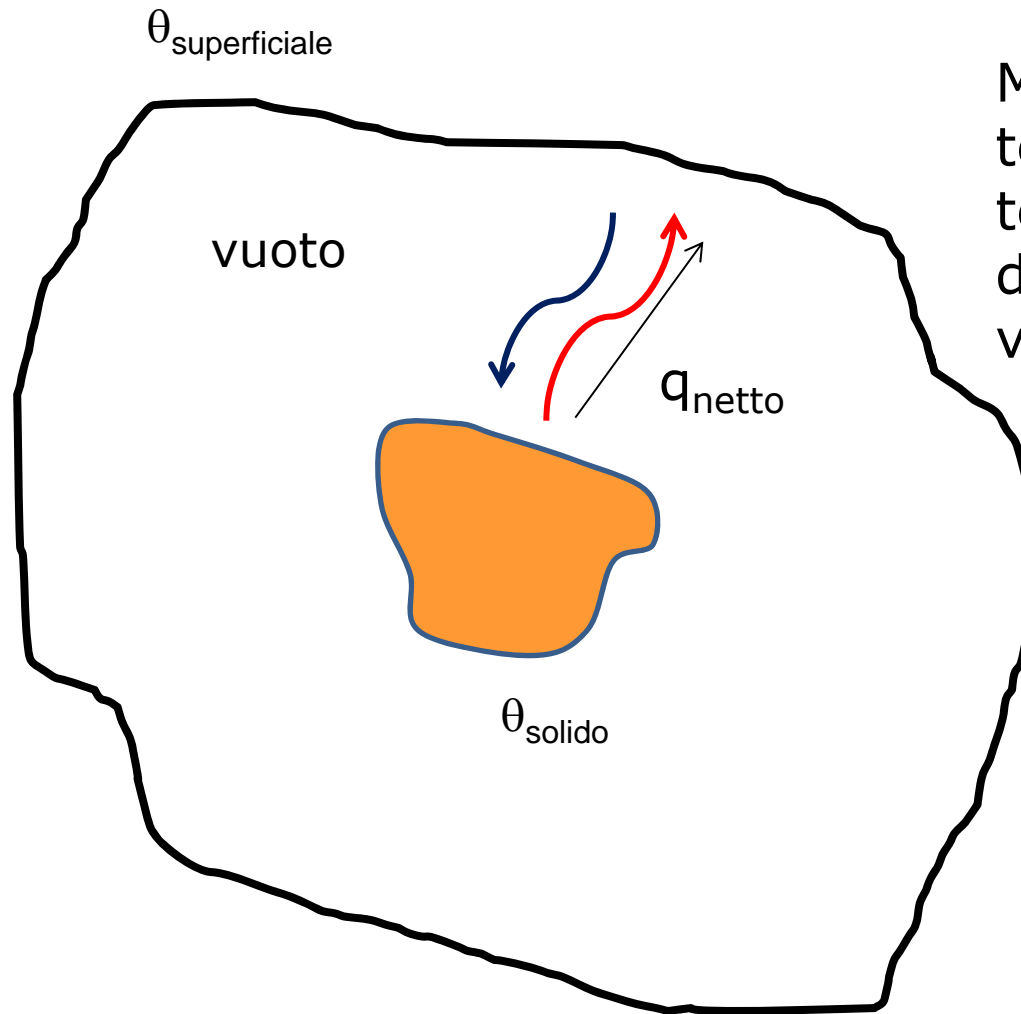


Effetto serra e bilancio energetico

Radiazione termica



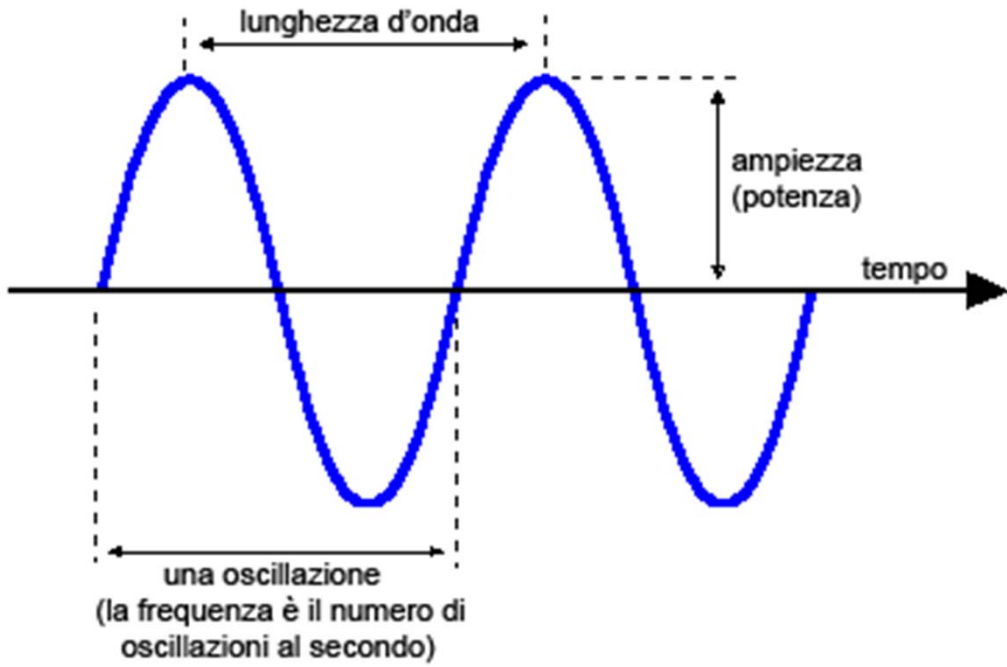
Meccanismo di scambio termico tra 2 corpi aventi temperature superficiali diverse, anche se separati dal vuoto

Se $\theta_{\text{solido}} > \theta_{\text{superficiale}}$ l'energia termica scambiata q_{netto} è diretta dal solido alla superficie dell'involucro

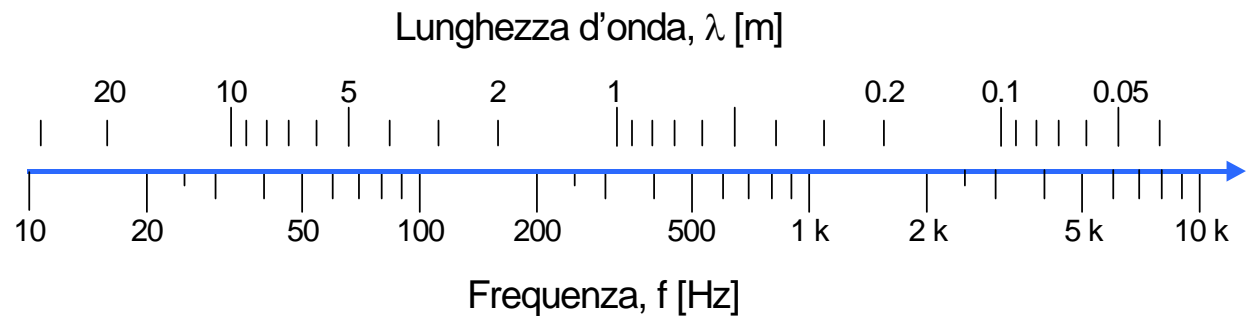
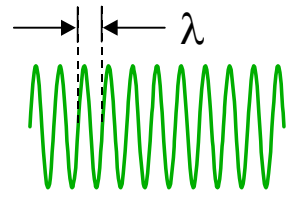
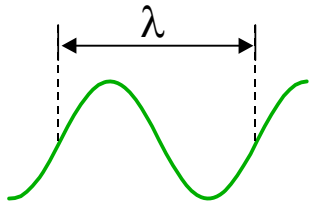
Il meccanismo di emissione è correlato all'energia rilasciata dall'oscillazione o dalla transizione degli elettroni che costituiscono la materia. Il risultato è l'emissione di energia.

Questa propagazione viene descritta in termini di ***onde elettromagnetiche*** ossia di campi elettromagnetici in movimento **anche** con intensità variabile.

Per una modellizzazione della radiazione termica si ricorre ad una descrizione che ne definisce l'intensità in funzione della temperatura della superficie radiante θ , della lunghezza d'onda λ della radiazione emessa e della direzione φ verso cui la radiazione è emessa.



$$\lambda = \frac{c}{f}$$



La materia emette energia nelle sue forme diverse:

per *gas* e *solidi semitrasparenti*, l'emissione è un fenomeno
volumetrico

per *liquidi* e *solidi*, il fenomeno è **superficiale** (1 mm)

Il *trasporto di energia* a distanza ed in assenza di materia può essere spiegato tramite la propagazione di particelle (*fotoni* o *quanti*) o attraverso la propagazione di onde elettromagnetiche di frequenza f (oppure ν), velocità c (velocità della luce), lunghezza d'onda λ .

$$\lambda \nu = c$$

c = velocità della luce [m/ s];

$c_0 = 2,9976 \cdot 10^8$ m/s (nel vuoto)

ν = frequenza [Hz]

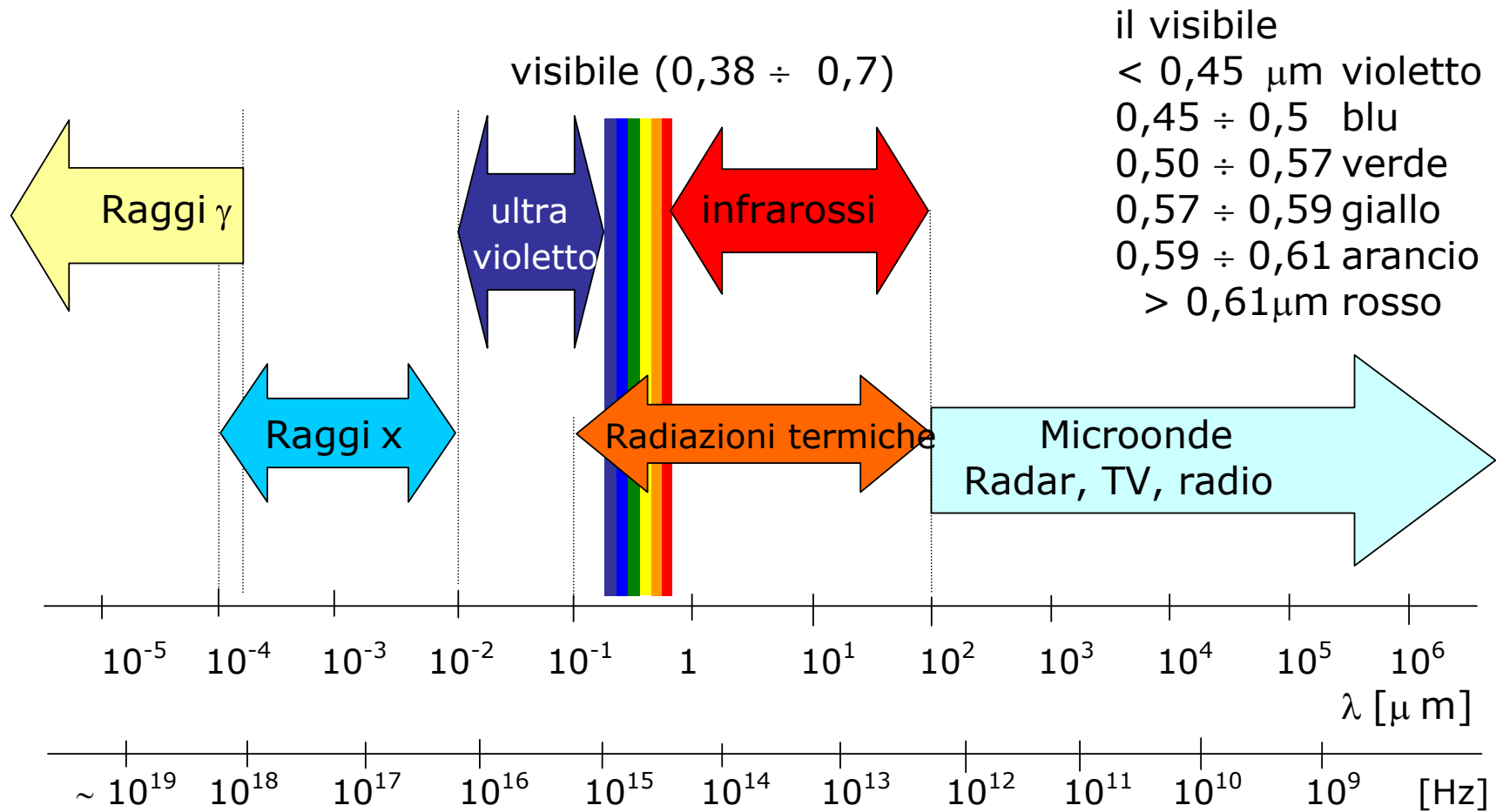
Modello corpuscolare della radiazione: energia associata ad un fotone

