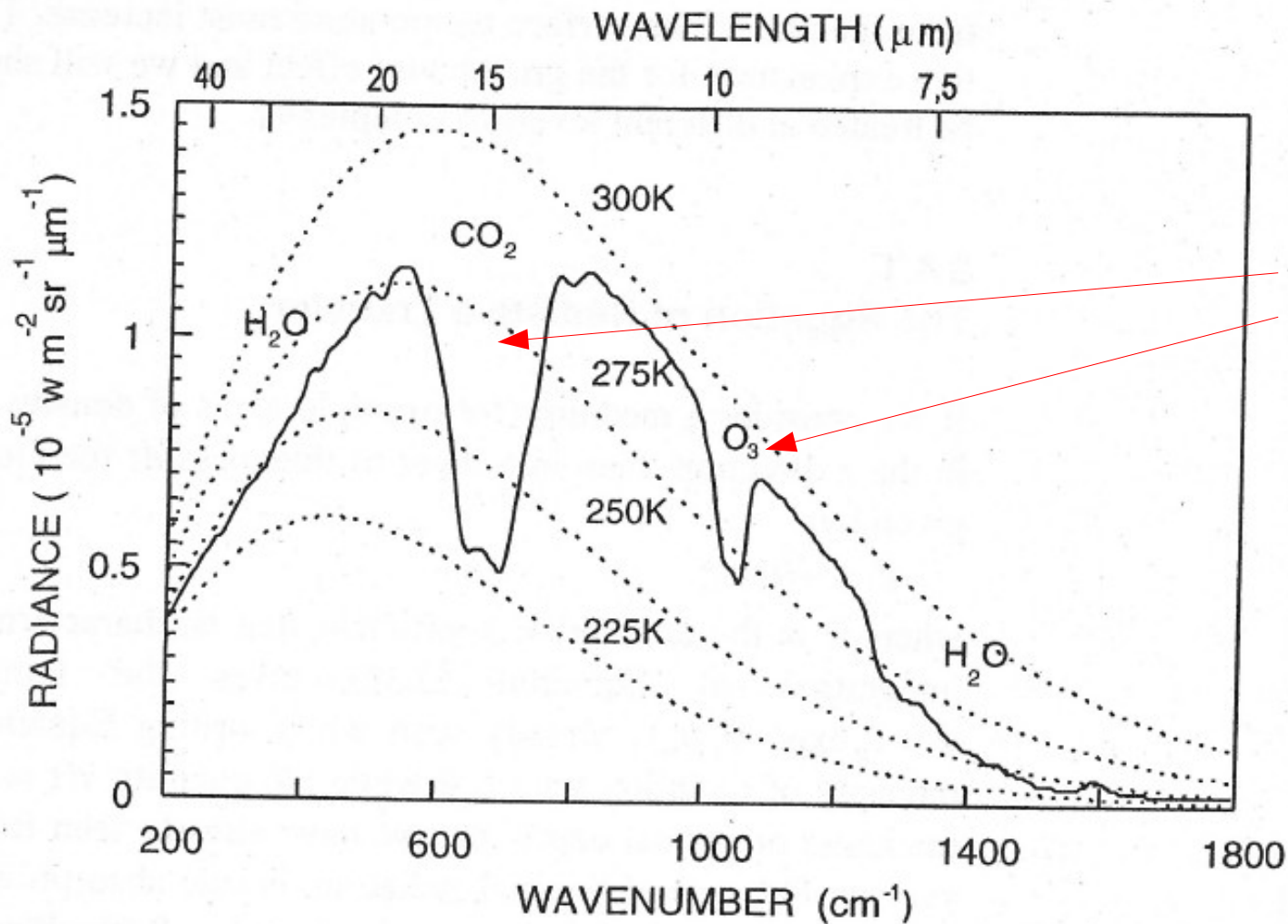


Figura tratta da  
Visconti, G. 2001  
Fundamentals of Physics  
and Chemistry of the  
Atmosphere. Springer-  
Verlag Berlin.

## Lo spettro emissivo della Terra e assorbimento dell'atmosfera



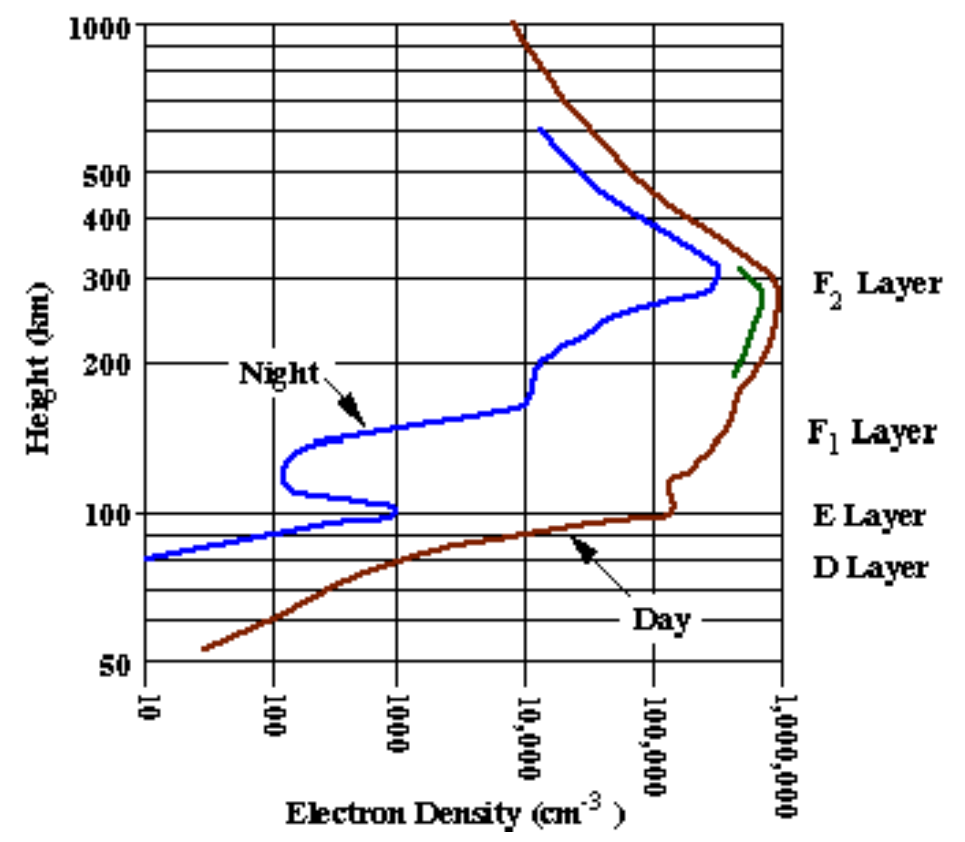
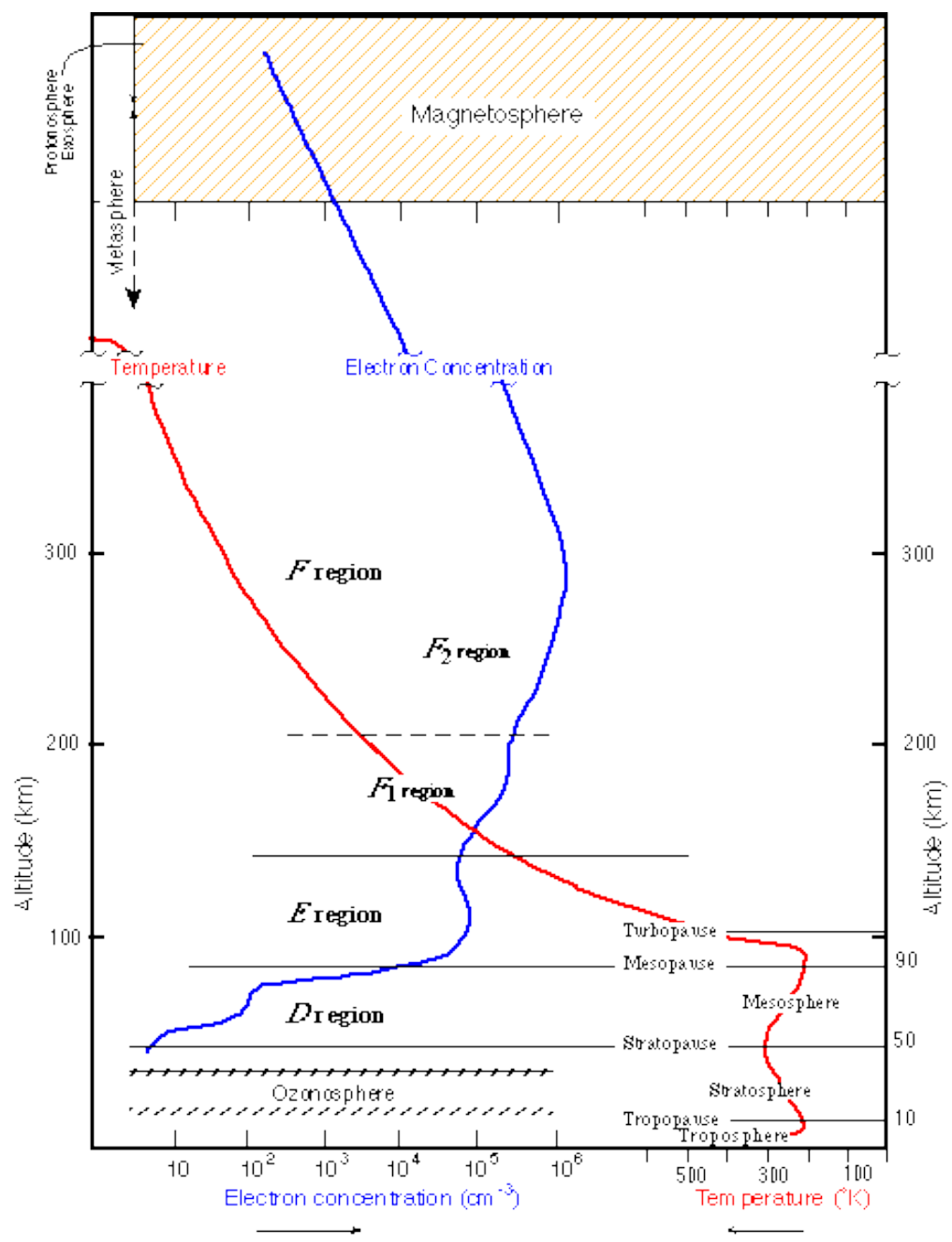
Assorbimento da parte dei gas e dei vapori presenti nell'atmosfera terrestre

