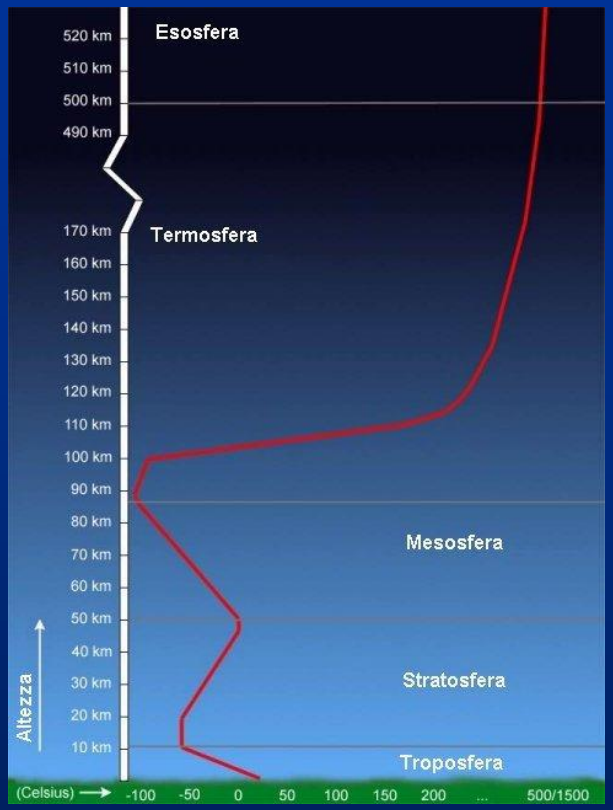
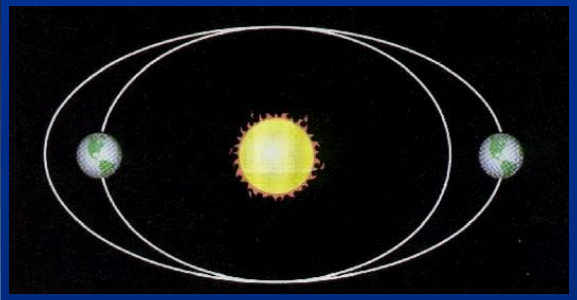
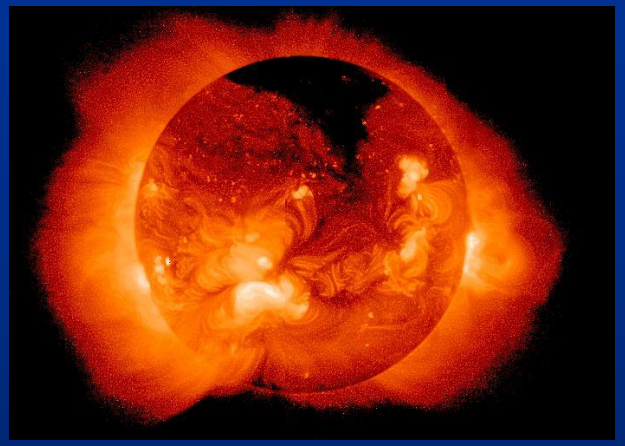
Atmosfere