$$e = h \nu = h c / \lambda$$

Legge di Planck

h = costante di Planck = $6,625 \cdot 10^{-34}$ J s

Spettro onde elettromagnetiche



Il bilancio di energia (corpo non trasparente)

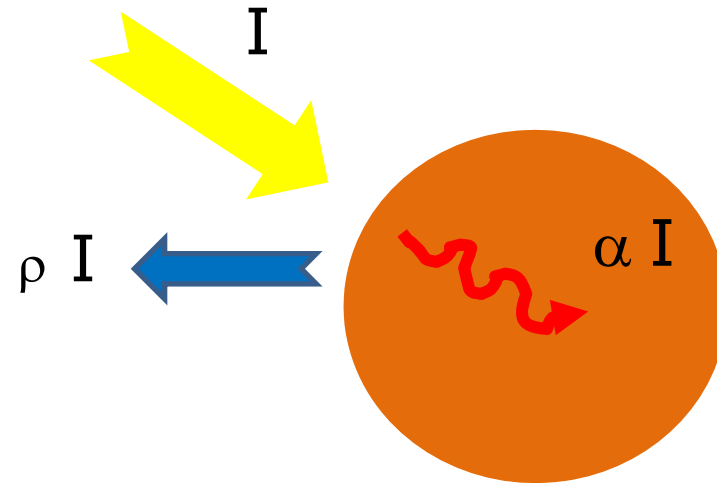
Energia incidente: I

Energia riflessa: ρI

Energia assorbita: αI

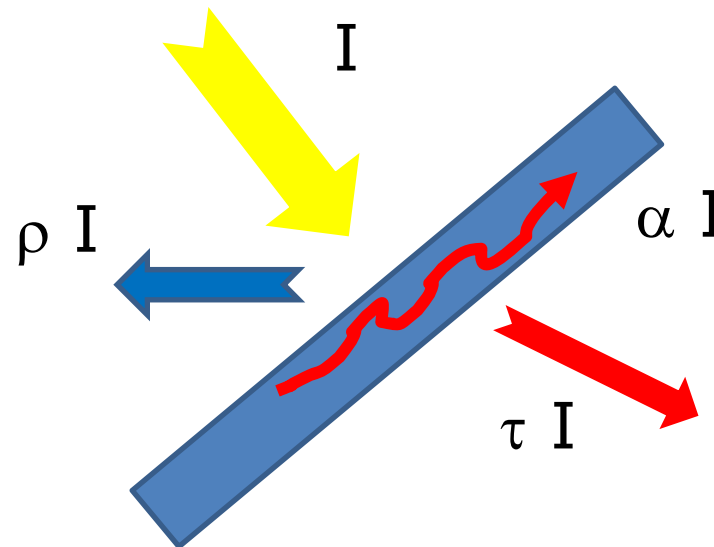
$$I = \rho I + \alpha I$$

per la superficie terrestre $\rho = 0,34$



Corpo trasparente

$$I = \rho I + \alpha I + \tau I$$



Il vetro rivestito, o vetro con coating, si ottiene mediante il deposito di ossidi metallici sulla superficie e si utilizza in edilizia per controllare e migliorare le prestazioni ottico - energetiche delle vetrate.

Esistono due famiglie di vetro coatizzato, definite sulla base del processo produttivo utilizzato:

coating on-line: vetro pirolitico

coating off-line: vetro magnetronico

Per i **coating on-line**, il processo di pirolisi viene realizzato ad elevata temperatura, durante la formatura del vetro float, ed introduce legami forti tra deposito e vetro. La resistenza superficiale del rivestimento è quindi molto elevata, pari a quella del vetro.

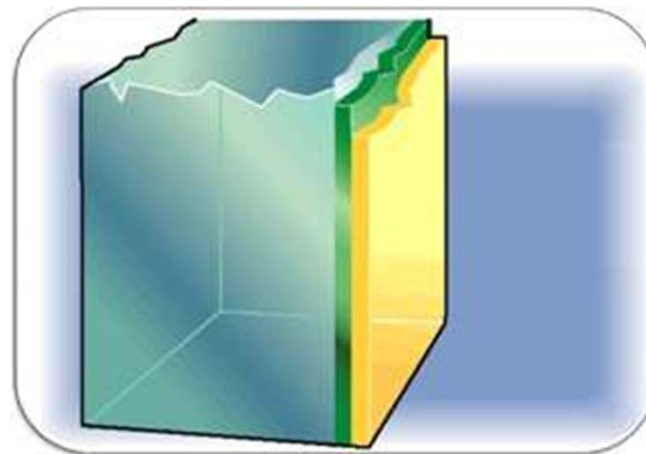
Questi coating resistono anche a trattamenti termici successivi, quali tempra, curvatura, ...

Si possono creare superfici con emissività fino al 13% (contro il 90% del normale vetro float).

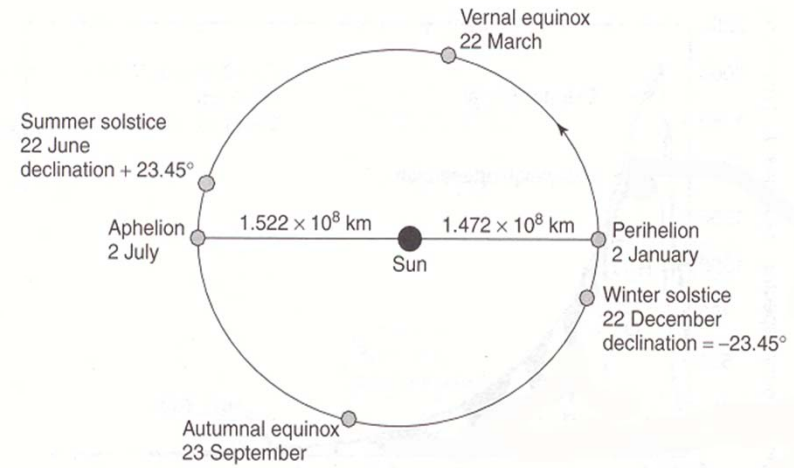
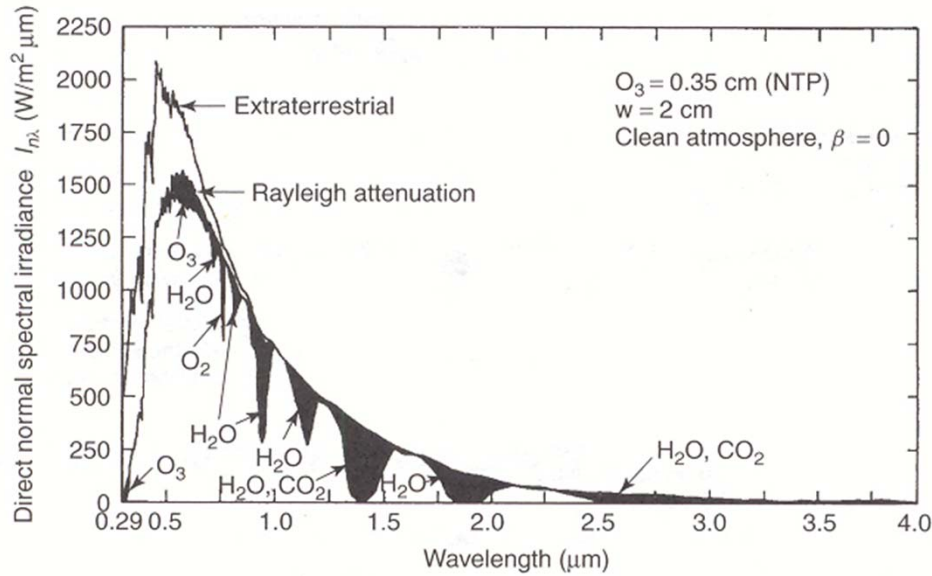
I **coating off-line** si producono applicando molti più strati di ossidi metallici, ma possono essere soggetti a deteriorabilità. Pertanto molte tipologie possono essere utilizzate esclusivamente se montate in vetrocamera.

Si possono anche applicare strati metallici la cui ossidazione si completa in successivi trattamenti termici (tempra), dando luogo a coating temprabili.

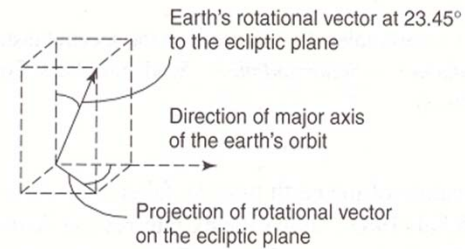
Si creano superfici che riflettono e trasmettono la radiazione solare su specifiche lunghezze d'onda, con un'emissività estremamente ridotta (fino all'1%, contro il 90% del normale vetro float).