**Figure 3.10** The function  $\lambda B_\lambda$ , measured for the Earth (*solid line*) and calculated for a black body at different temperatures (*dotted lines*). The gases responsible for the main absorption features are indicated

Figura tratta da Visconti, G. 2001 Fundamentals of Physics and Chemistry of the Atmosphere. Springer-Verlag Berlin.



# Cariche elettriche libere nell'atmosfera terrestre: la ionosfera



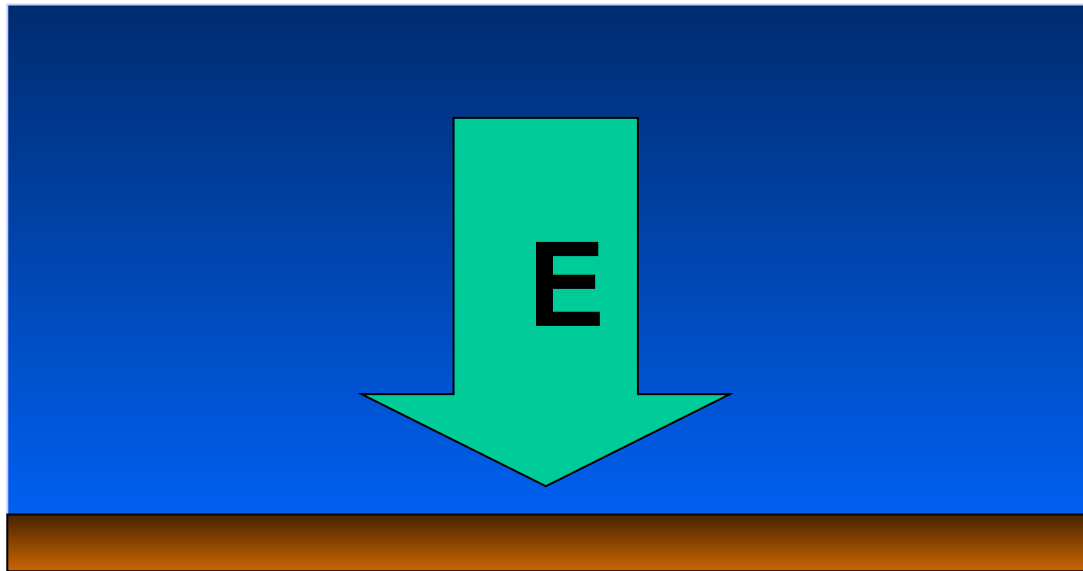
La concentrazione delle cariche libere (elettroni) varia con la quota, la latitudine, la longitudine e nel tempo. Ci sono variazioni diurne (giorno/notte), variazioni stagionali e variazioni decennali (ciclo solare).

## Il campo elettrico terrestre

Esiste un campo elettrico che al livello del suolo punta verso il basso e vale  
 $\sim 120 \text{ Vm}^{-1}$

Beccaria, Franklin, Lemonnier, Richman (XVIII secolo)

Non esiste un modello universalmente accettato che ne spieghi l'esistenza

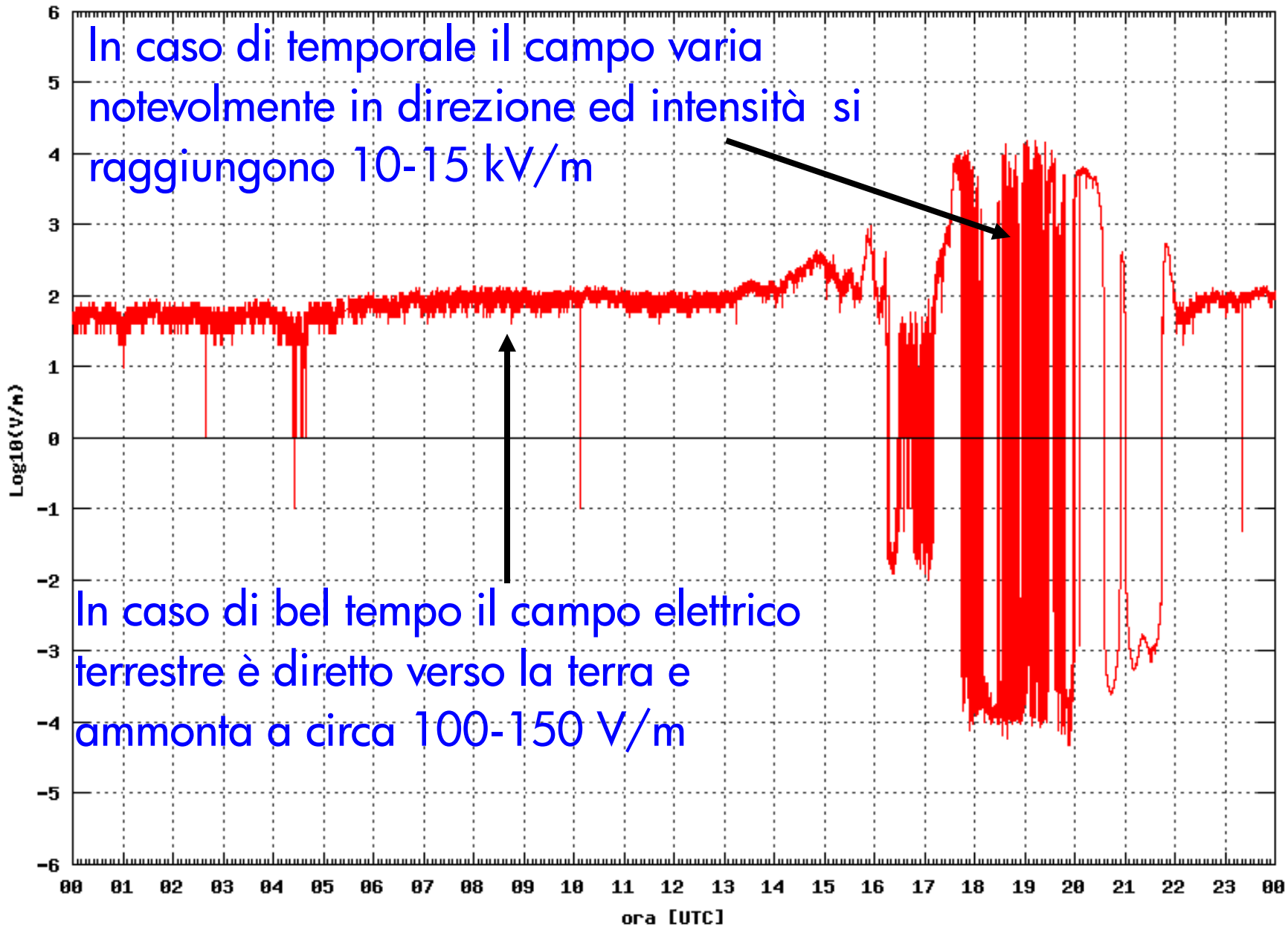


In condizioni di tempo buono il campo punta verso il basso ed è stato misurato in moltissimi luoghi sulla superficie del nostro pianeta