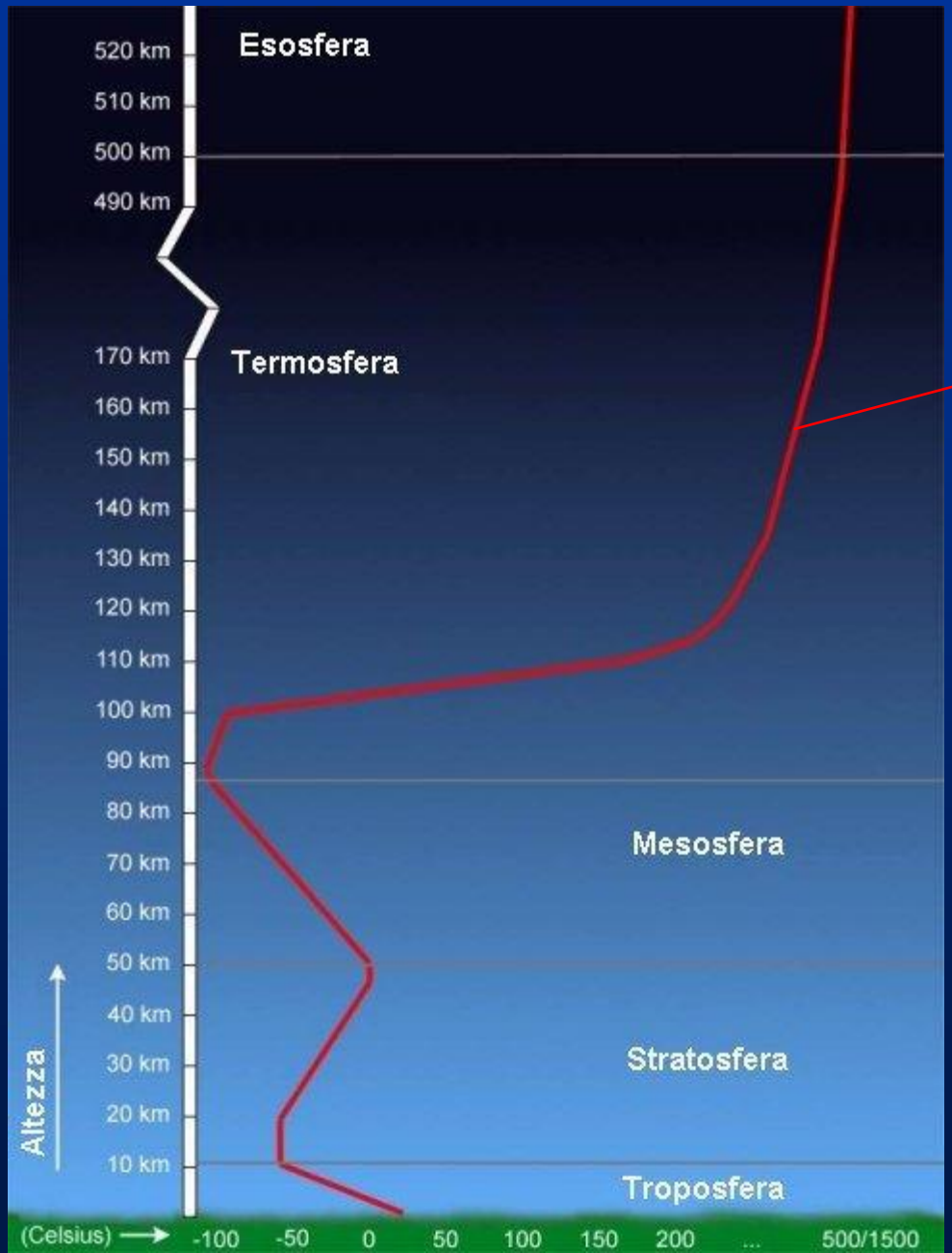


Roberto Bedogni

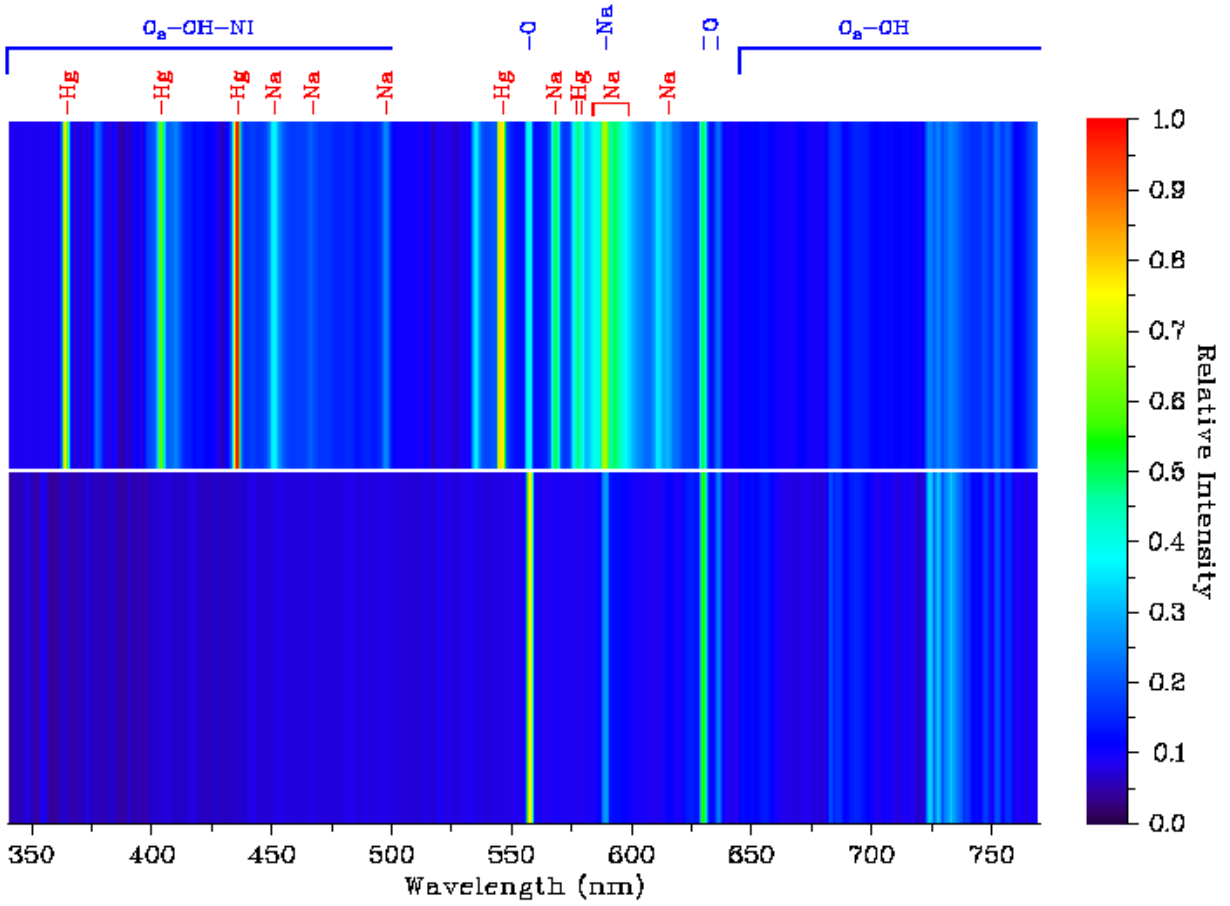
INAF Osservatorio Astronomico di Bologna
via Ranzani, 1 40127 - Bologna - Italia
Tel, 051-2095721 Fax, 051-2095700
http://www.bo.astro.it/~bedogni
email: roberto.bedogni@oabo.inaf.it