Fonte di energia radiante: il sole



(a)



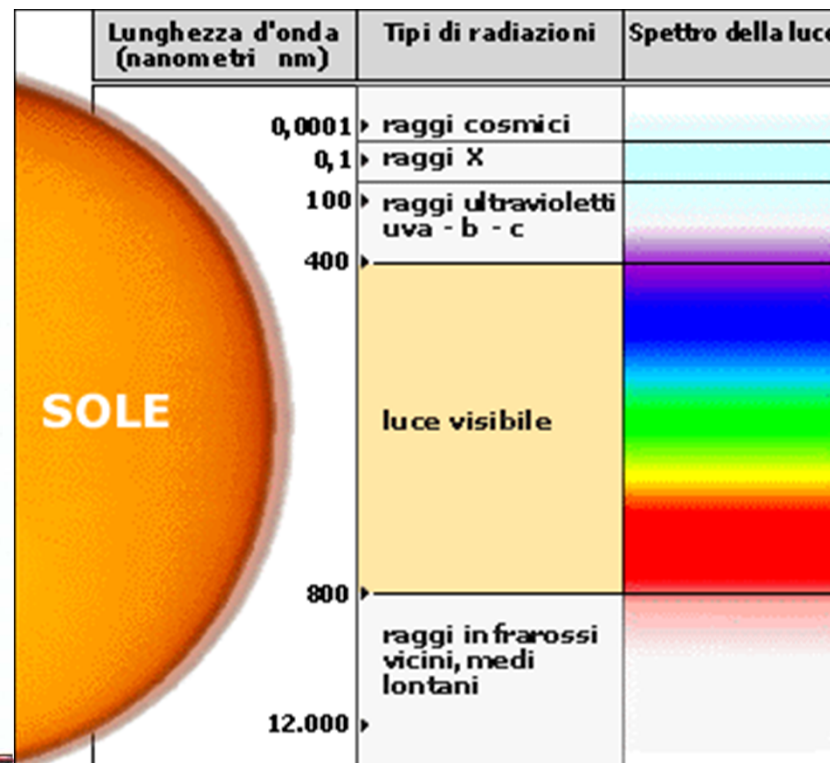
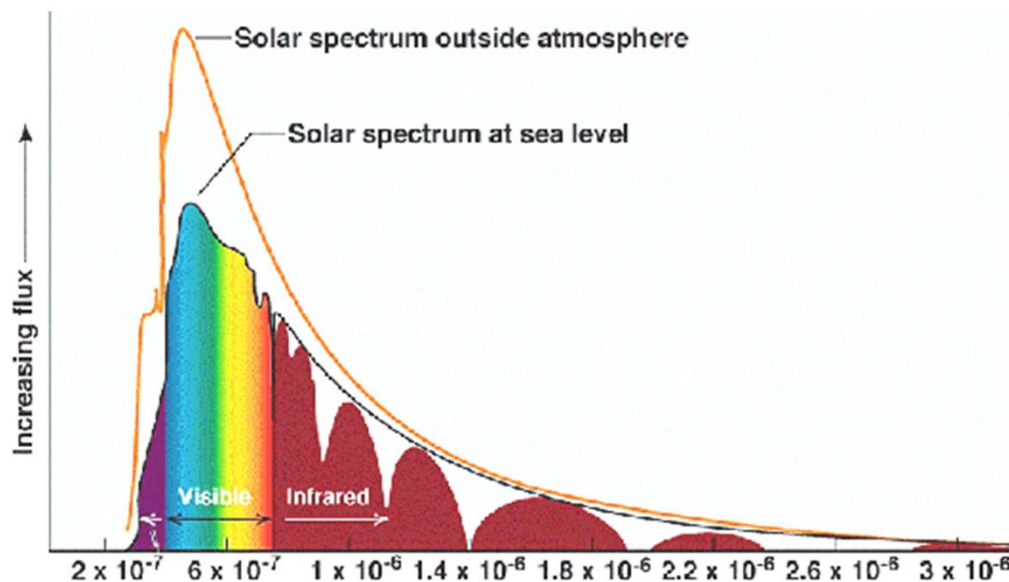
(b)

(a) The earth's orbit around the sun. (b) Direction of the earth's axis in relation to its orbit around the sun; seen from above the north pole, the earth rotates anticlockwise

$Sc = 1353 \text{ W}/\text{m}^2 =$ potenza globalmente incidente su di una superficie normale alla direzione del sole.

Il World Research Center propone per Sc il valore di $1367 \text{ W}/\text{m}^2 \pm 1\%$.

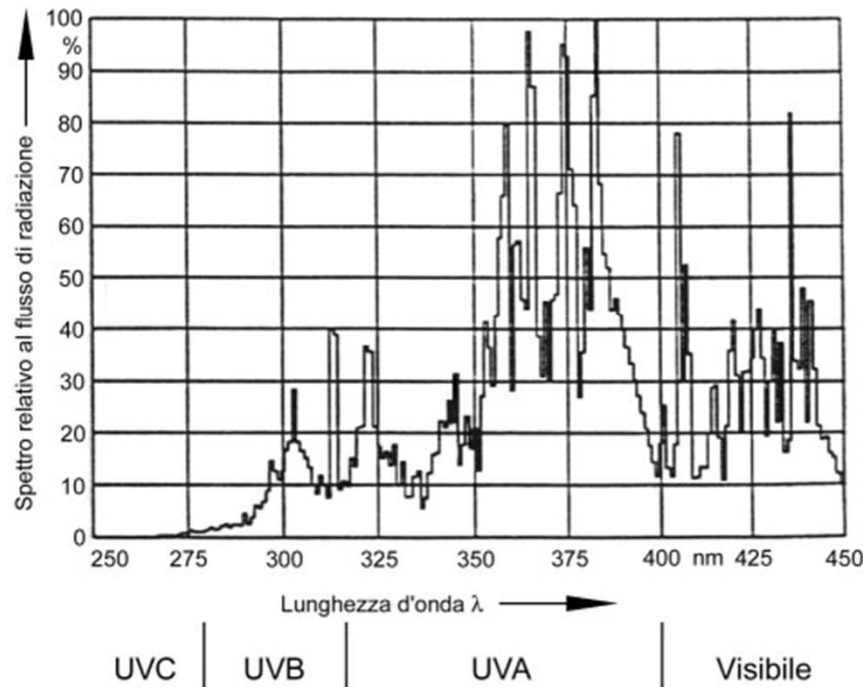
Il sole



Le radiazioni elettromagnetiche che giungono *sulla superficie terrestre*, filtrante durante l'attraversamento dell'atmosfera, si possono così suddividere:

- 50% RADIAZIONI INFRAROSSE (800 - 2.500 nm)
- 40% SPETTRO VISIBILE (400 - 800 nm)
- 10% RADIAZIONI ULTRAVIOLETTE (100 - 400 nm)

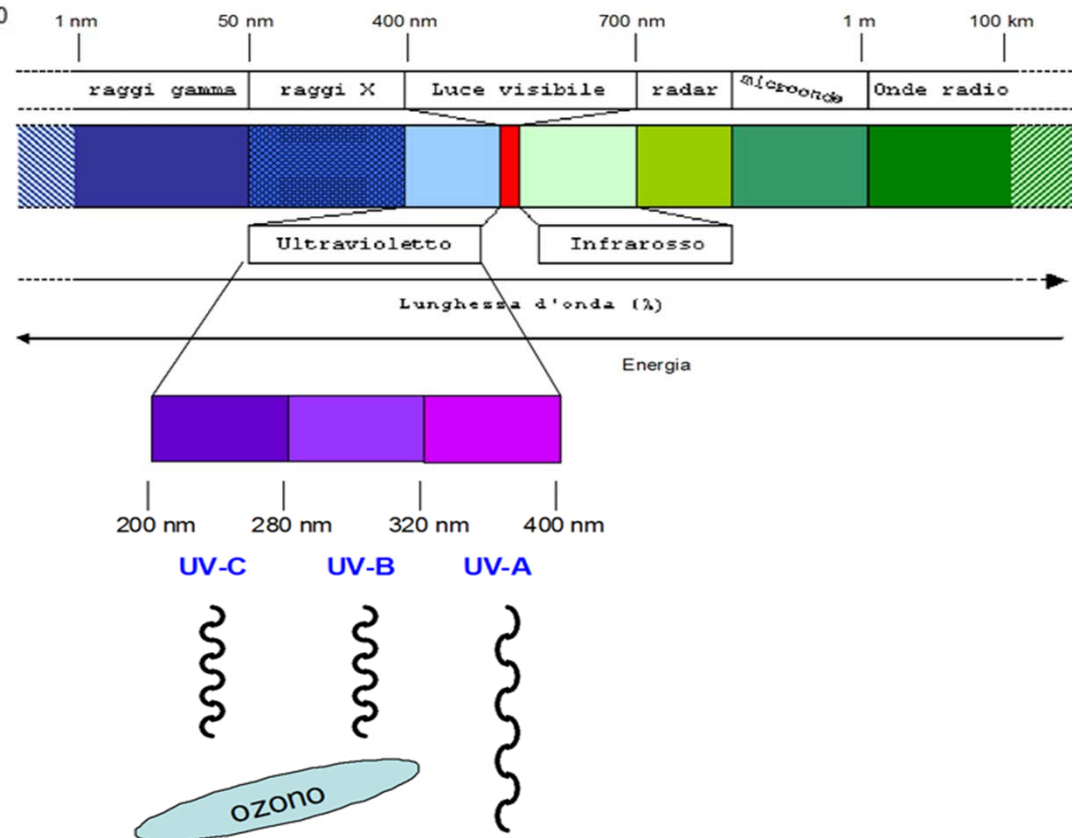
Distribuzione dello spettro di radiazioni



A causa dell'atomo "in più" l'ozono è una specie estremamente reattiva: **l'ozono in stratosfera** interagisce con la luce solare, assorbe la radiazione UV-B ed UV-C e svolge una funzione fondamentale di schermo nei confronti delle radiazioni nocive per la pelle; **l'ozono in troposfera**, invece, se in eccesso risulta tossico ed irritante per molte piante ed animali ed è in grado di danneggiare materiali plastici

UV e ozono

UV-C: 100 - 280 nm → Sterilizzazione
 UV-B: 280 - 315 nm → Eritema cutaneo
 UV-A: 315 - 380 nm → Pigmentazione cutanea



Raggi infrarossi

<i>Nome banda</i>	<i>Limite superiore</i>	<i>Limite inferiore</i>
Standard DIN/ CIE		
IR-A	700nm	1400 nm
IR-B	1,4 μm	3 μm
IR-C	3 μm	1000 nm
Classificazione astronomica		
Vicino	700 – 1000 nm	5 μm
medio	5 μm	25 -40 μm
lontano	25 -40 μm	200 -350 μm
Sistema ingegneristico		
vicino (NIR)	750 nm	1400 nm
onda corta (SWIR)	1,4 μm	3 μm
onda media (MWIR)	3 μm	8 μm
onda lunga (LWIR)	8 μm	15 μm
lontano (FIR)	15 μm	1000 μm