## Variazioni del campo elettrico terrestre nei pressi della superficie della Terra

Campo Elettrico Terrestre: Ziracco lat 46.060N lon 13.312E 17/07/2003



## Cause della variazione del campo elettrico terrestre

- Il campo elettrico terrestre ha intensità variabile nel tempo
- Il campo elettrico terrestre è funzione di:
  - a) meccanismi di separazione delle cariche
  - b) conducibilità dell'aria
- a) e b) e dipendono da cause:

### Naturali

radiazione solare  
temporali  
eruzioni vulcaniche

.....

### Artificiali

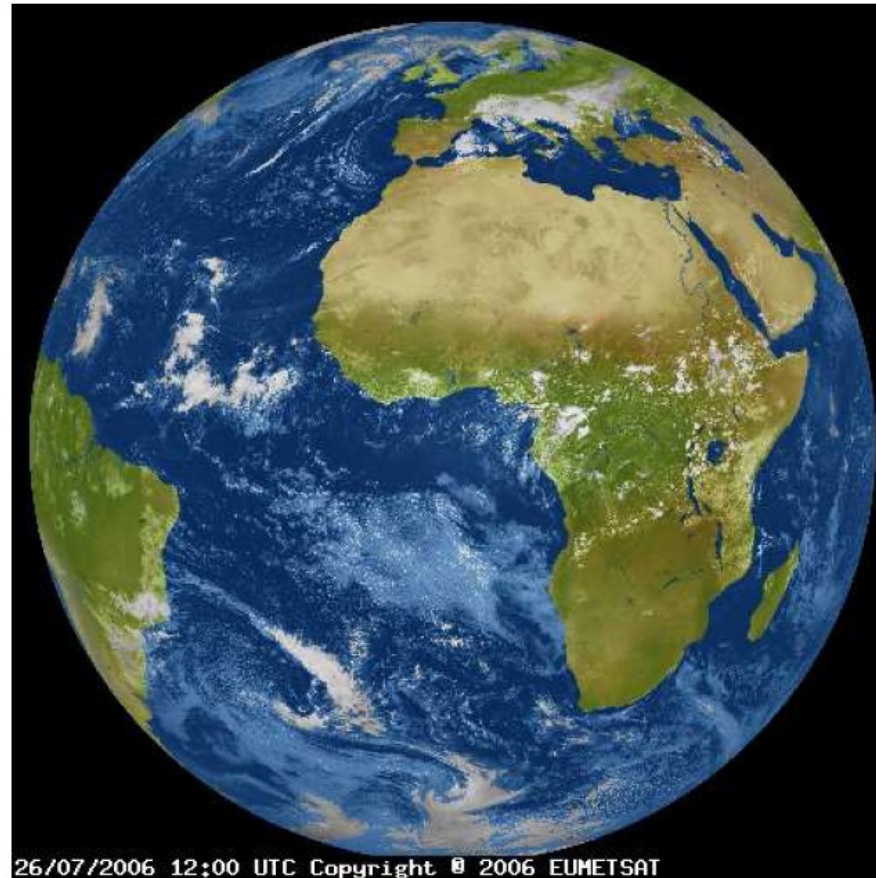
inquinamento chimico  
inquinamento particellare  
inquinamento radioattivo  
inquinamento elettromagnetico

.....

## Circolazione planetaria generale

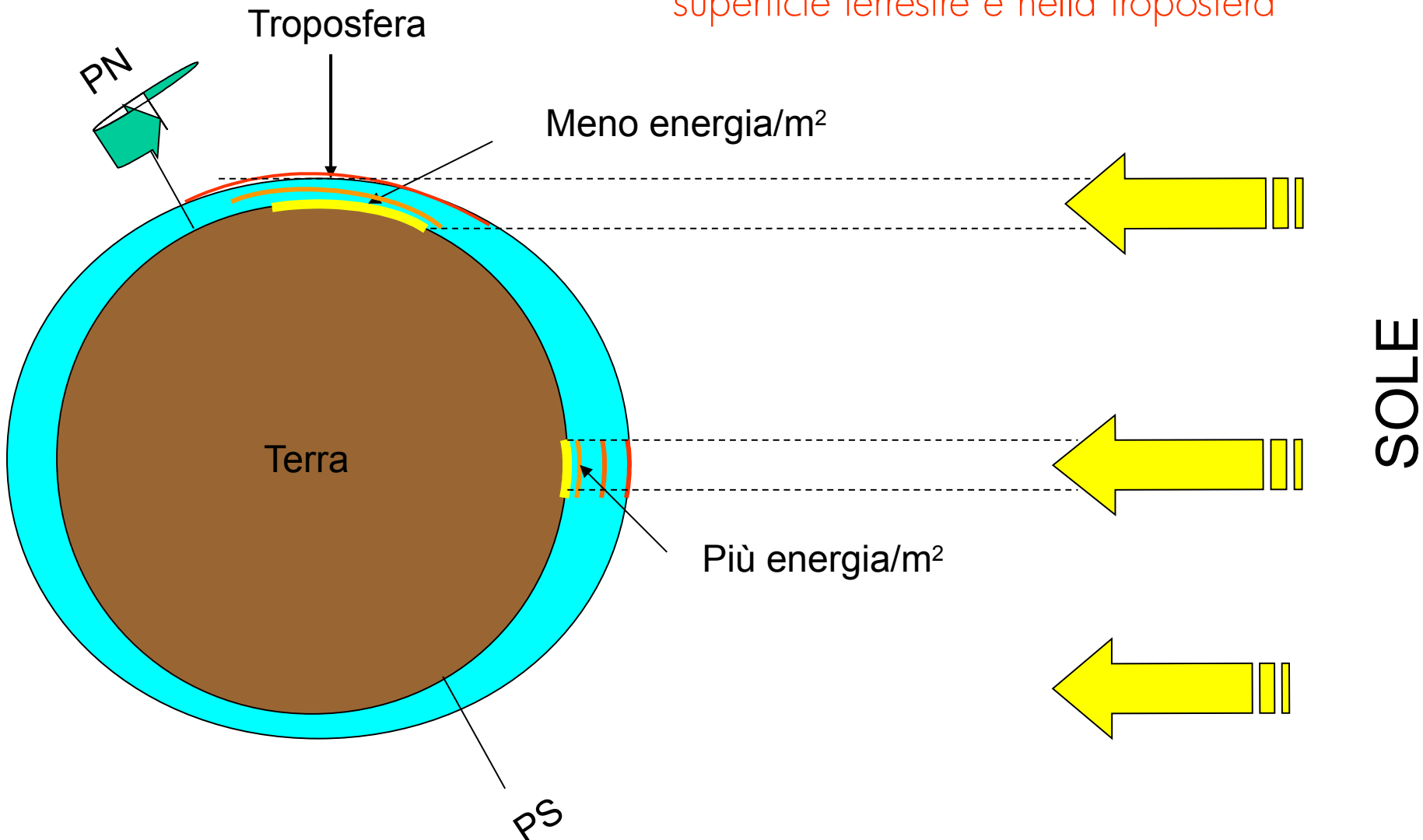
Per circolazione planetaria generale si intende il movimento medio, sulla scala di giorni o mesi delle masse d'aria, con particolare riguardo alla troposfera

Scopo della circolazione generale è quello di riequilibrare gli eccessi energetici dovuti alle differenze di irraggiamento solare presenti tra zone equatoriali e polari.