L’atmosfera terrestre

Proprietà fisiche dell'atmosfera terrestre



Atmosfera terrestre-trasparenza



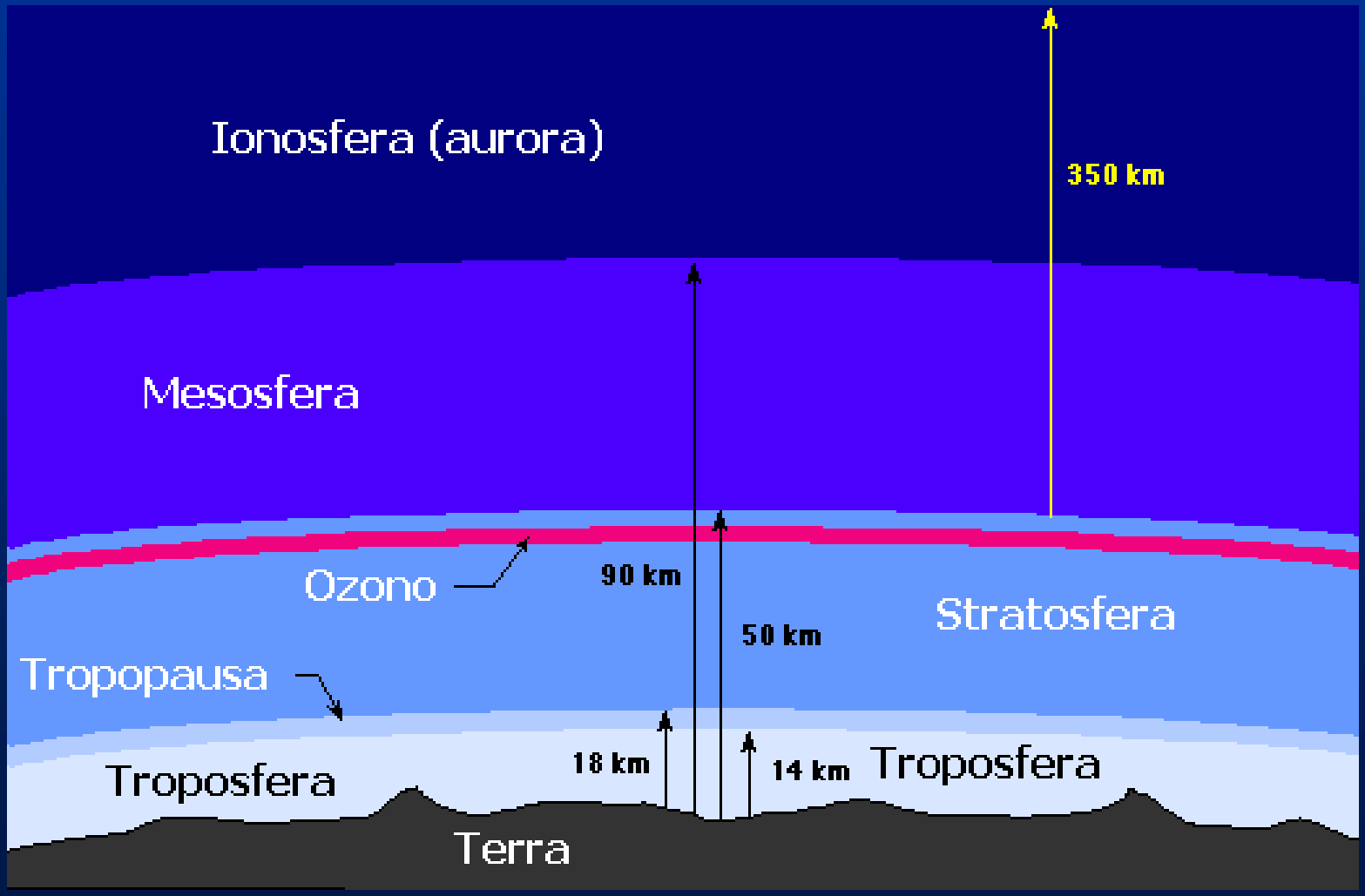
Asiago

Cerro Paranal
Cile

Atmosfera terrestre-luce zodiacale

F. Patat, ESO, http://www.eso.org/~fpatat/science/skybright/skybright.ppt

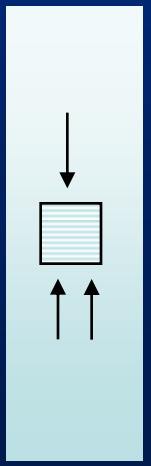
[OI] 6300,6364 (300km) N 5200 (258km) –lunghezza d'onda righe