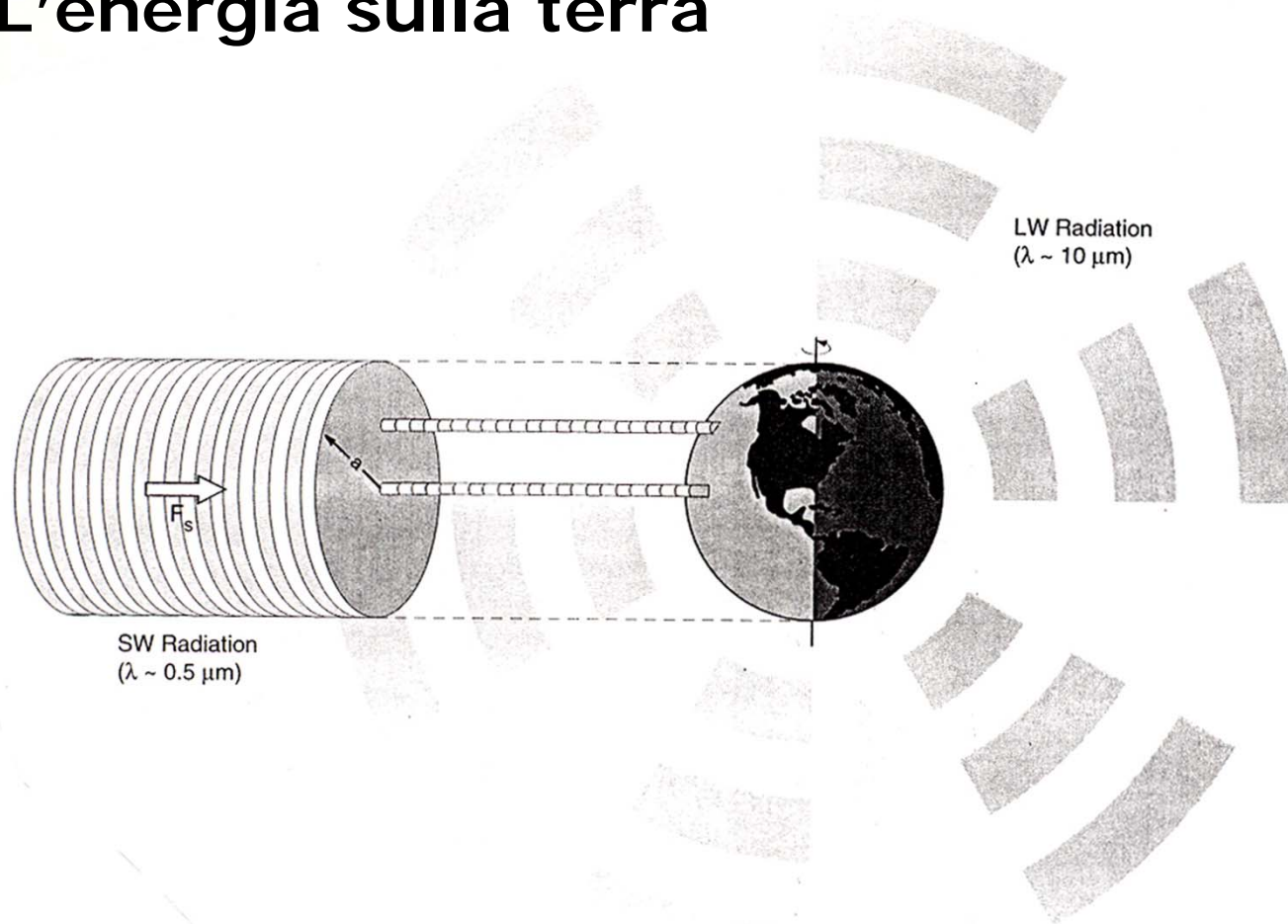
Una volta che la radiazione solare è giunta sulla superficie terrestre, essa viene assorbita dai suoli e dai mari, i quali si riscaldano aumentando la loro temperatura.

Via via che aumenta la temperatura, la superficie terrestre emette energia sotto forma di calore e cioè come *radiazione infrarossa*, fino a quando non si stabilisce l'equilibrio, tra flusso di energia solare incidente e flusso di energia terrestre uscente verso lo spazio.

L'emissione di energia da parte della terra avviene attraverso radiazioni con lunghezza d'onda prevalente nelle bande dell'infrarosso ed in particolare tra i 5 e i 25 μm .

Siccome la radiazione solare incidente e la radiazione terrestre emessa viaggiano su bande di diversa lunghezza d'onda, il valore di 4 μm viene assunto, **nelle attività di ricerca sul clima**, come il valore significativo di demarcazione, o limite di separazione, fra la radiazione "ad onda corta" che è, in pratica, la radiazione solare, e la radiazione "ad onda lunga" che è, in pratica, la radiazione che emette il nostro pianeta quando è sottoposto a riscaldamento.

L'energia sulla terra



Schematic of SW radiation intercepted by the earth and LW radiation emitted by it.

L'energia sulla terra

La terra intercetta il flusso di energia a bassa lunghezza d'onda (SW), una frazione della quale (A: albedo) è riflessa verso l'atmosfera.

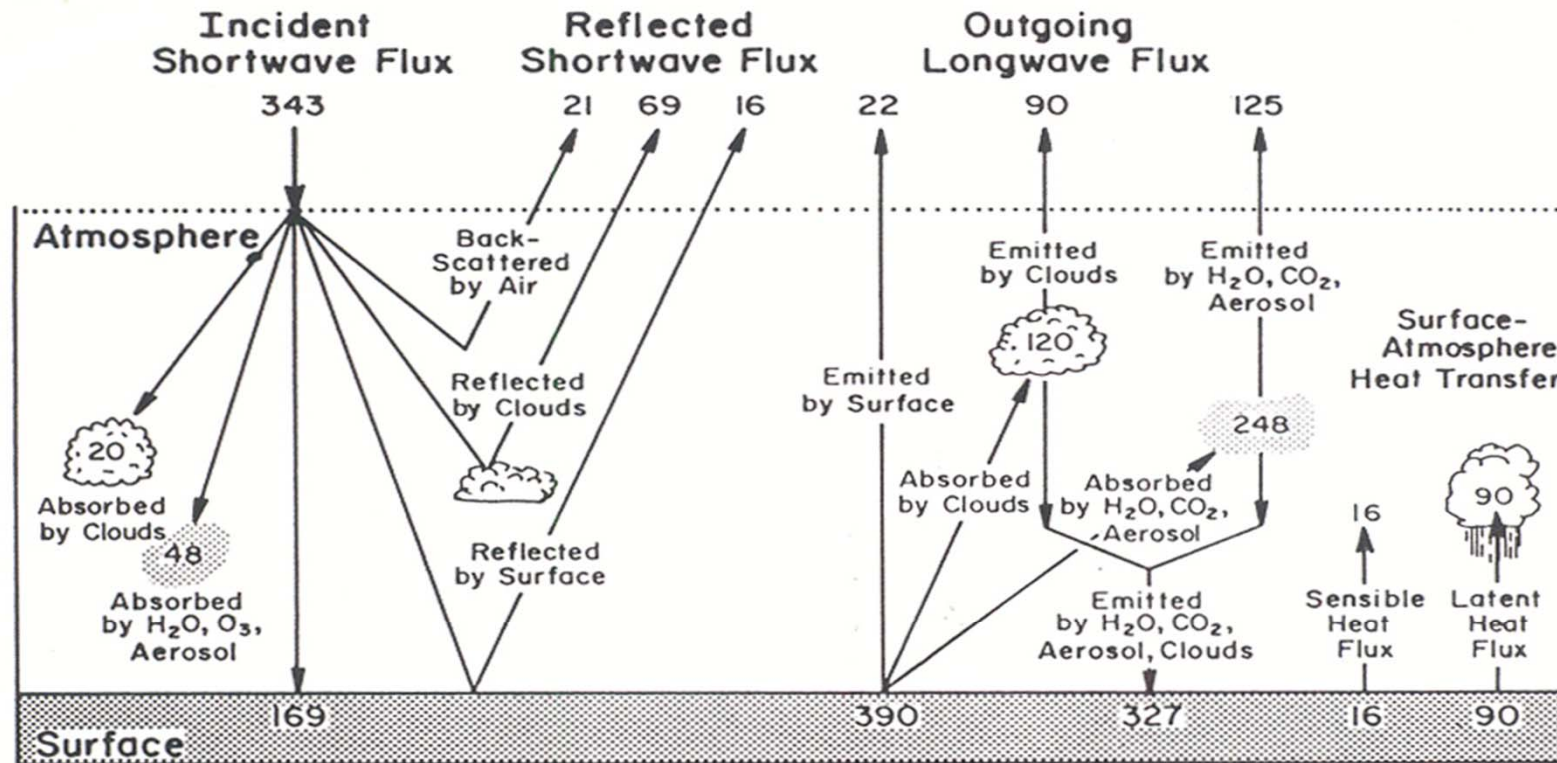
Per mantenere l'equilibrio terra ed atmosfera ri-emettono nello spazio energia ad elevata lunghezza d'onda (LW).

Il risultato di questi scambi condurrebbe ad una temperatura media per la terra pari a: $T_{\text{earth}} = 255 \text{ K}$

In realtà: $T_{\text{earth}} \approx 288 \text{ K}$

La discrepanza è causata dal fatto che l'atmosfera è quasi opaca a radiazioni LW (catturate dagli strati dell'atmosfera ed in parte ri-emesse verso la terra) e quasi trasparente a quelle SW

Il sole: bilancio di energia



Global-mean energy budget (W m^{-2}). Updated from *Understanding Climate Change* (1975) with recent satellite measurements of the earth's radiation budget. *Additional sources:* Ramanathan (1987), Ramanathan *et al.* (1989).

La radiazione solare incidente SW è pari a circa 343 W/m^2

Circa il 30% (106 W/m^2) sono riflessi verso lo spazio esterno:

21 W/m^2 dall'aria

69 W/m^2 dalle nubi

16 W/m^2 dalla superficie terrestre

Il restante 70% (circa) è assorbito dal sistema terra- atmosfera

48 W/m^2 dal vapore acqueo, O_3 e aerosol

20 W/m^2 dalle nuvole

169 W/m^2 dalla superficie terrestre

La frazione ultima deve essere re-irradiata per mantenere l'equilibrio termico della superficie.

Alla temperatura $T_s = 288 \text{ K}$ la superficie terrestre emette circa 390 W/m^2 di radiazione LW.

L'eccesso rispetto alla quantità SW assorbita deve essere bilanciata da altre sorgenti.

Si consideri che, a causa dell'effetto serra, la superficie terrestre riceve circa 327 W/m^2 della radiazione emessa verso l'atmosfera.

In definitiva il risultato che si ottiene complessivamente, è pari a :

$$\begin{array}{ccccccc} 169 \text{ W/m}^2 & + & 327 \text{ W/m}^2 & - & 390 \text{ W/m}^2 & = & + 106 \text{ W/m}^2 \\ \text{assorbimento} & & \text{assorbimento} & & \text{emissione} & & \\ \text{SW} & & \text{atmosferico LW} & & \text{LW} & & \end{array}$$

Il risultato è la potenza riscaldante netta la superficie terrestre
Tale surplus deve essere bilanciato da scambi sensibili e latenti con l'atmosfera.

16 W/m^2 sono scambiati come calore sensibile
 90 W/m^2 sono scambiati come calore latente (scambio evaporativo degli oceani).

Anche nel bilancio dell'atmosfera, per mantenere l'equilibrio termico il bilancio deve essere nullo.