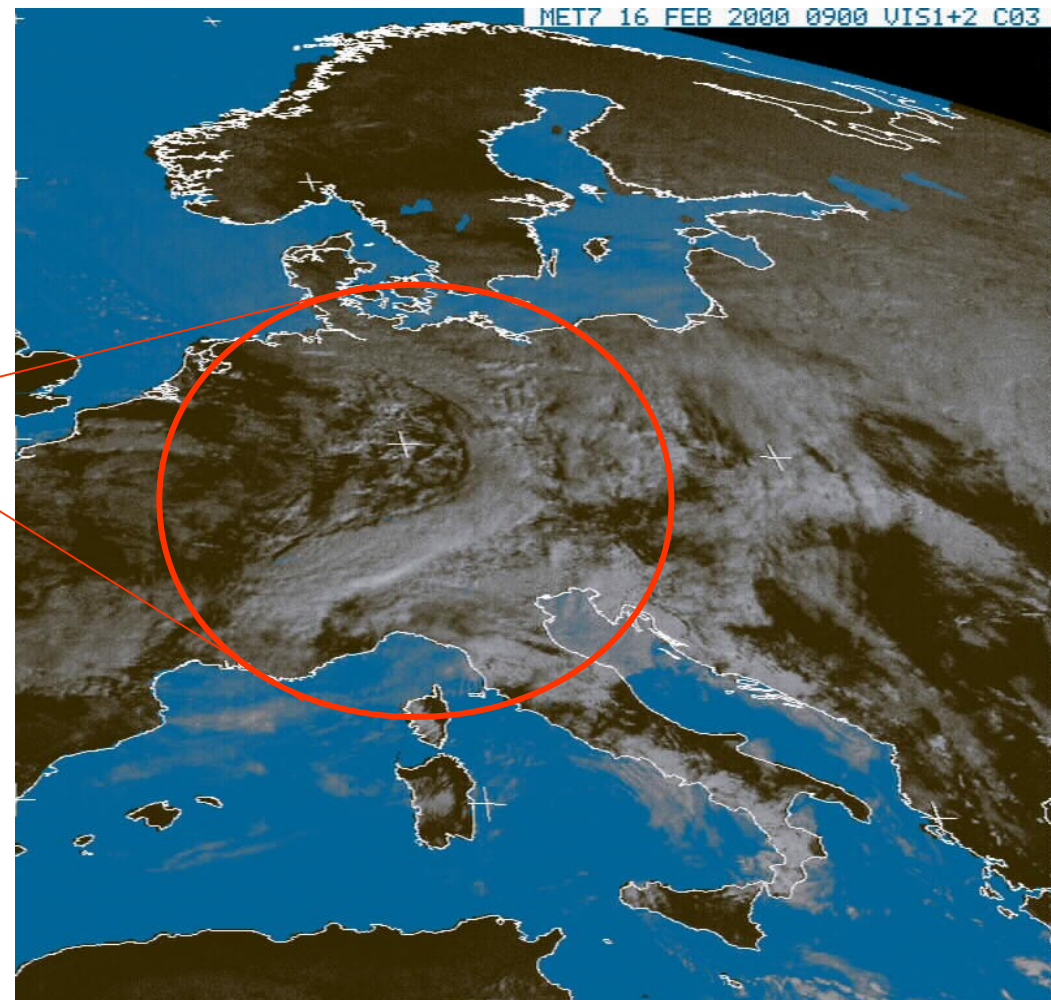
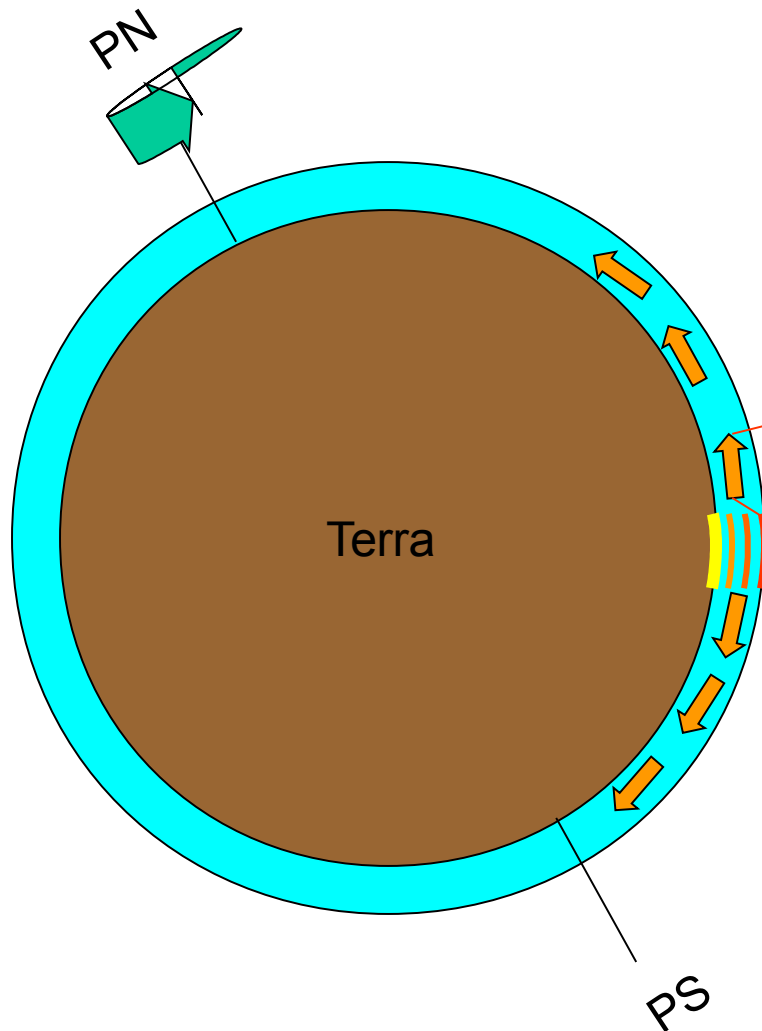
## La forzante dei moti atmosferici

A livello planetario l'energia proveniente dal sole viene ripartita in modo non omogeneo sulla superficie terrestre e nella troposfera



## La redistribuzione dell'energia nella troposfera su scala planeraria

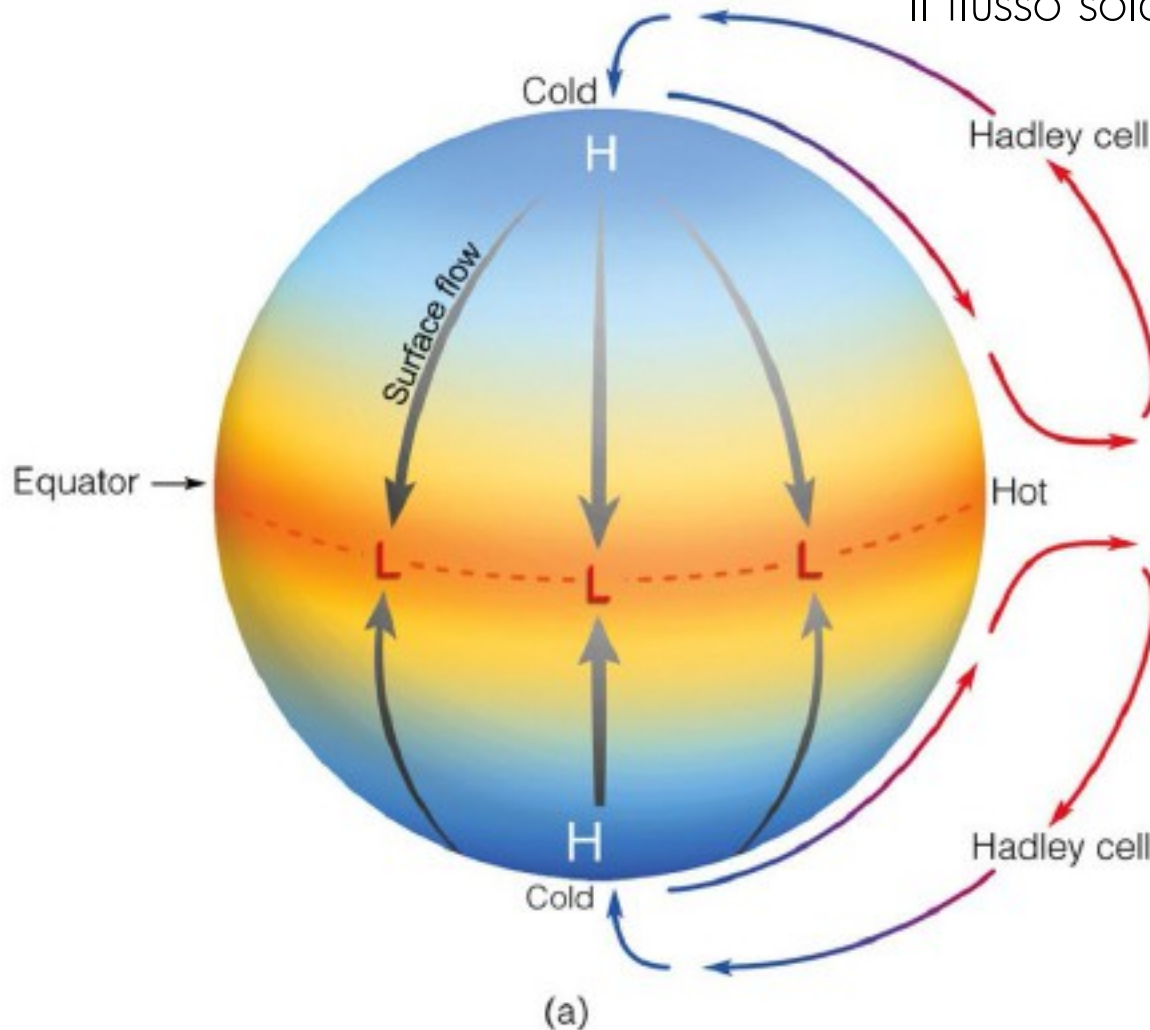
Le perturbazioni atmosferiche sono uno dei veicoli per il trasporto dell'energia dalle zone più calde a quelle più fredde