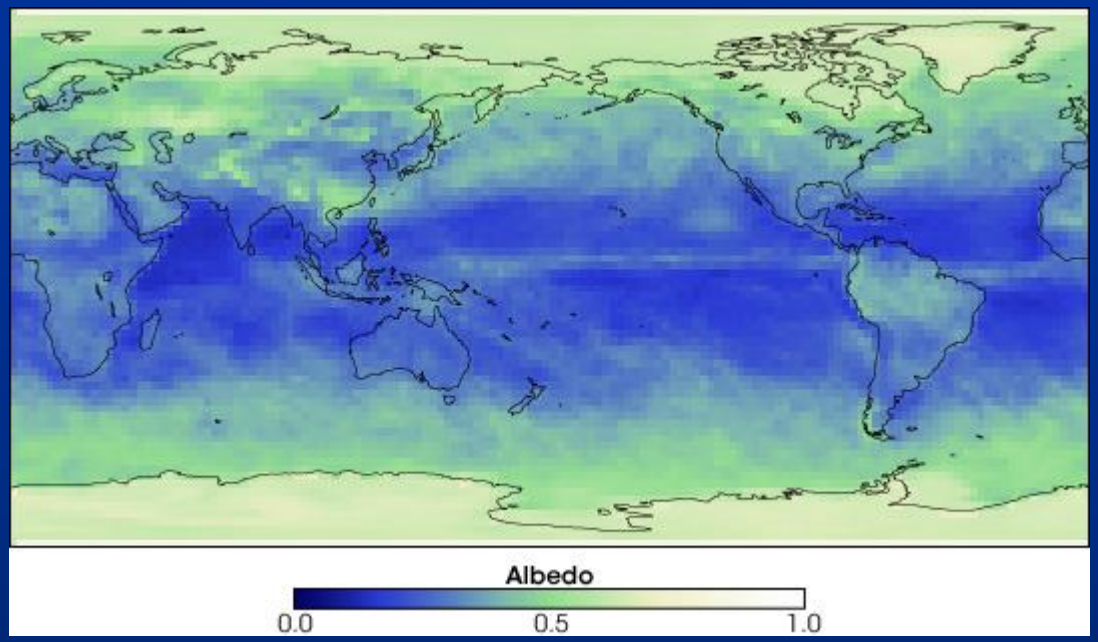
Proprietà fisiche dell'atmosfera terrestre

Alpi e pianura padana

L'atmosfera è costituita dallo strato di gas che circonda un pianeta
L'atmosfera della Terra è sottile (~10 km 1,5% del raggio)
La pressione è data dalle collisioni delle molecole dei gas
La pressione diminuisce con l'altezza, quindi il gas è più compresso verso il basso
Il gas è in equilibrio idrostatico



Il ruolo dell'albedo nel riscaldamento della Terra



Marzo 2005, misurata dagli strumenti del "Clouds and Earth's Radiant Energy System (CERES)"

NASA's Terra satellite

Il riscaldamento (senza atmosfera) dipende
dalla distanza dal Sole~150 milioni di km
dall'albedo, A = energia riflessa/energia incidente

Albedo

A = 0 nessuna riflessione, tutta l'energia viene assorbita;