L'atmosfera riceve 68 W/m^2 direttamente come assorbimento della radiazione SW

368 W/m^2 sono assorbite da nuvole e vapore acqueo, CO_2 e aerosol

327 W/m^2 sono LW dispersi dall'atmosfera verso la superficie terrestre

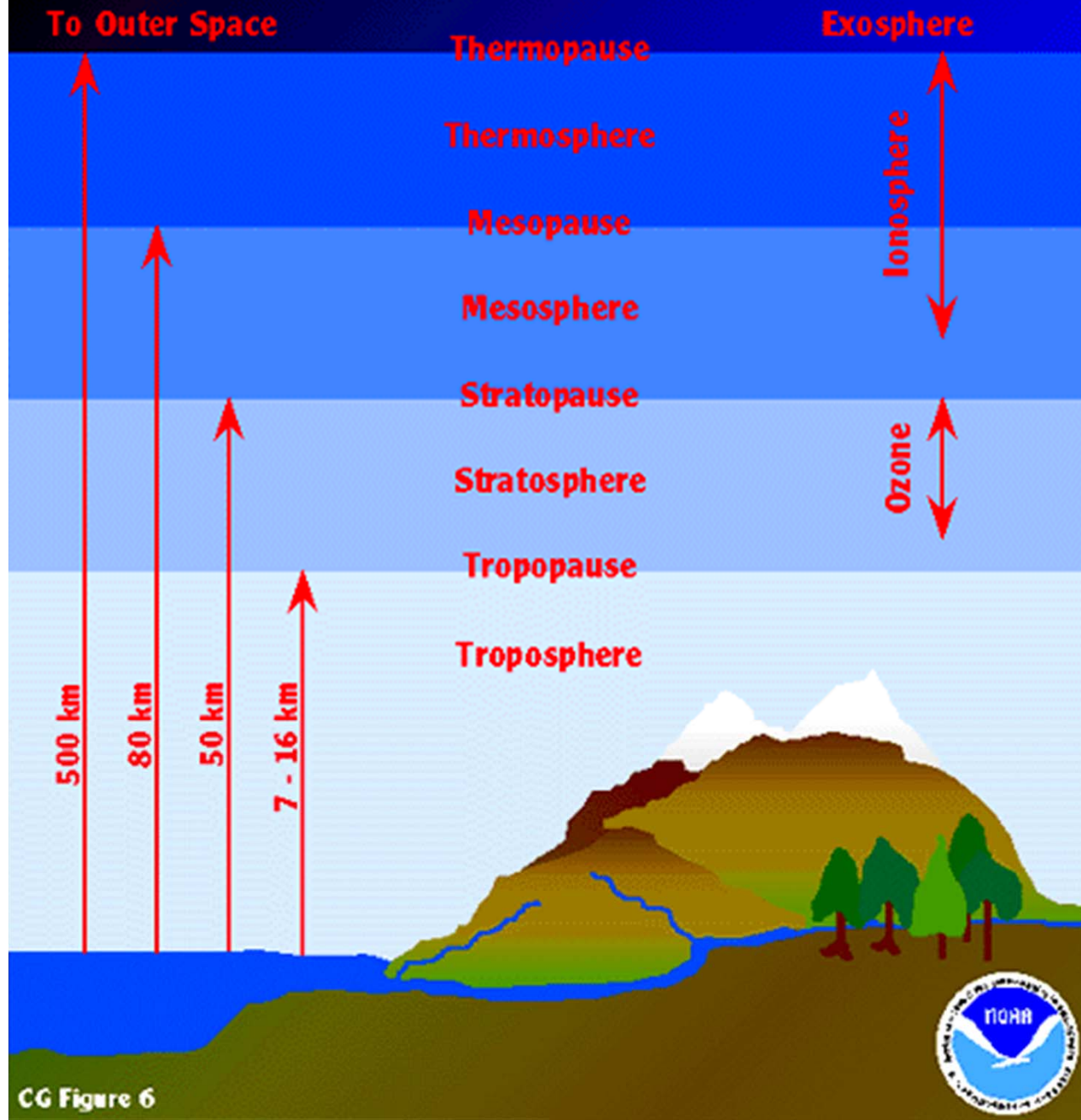
215 W/m^2 infine sono LW riemessi verso lo spazio esterno (90 W/m^2 dalle nuvole, 125 W/m^2 da vapore acqueo, CO_2, \dots)

Il bilancio netto in atmosfera è quindi:

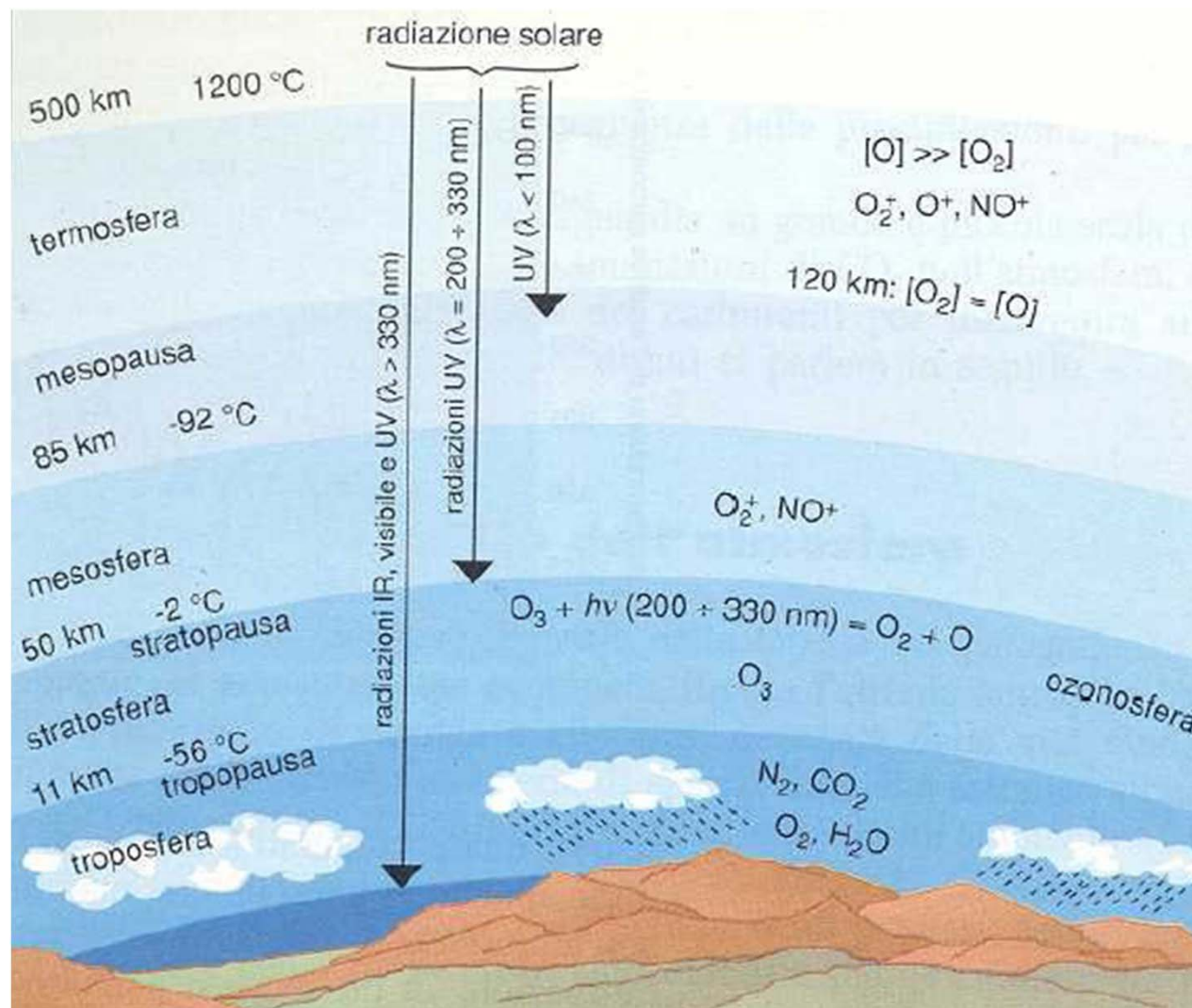
$$68 \text{ W/m}^2 + 368 \text{ W/m}^2 - 327 \text{ W/m}^2 - 215 \text{ W/m}^2 = - 106 \text{ W/m}^2$$

Il risultato è la potenza raffrescante netta l'atmosfera

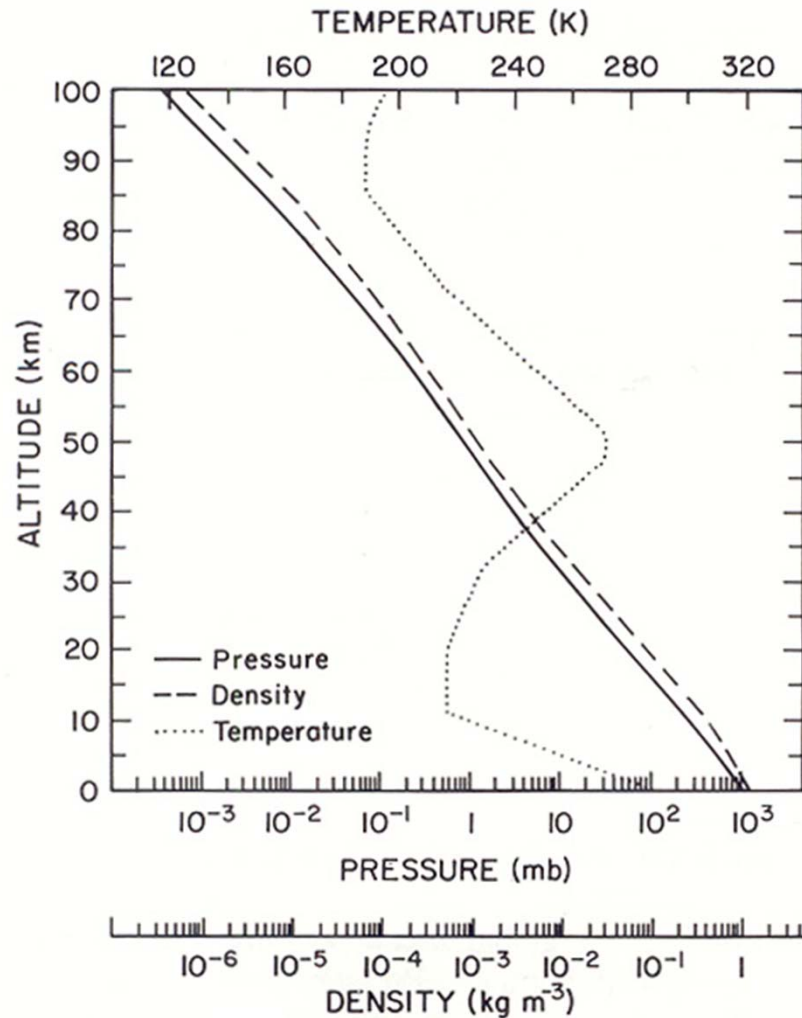
The Layers of the Atmosphere



L'atmosfera



L'atmosfera



Troposfera (zona di turbolenza)