## Circolazione planetaria generale a singola cella (Hadley)

Il primo modello semplice è quello di George Hadley:  
 La Terra non ruota – solo gradienti di pressione  
 La superficie terrestre è piatta e liscia  
 Il flusso solare è sempre allo zenit sull'equatore



L'aria all'equatore si riscalda e diventa più leggera di quella delle medie e alte latitudini, quindi sale.

Giungendo in prossimità dei poli, l'aria in quota si è raffreddata, è più densa dell'aria sottostante, quindi scende.

Il tubo di flusso si chiude al suolo per continuità (conservazione della massa)

## Circolazione planetaria generale a tre celle

Il superamento del modello di Hadley si ottiene rimuovendo alcune semplificazioni

La Terra ruota attorno ad un asse – si manifestano forze apparenti (**Forza di Coriolis**)

La superficie terrestre è sferica (**andando verso i poli si riducono i volumi**)

- a  $30^\circ$  lat la densità dell'aria in quota è tale che scende verso il suolo e forma le **subtropical highs** (**zone desertiche**) al suolo le masse d'aria si muovono:

verso l'equatore (**trade winds**)

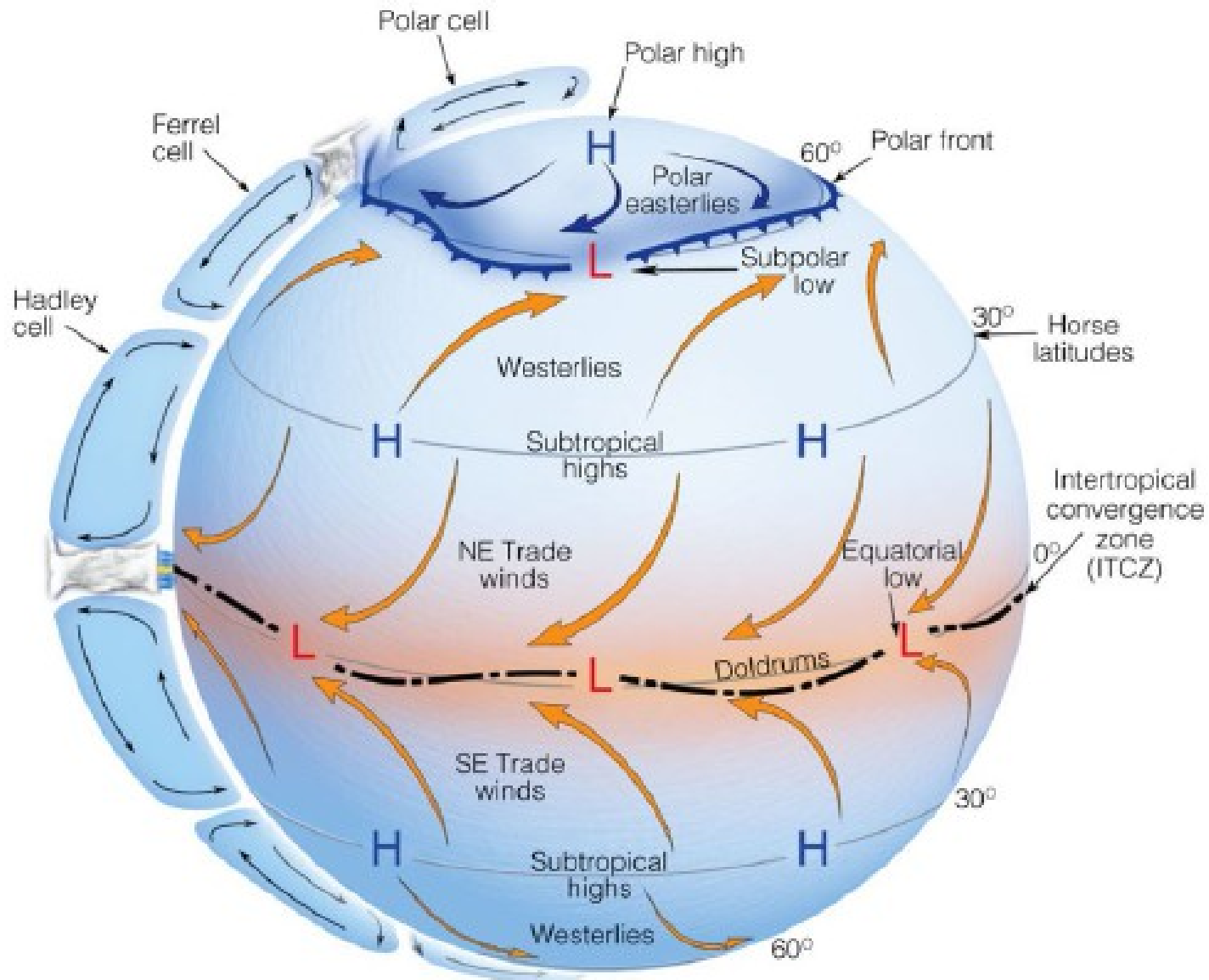
verso i poli (**westerlies**)

Dai poli verso l'equatore l'aria converge incontrando i westerlies alle medie latitudini