A=0,1-0,25 rocce

A=0,7 nubi

A=0,8 ghiaccio

A = 1 tutta l'energia viene riflessa

$A_{Terra} = 0,38$

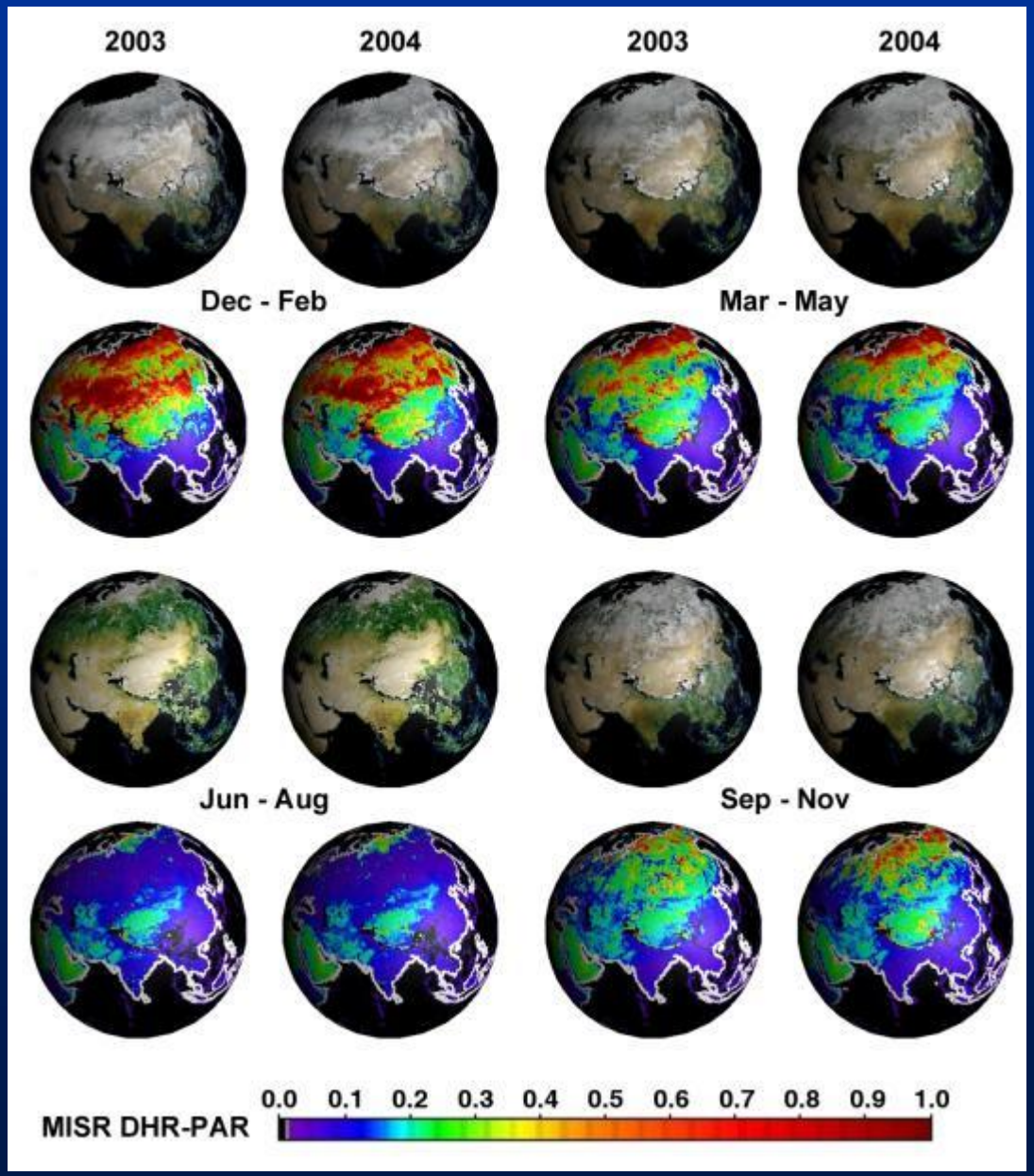
Bilancio energetico

Il Sole manda sulla Terra

341 W/m^2

Energia emessa ed energia ricevuta devono eguagliarsi

Variazione annuale dell'albedo della Terra



Albedo

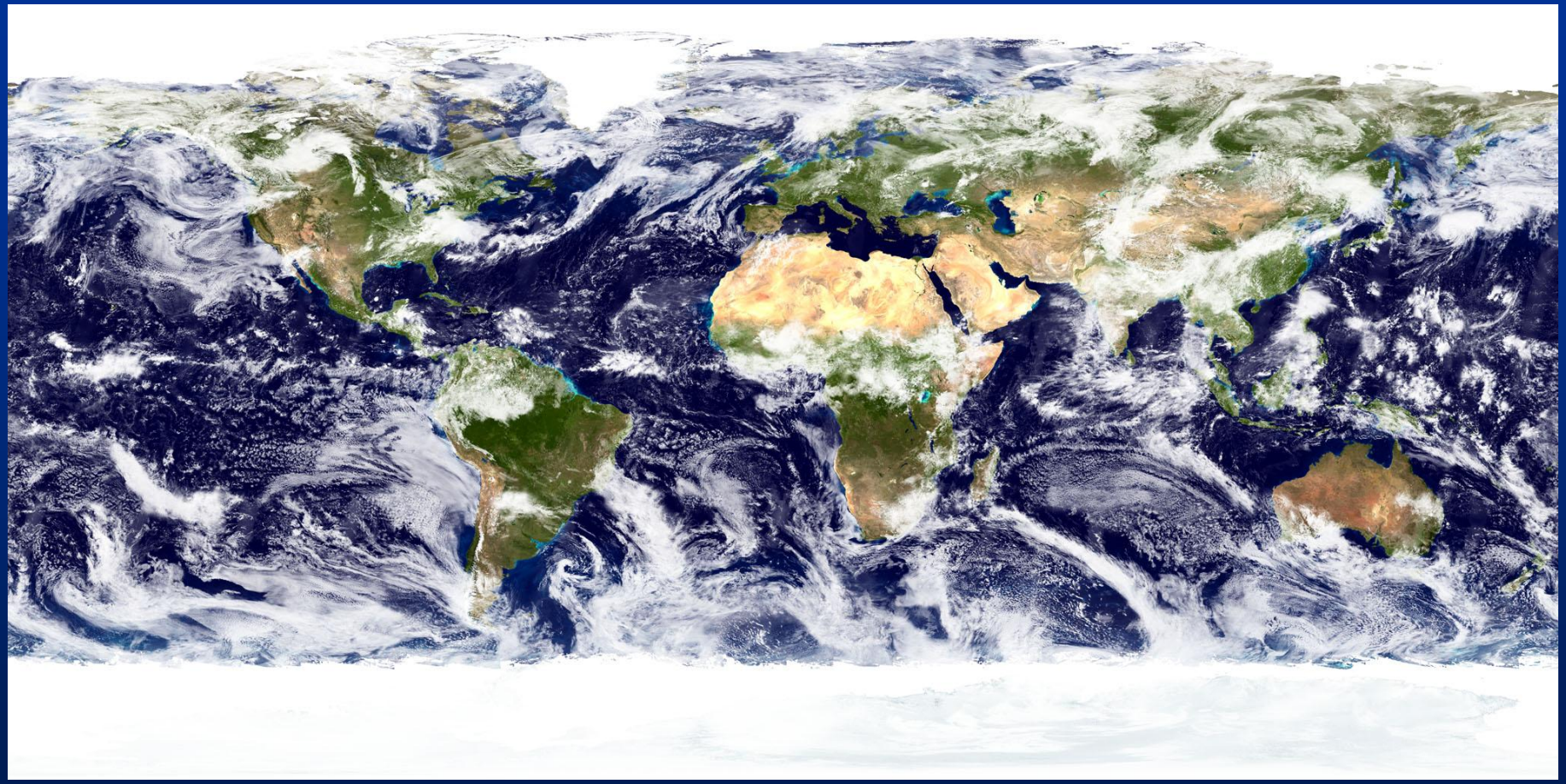
A = 0 nessuna riflessione, tutta l'energia viene assorbita