Sino a 10 km di altezza. La temperatura decresce di 6,5 K/km

Tropopausa

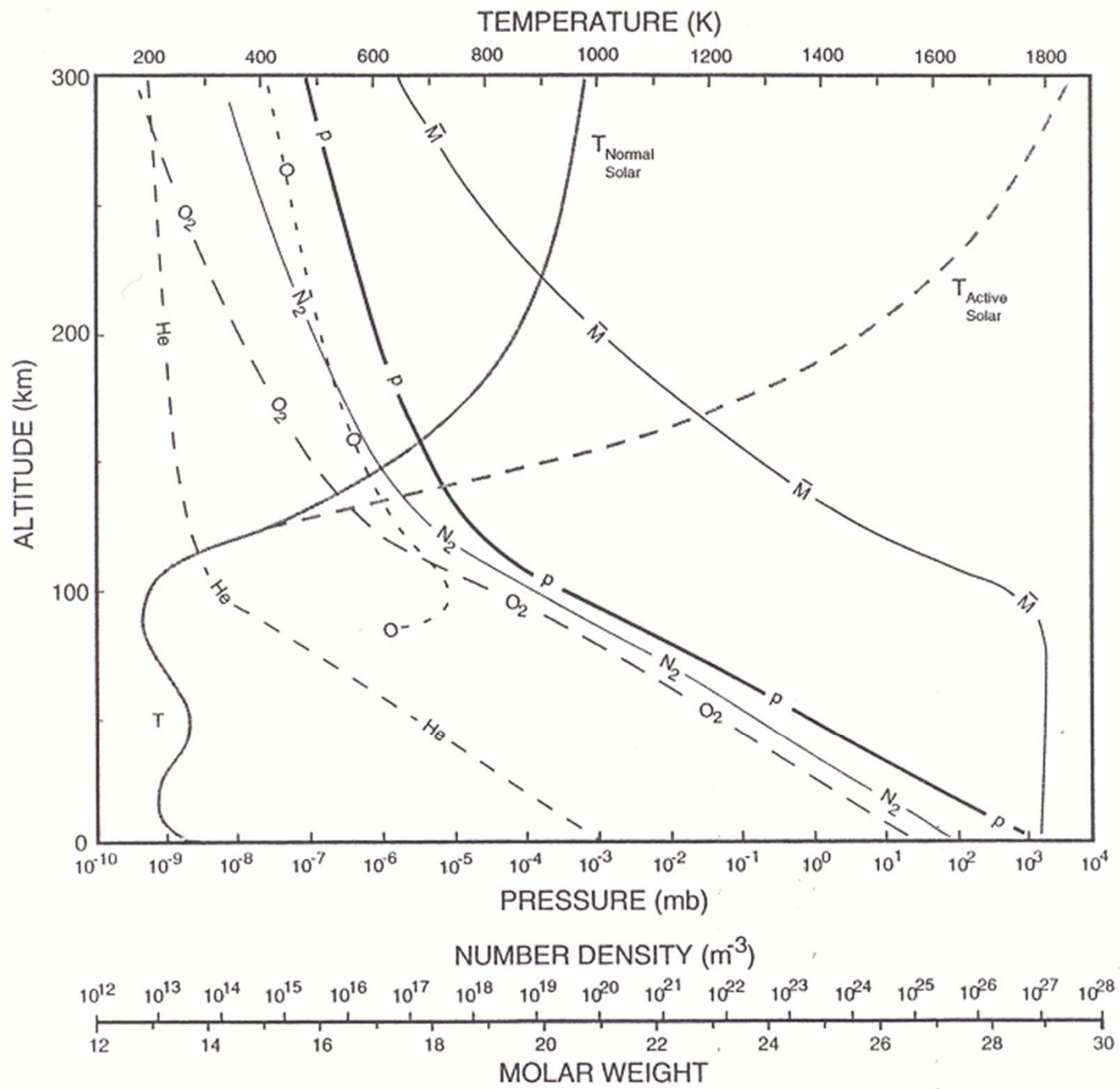
Stratosfera

La temperatura aumenta con l'altezza. A 50 km la temperatura raggiunge il valore massimo.

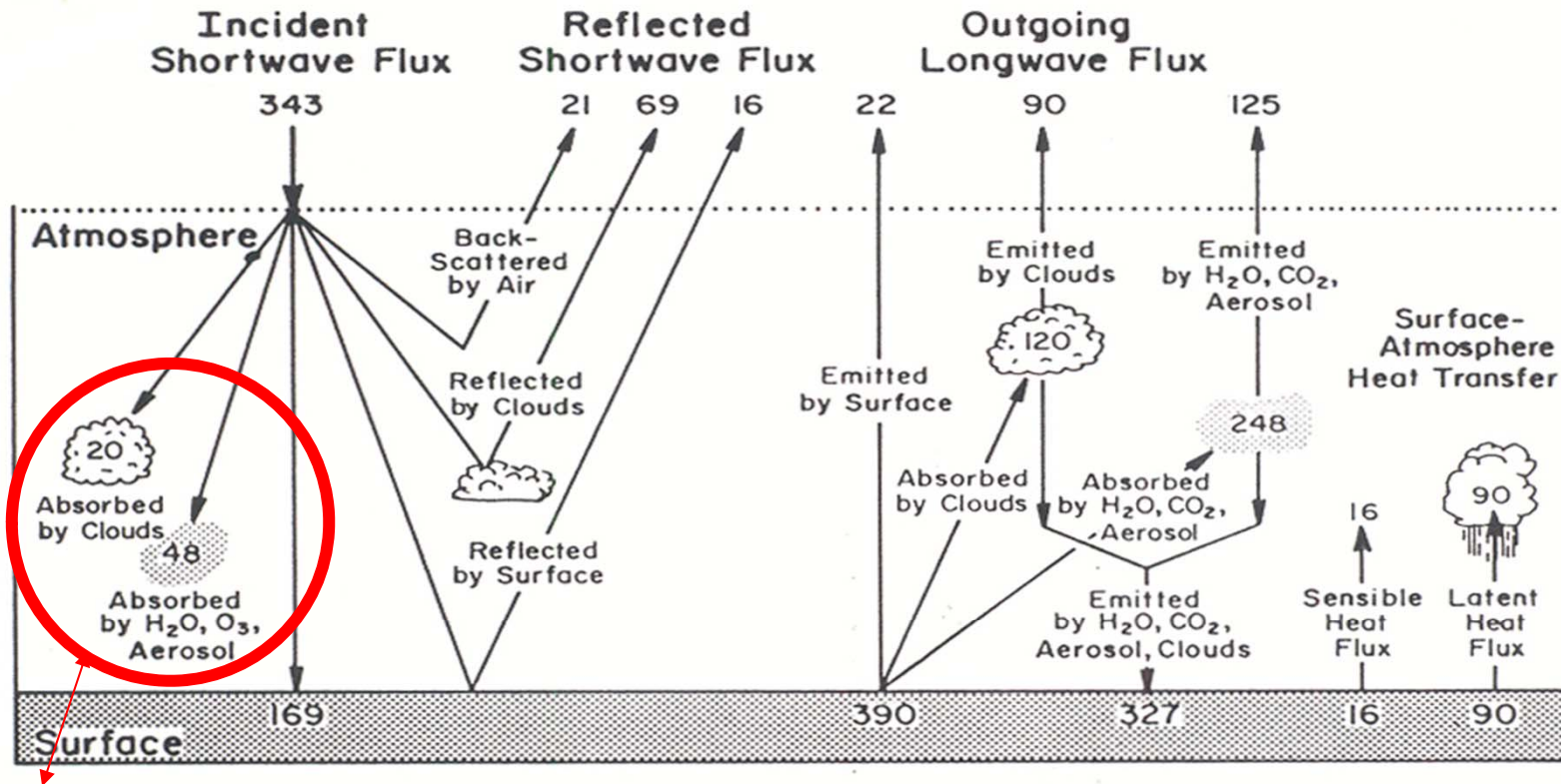
Mesosfera

Mesopausa: secondo minimo termico a 85 km circa

Termosfera: zona non più neutra elettricamente



L'energia sulla terra



Bilancio medio globale atmosfera

$$68 + 368 - 327 - 215 = -106 \text{ W/m}^2$$

Ass. bassa λ + Ass. superficie alta λ - Emiss. superficie alta λ - Emiss. verso lo spazio alta λ = -106 W/m²

L'effetto serra (“greenhouse” effect)

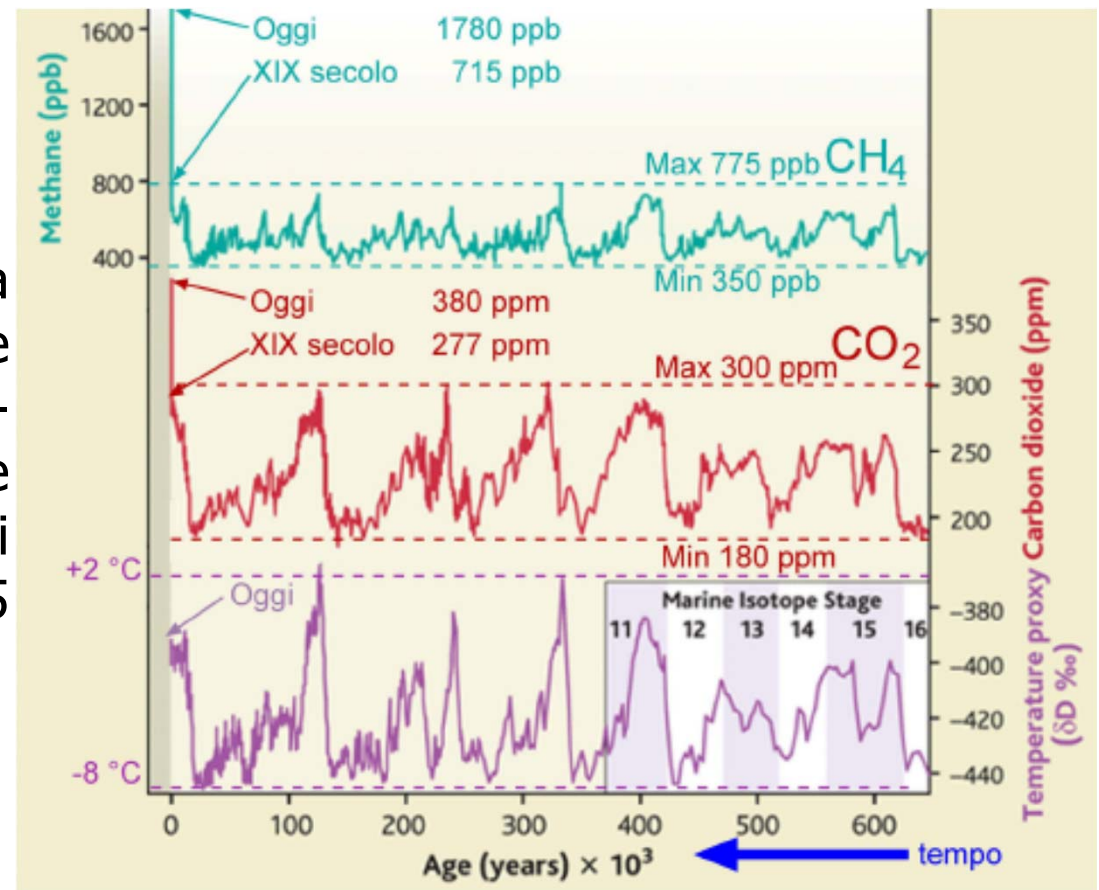
- Si riferisce al parziale assorbimento da parte di alcuni gas in atmosfera della radiazione infrarossa emessa dalla superficie terrestre
- L'assorbimento di una qualsiasi radiazione termica (sia solare che IR) ha un effetto termico: ciò rende il clima più caldo (fino a circa 33°C)
- I gas GHG sono: vapore acqueo, CO₂, ozono (O₃), metano (CH₄) e biossido di azoto(N₂O)

L'effetto serra

Alcuni gas riflettono l'energia solare all'interno dell'atmosfera (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC, SF_6 , aerosol...).