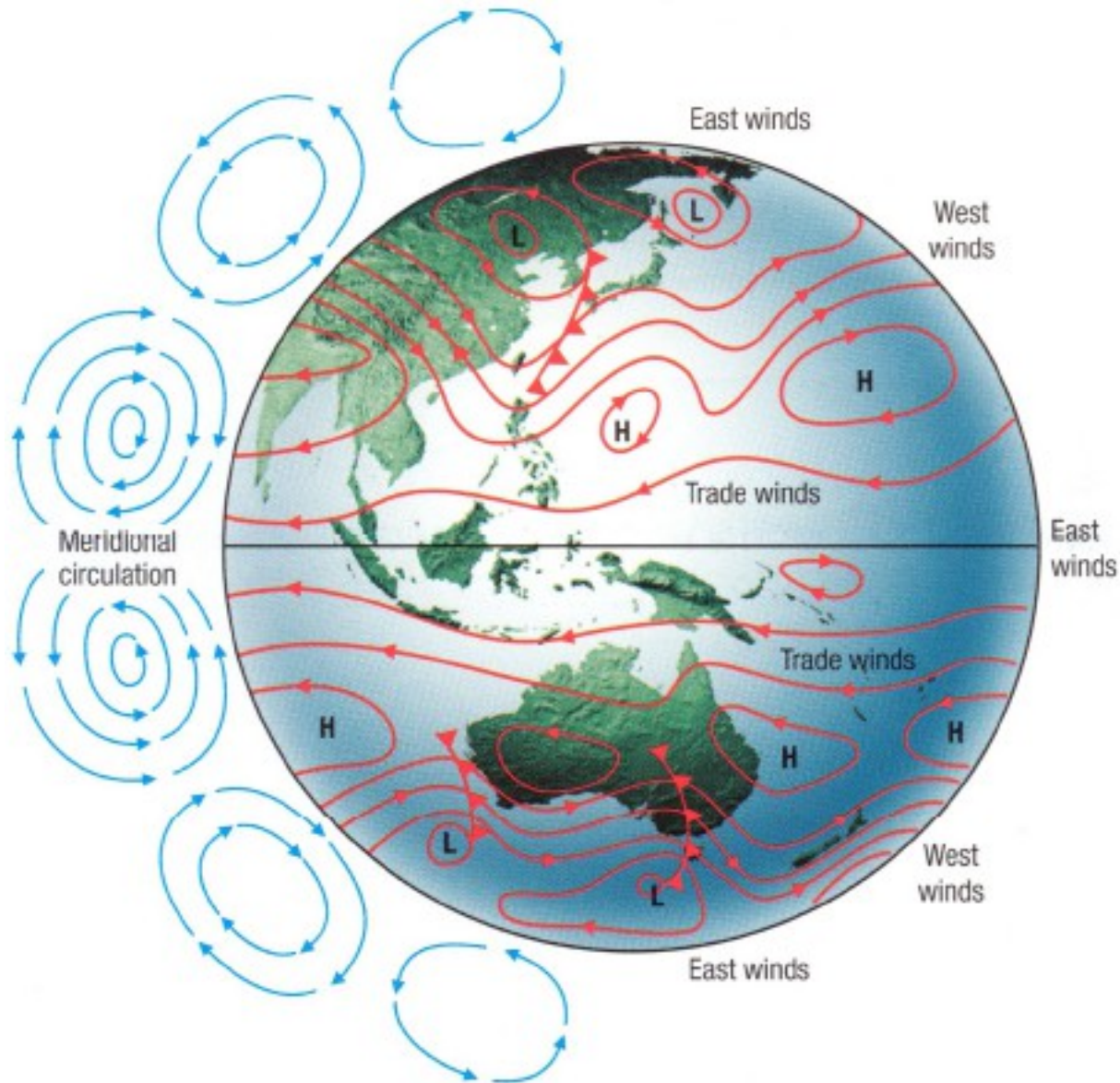
Il flusso solare è sempre allo zenit sull'equatore



## Circolazione planetaria generale a tre celle (schema I)



## Circolazione planetaria generale a tre celle (schema II)



## Definizione di fronte atmosferico

Come conseguenza della diversa distribuzione energetica, nella troposfera ci sono delle aree in cui sono presenti dei forti gradienti:

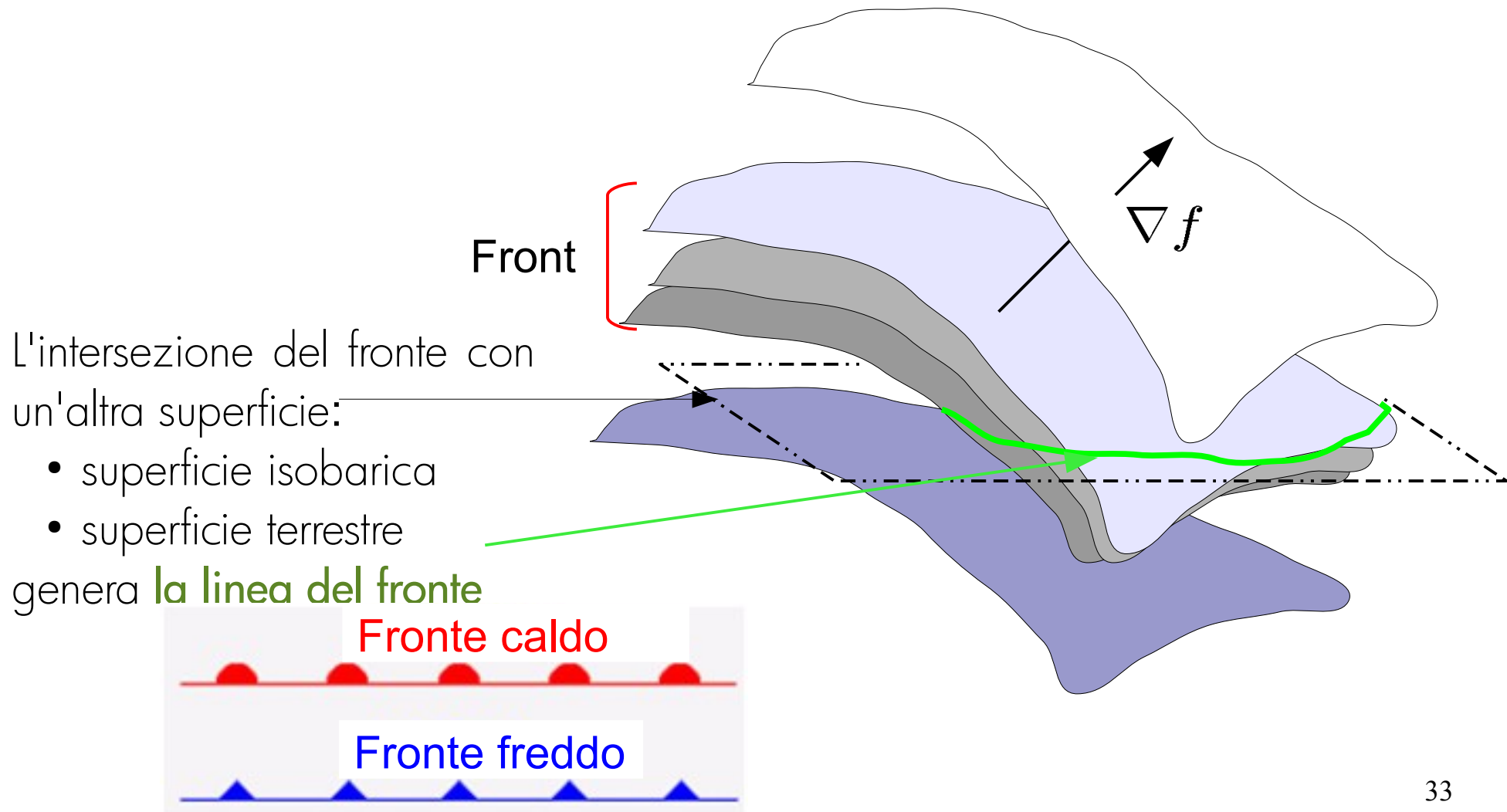
- Gradienti di temperatura
- Gradienti di pressione
- Gradienti di umidità

} gradienti di densità

Il concetto di gradiente si è sviluppato a partire dall'esperienza osservativa.

*“Un fronte atmosferico è una regione della troposfera in cui è presente un forte gradiente dei principali campi atmosferici”*