A=0,1-0,25 rocce
A=0,7 nubi
A=0,8 ghiaccio

A = 1 tutta l'energia viene riflessa

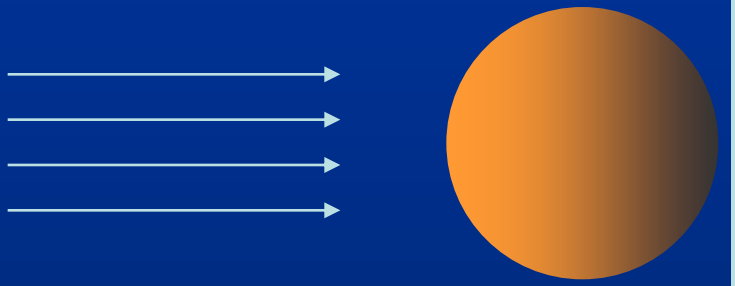
$A_{Terra} = 0,38$

Il ruolo dell'albedo nel riscaldamento della Terra



la copertura nuvolosa il 22 gennaio 2006

Modello termico di un pianeta



f = costante solare = 1367 W/m^2
(al di fuori dell'atmosfera terrestre)
R = raggio del pianeta
A = albedo
T = temperatura

$\pi R^2 f (1-A)$ Energia assorbita

$4\pi R^2 \sigma T^4$ Energia irradiata

Uguagliando

$$T^4 = \frac{f(1-A)}{4\sigma}$$

$T_{Terra} \simeq 250\ K = -23\ °C$??

Ho sbagliato i conti?

No

Ho trascurato qualcosa?

Sì

Cosa?

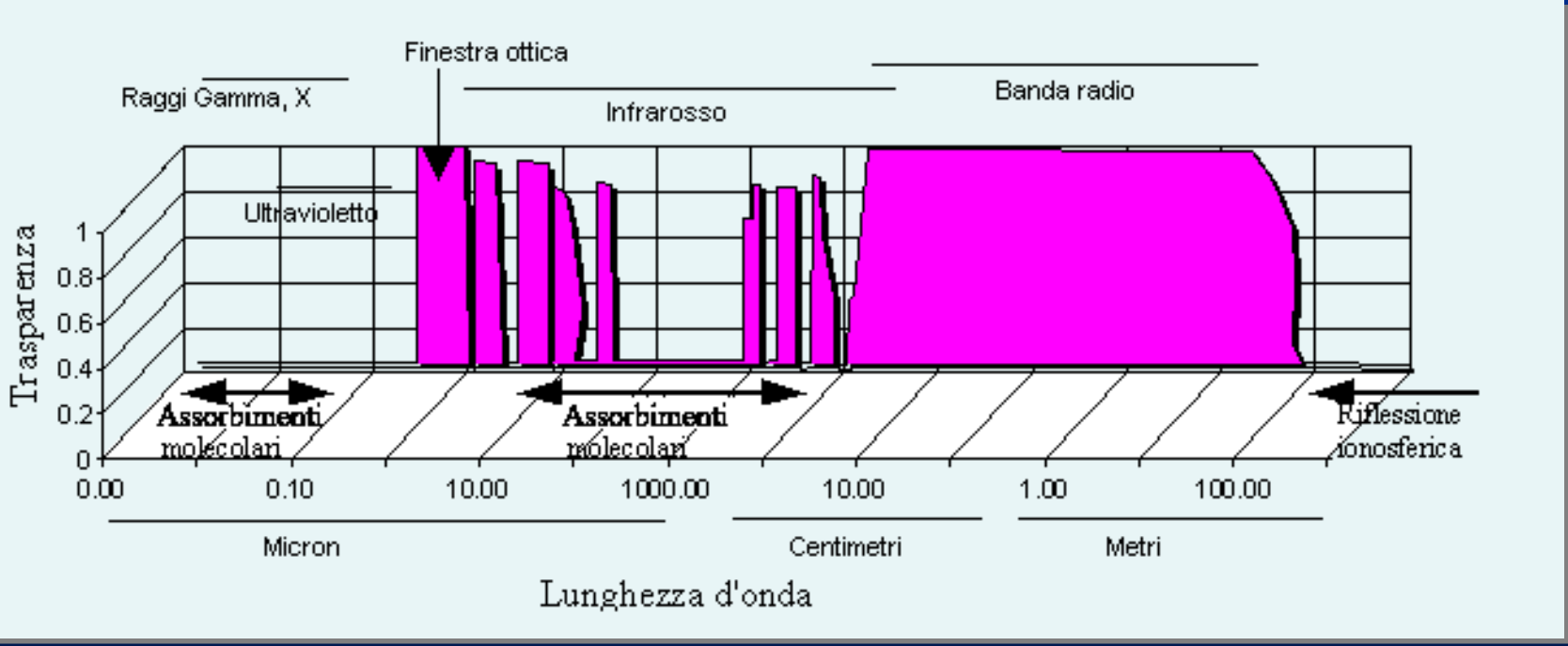
Insolazione dei pianeti rispetto alla Terra