La temperatura media del nostro pianeta dovrebbe essere di -18°C : invece è di 15°C

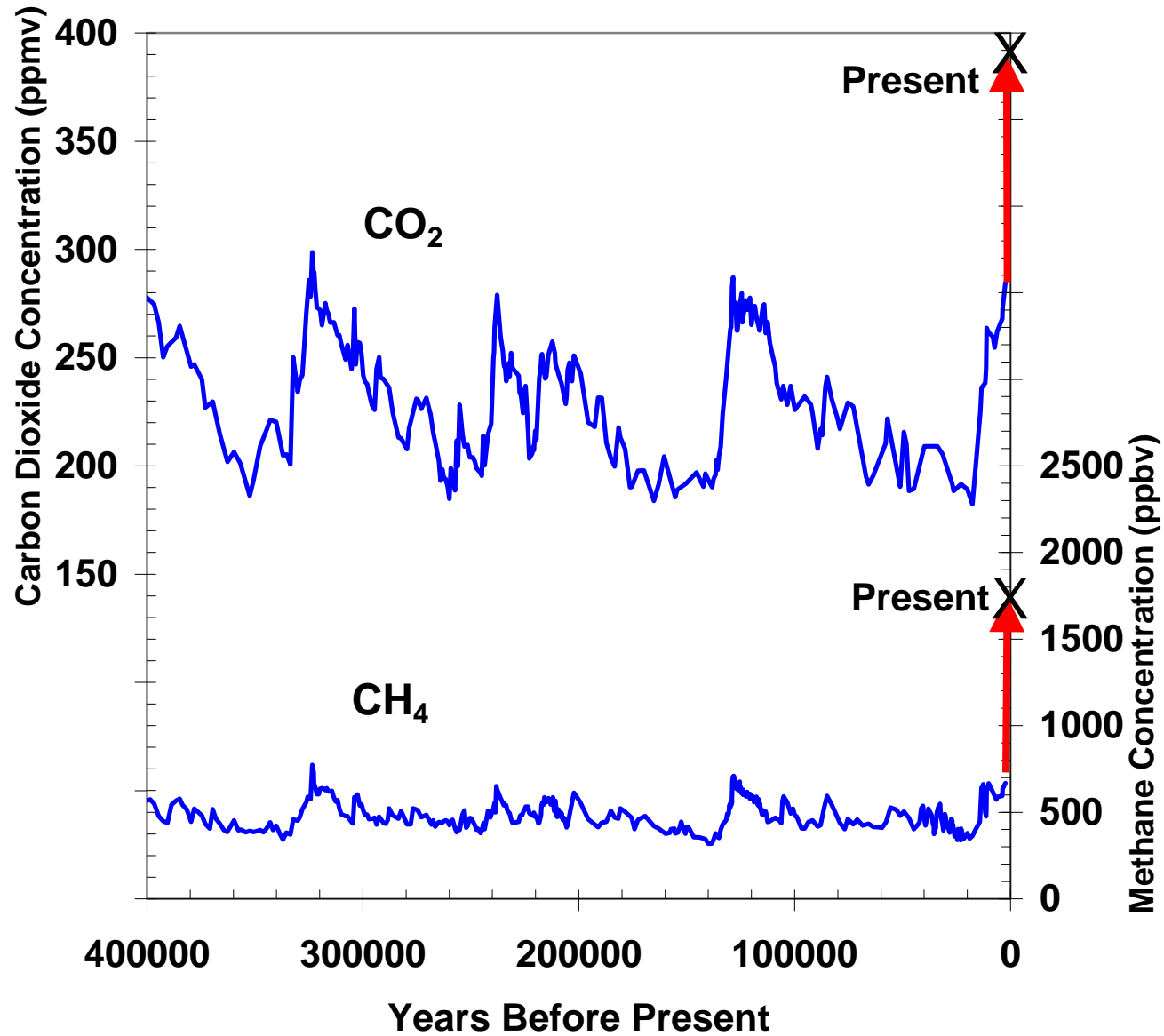
L'atmosfera è quasi opaca per l'energia irradiata oltre i $10\ \mu\text{m}$ (ovvero quella rimessa dalla superficie terrestre) e quasi trasparente al di sotto dei $5\ \mu\text{m}$.



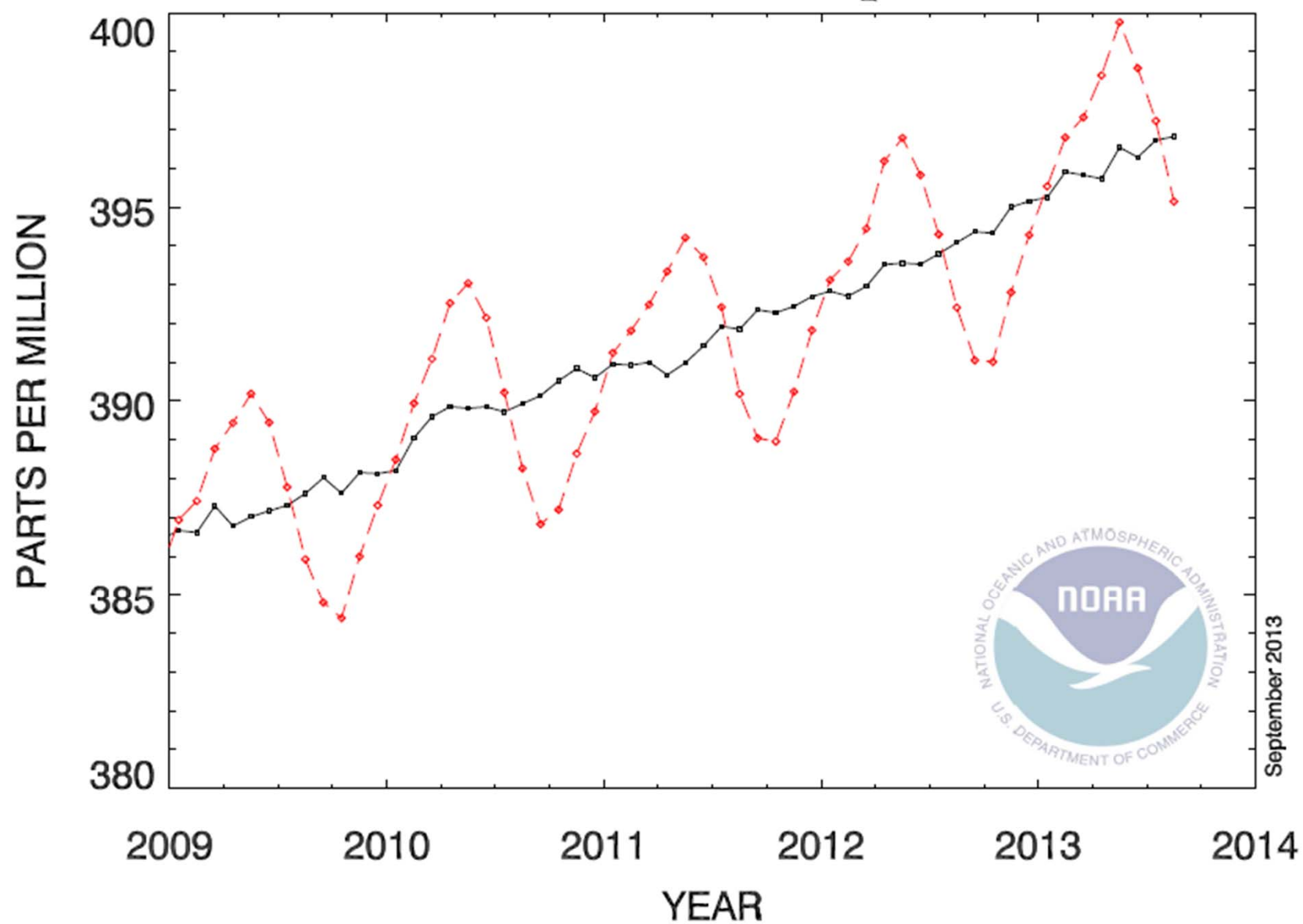
Impatto dell'attività umana sul clima

- Gli uomini emettono, e di conseguenza aumentano, le concentrazioni di CO₂, CH₄, N₂O e variano in modo artificiale le concentrazioni di GHG (CFCs, HCFCs, HFCs, SF₆), mentre le emissioni inquinanti (NO_x, CO e idrocarburi) condurrebbero ad un incremento del livello di ozono al suolo
- Ciò ha causato una forzante radiante di circa 2.5-3.5 W/m²
- Se la concentrazione di sola CO₂ raddoppiasse, si avrebbe una forzante radiante di circa 3.75 W/m²
- Ne consegue che l'aumento di gas GHG è equivalente ad un aumento di circa il 70-90% dell'aumento di CO₂