## Il fronte atmosferico dalla definizione 3D alla linea frontale



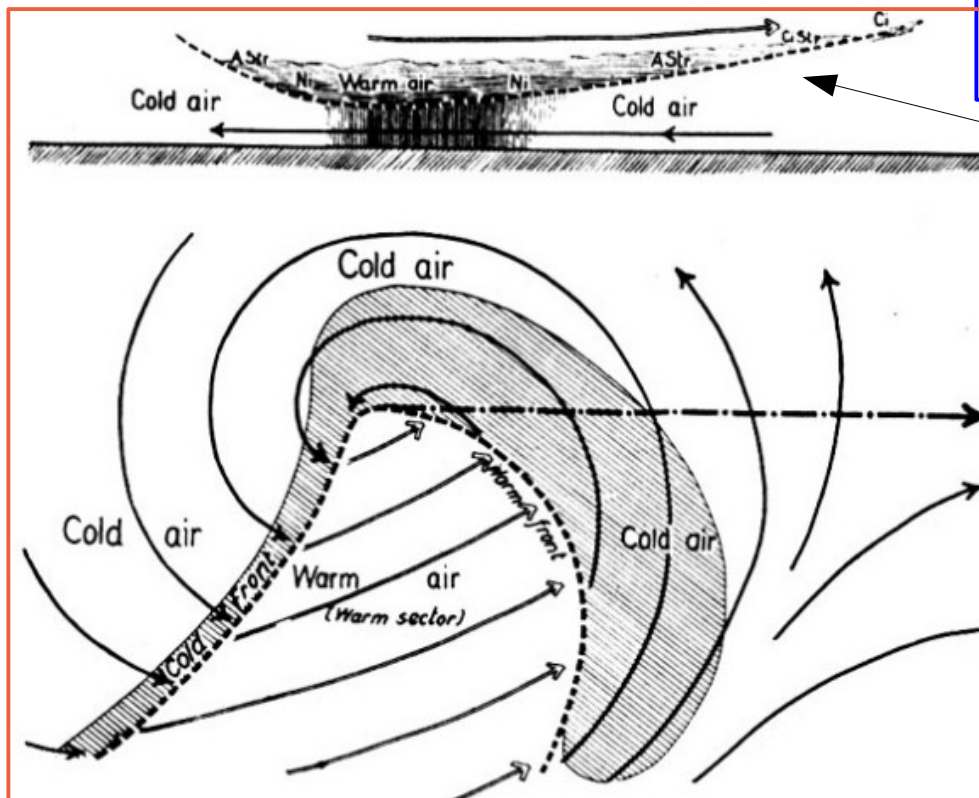
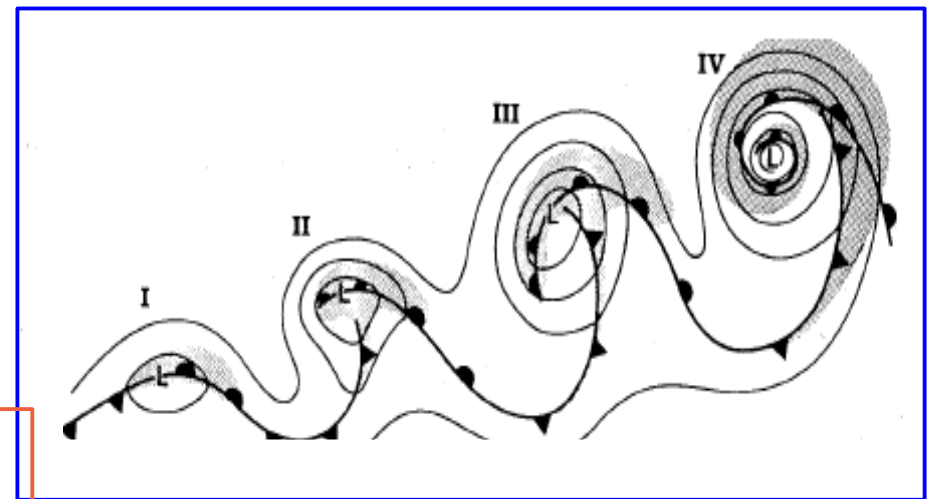




## Esempi di fronte atmosferico

*Un disturbo baroclinico si sviluppa in un ciclone extra-tropicale con fronte caldo e fronte freddo*

Evoluzione dei fronti in un ciclone extratropicale



Tipi di nubi

Settori caldo e freddo di un ciclone extratropicale



## Le principali strutture dinamiche presenti in atmosfera – visione in verticale

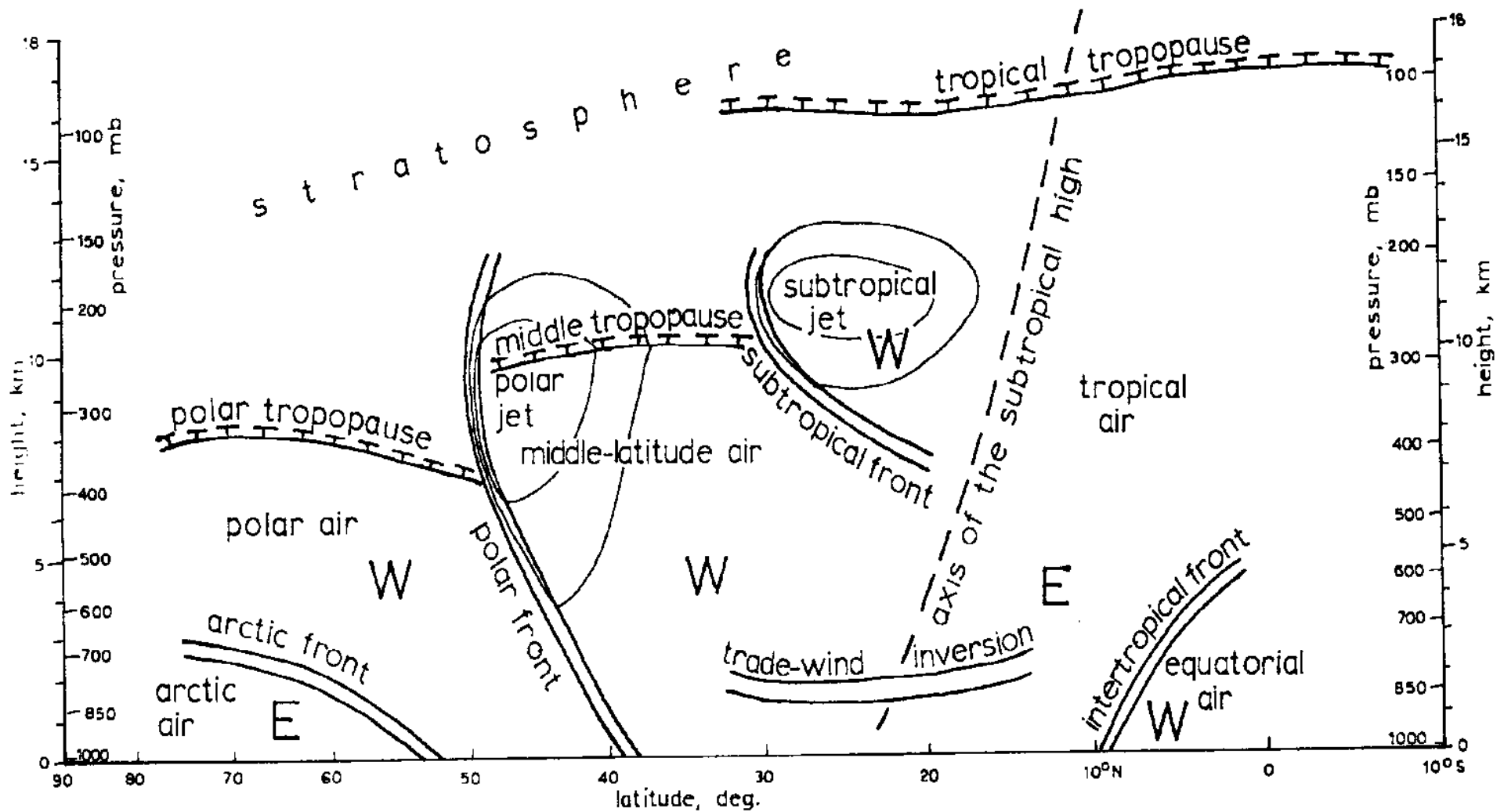


Figura tratta da Weather analysis, 1994, Djuric D., Englewood Cliffs, NJ Prentice-Hall, 304 pp.