	Distanza in U.A.= 149 597 870 696,0 ± ,146 metri	F Luminosità solare sul pianeta in watt/m^2 (al di fuori dell'atmosfera)	T_P Temperatura superficiale del pianeta senza atmosfera ^oC
Mercurio	0,387	8945	+161
Venere	0,723	2624	-20
Terra	1	1367	-23
Marte	1,523	588	-63
Giove	5,204	50	-171
Saturno	9,582	15	-196
Urano	19,201	3.7	-219
Nettuno	30,047	1.5	-228

Come mai allora la temperatura sulla Terra non è -25° C ???

Interazione della radiazione solare con l'atmosfera terrestre

Nei confronti della radiazione solare l'atmosfera agisce come un filtro



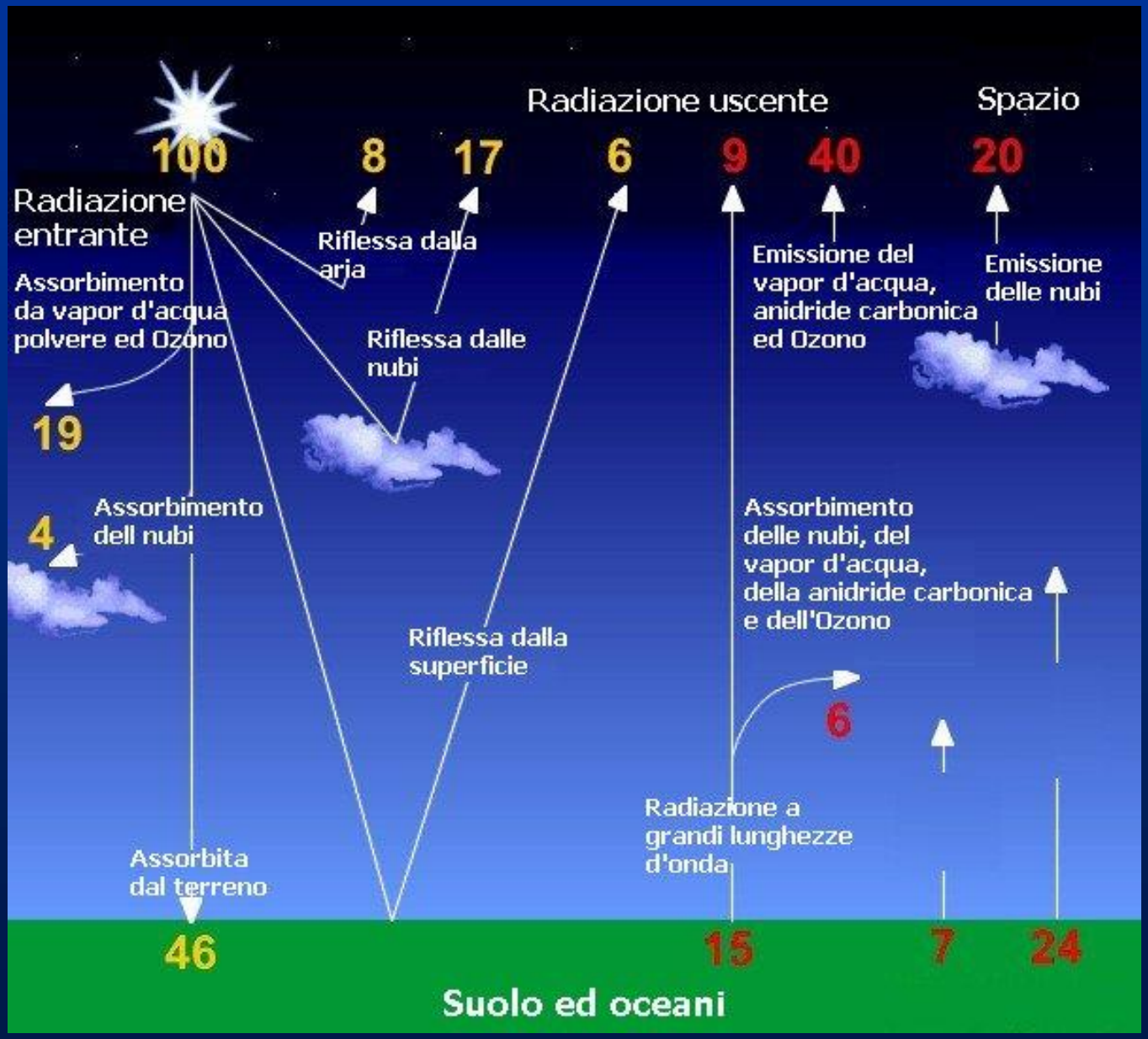
Proprietà fisiche dell'atmosfera terrestre