Variazione delle concentrazioni di CO_2 e di CH_4

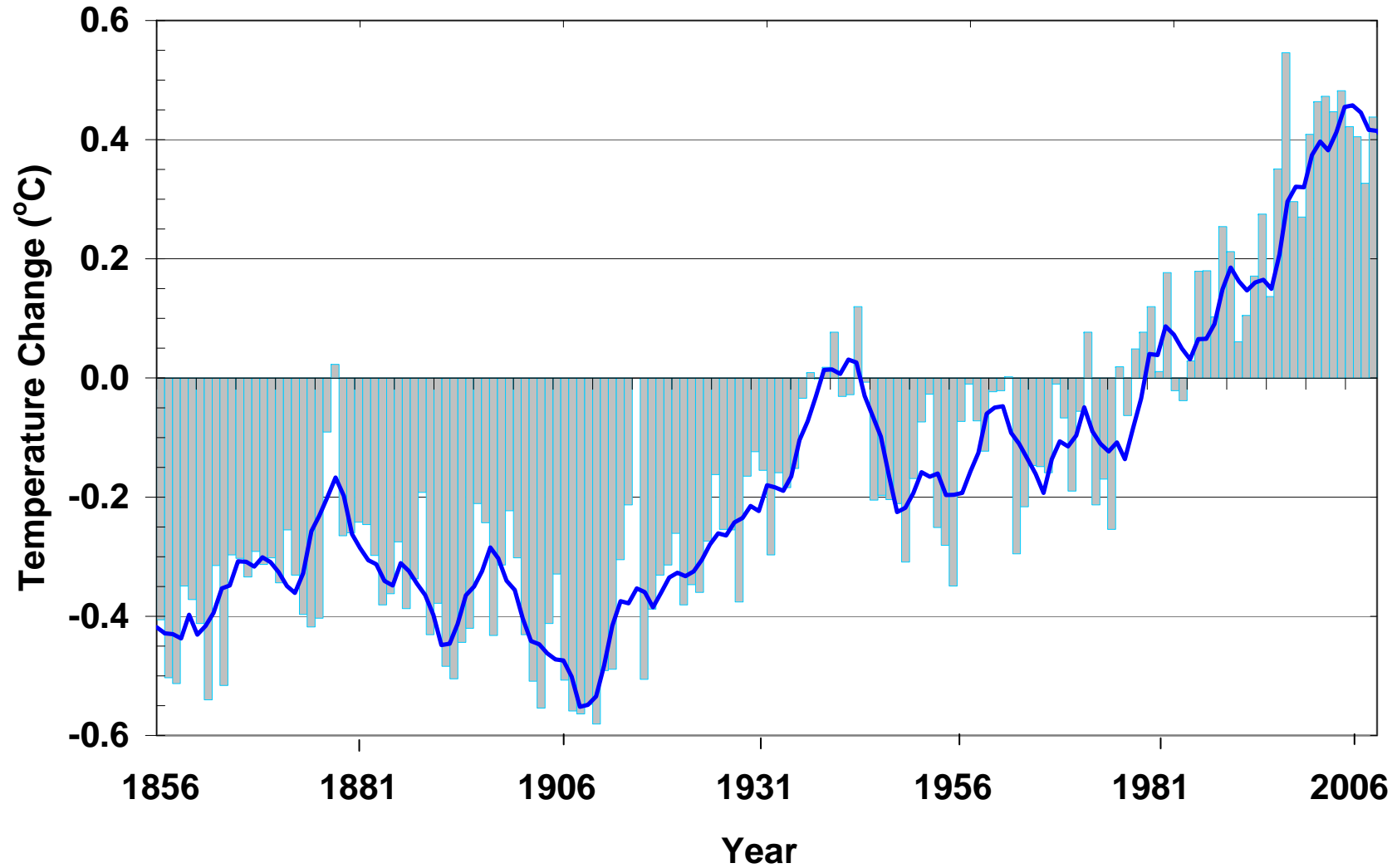


RECENT MONTHLY MEAN CO₂ AT MAUNA LOA

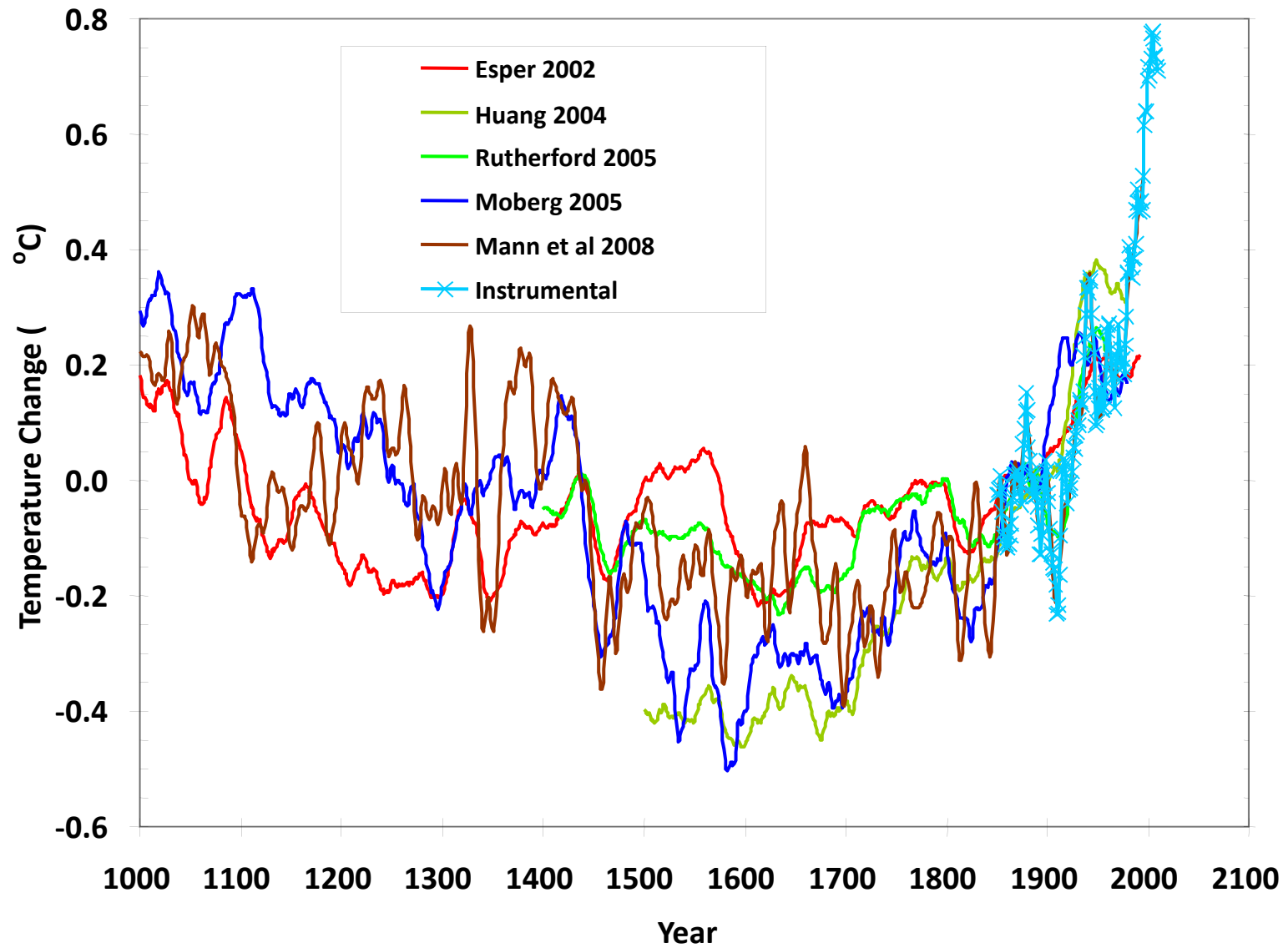


September 2013

Variazione della temperatura media superficiale 1856-2009



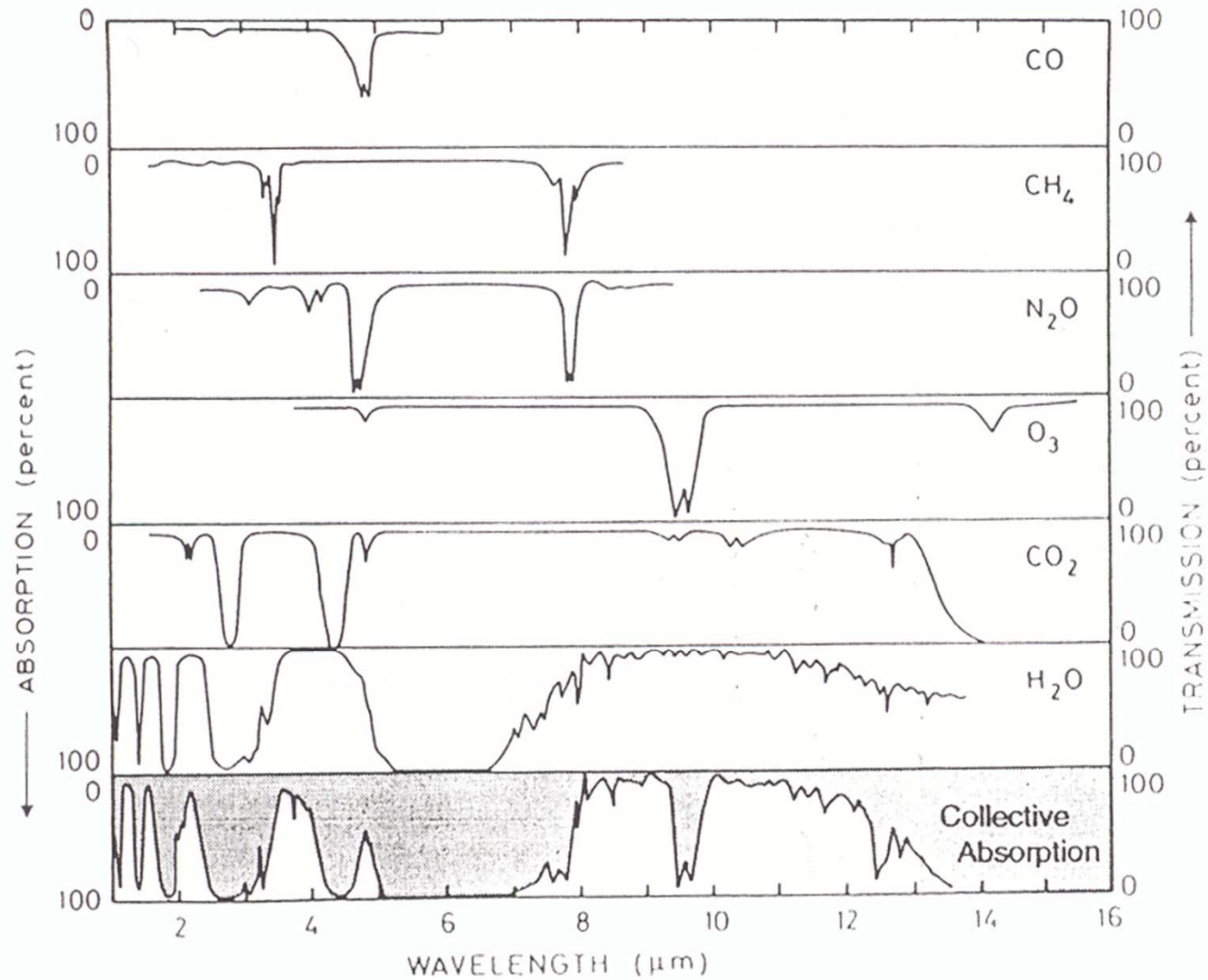
Variazione della temperatura superficiale terrestre ricostruita e strumentale



Il parametro chiave della questione correlata al riscaldamento globale è chiamata *sensibilità climatica*.

E' definita come l'eventuale (ovvero, ovvero dopo che il clima ha avuto abbastanza tempo per gli aggiustamenti) riscaldamento globale dovuto ad un raddoppio della concentrazione della CO₂ atmosferica

L'assorbimento dei gas atmosferici



Il riscaldamento globale