## Le principali strutture dinamiche presenti in atmosfera – visione areale

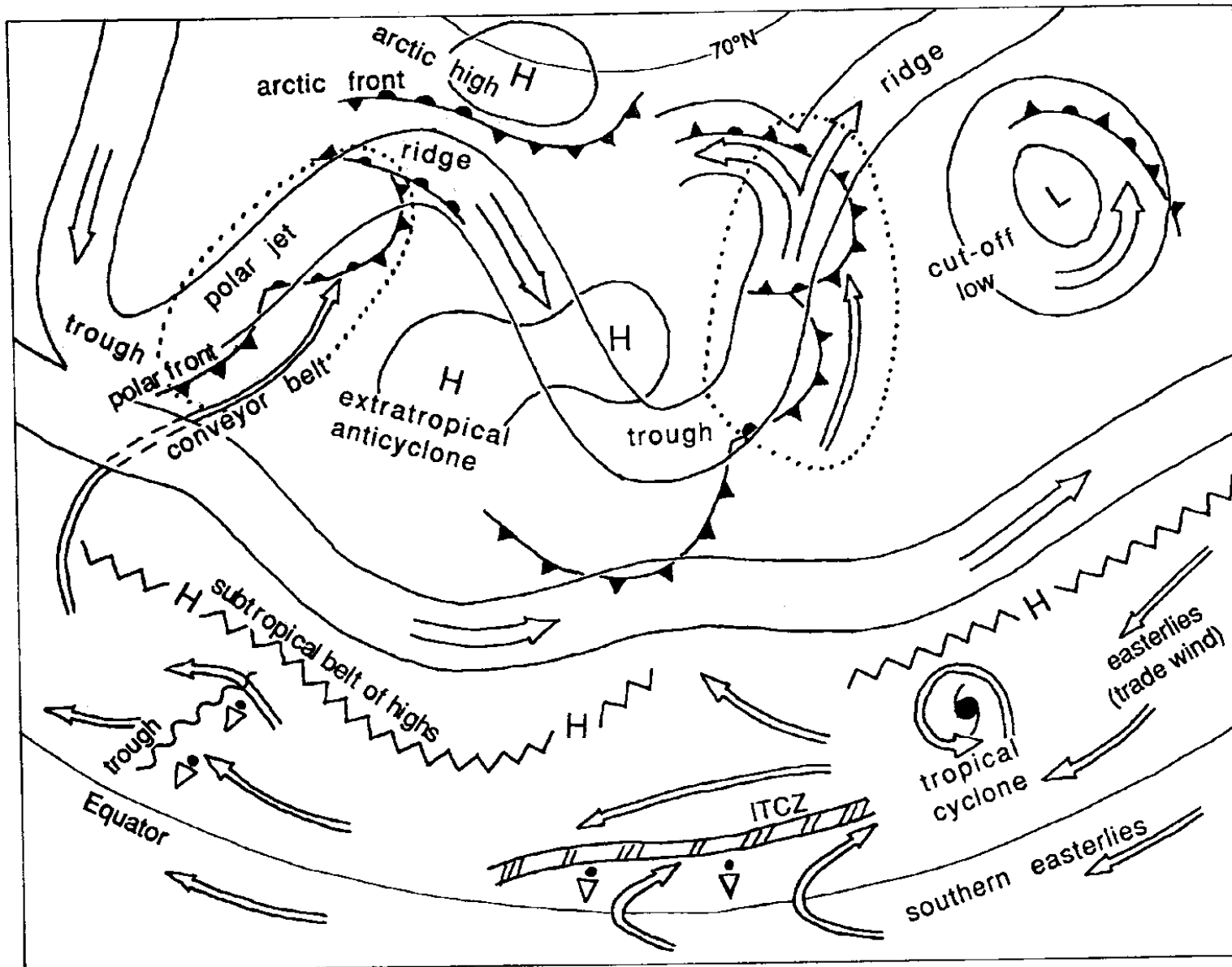
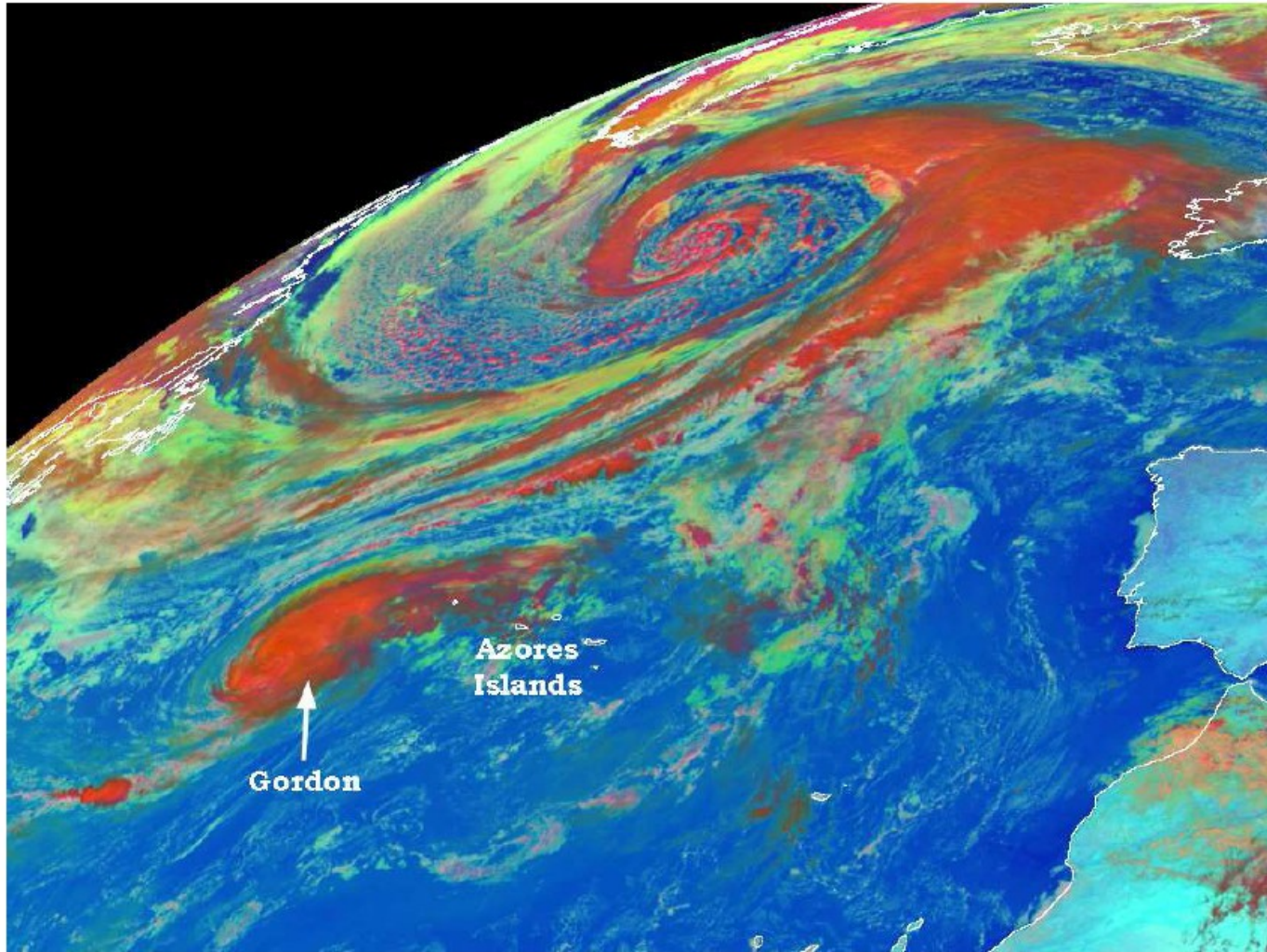


Figura tratta da Weather analysis, 1994, Djuric D., Englewood Cliffs, NJ Prentice-Hall, 304 pp.

## Strutture atmosferiche alla scala sinottica



Nella troposfera si manifestano vortici a diverse scale spaziali. Lo scopo ultimo di questi vortici è quello di trasportare quanto più efficacemente energia contribuendo a mantenere il sistema Terra in equilibrio termico e dinamico.

FIGURE 14. The tropical cyclone Gordon seen from METEOSAT on September 19, 2006 12 UTC. Compare it with the extratropical cyclone present in the Northern Atlantic. Sizes, time-life, trajectories and evolution are different because their dynamics is different, copyright 2006 EU-METSAT

## Bibliografia

### Perché dedicarsi allo studio dell'atmosfera terrestre

[1] Four golden lessons for young researchers, 2003, Weinberg S., Nature vol 426, Nov, 26 2003, page 389.

### Caratteristiche generali dell'atmosfera terrestre

[1] Weather analysis, 1994, Djuric D., Englewood Cliffs, NJ Prentice-Hall, 304 pp. – disponibile all'ICTP Library (551.51 DJU). Fare riferimento alle pagine 3 – 9.

[2] Principles of Atmospheric Physics and Chemistry, 1995, Goody R. M., Oxford, University Press - 324 pp disponibile all'ICTP (551.51 GOO). Fare riferimento alle pagine: 1 – 7.

[3] Fundamentals of physics and chemistry of the atmosphere, 2001, Visconti G. - Berlin, Springer-Verlag - 593 pp disponibile all'ICTP (551.51 VIS). Fare riferimento alle pagine: 49 – 52, 500 – 505.

[4] Zellner, R. Global aspects of atmospheric chemistry, 1999, Zellner R., Darmstadt Steinkopff, New York, NY Springer-Verlag, - disponibile all'ICTP (551.51 GLO). Fare riferimento alle pagine: 1 – 4, 10 - 11, 255 – 256, 272 – 274.

[5] Climate Change 2007 Synthesis Report, An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Fourth Assessment Report. 2007, IPCC, IPCC Plenary XXVII (Valencia, Spain, 12-17 November 2007).