costante solare

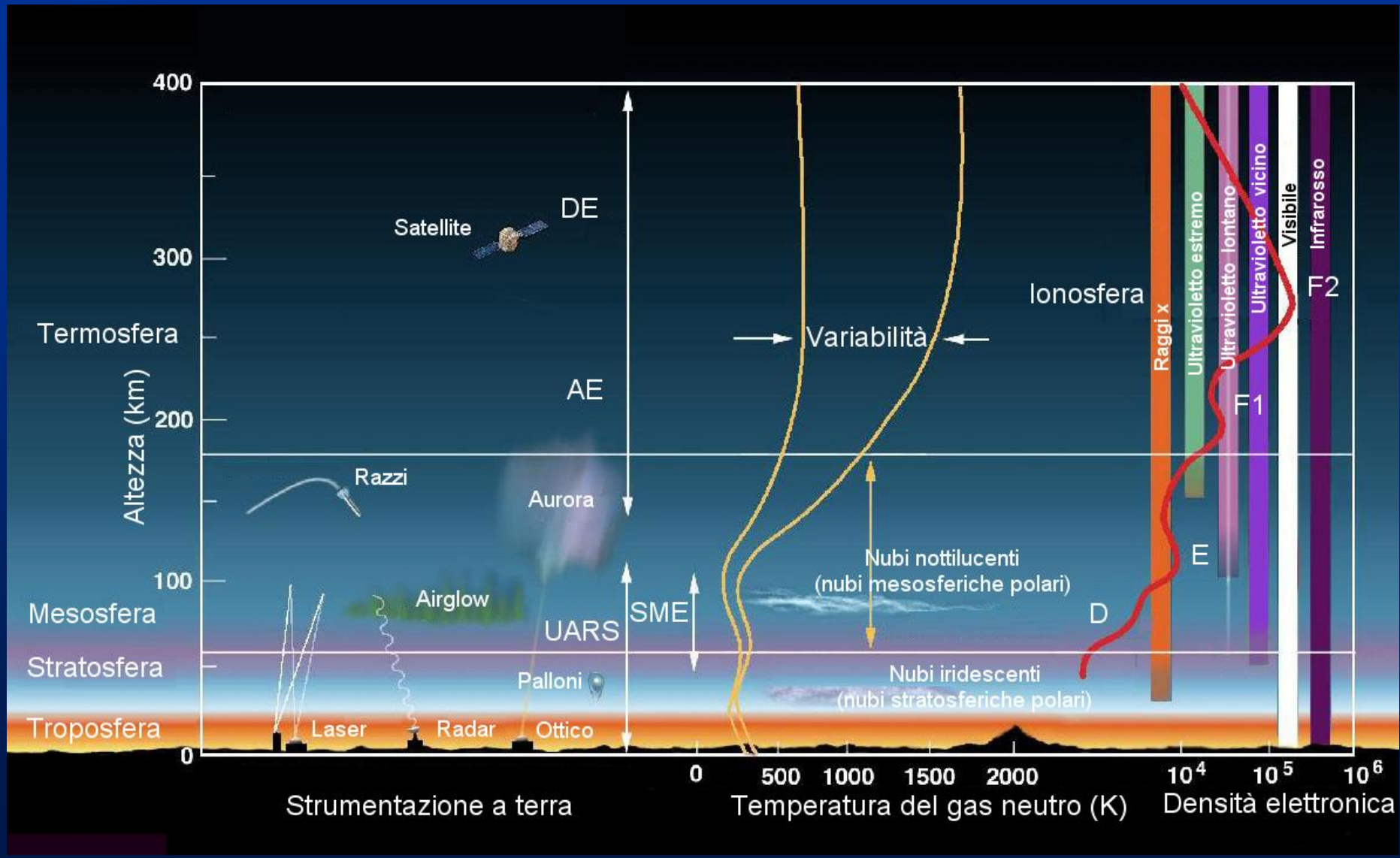
$F_{incidente}$ = 1367 W/m^2 (radiazione solare incidente al di fuori dell'atmosfera terrestre)

radiazione superficiale

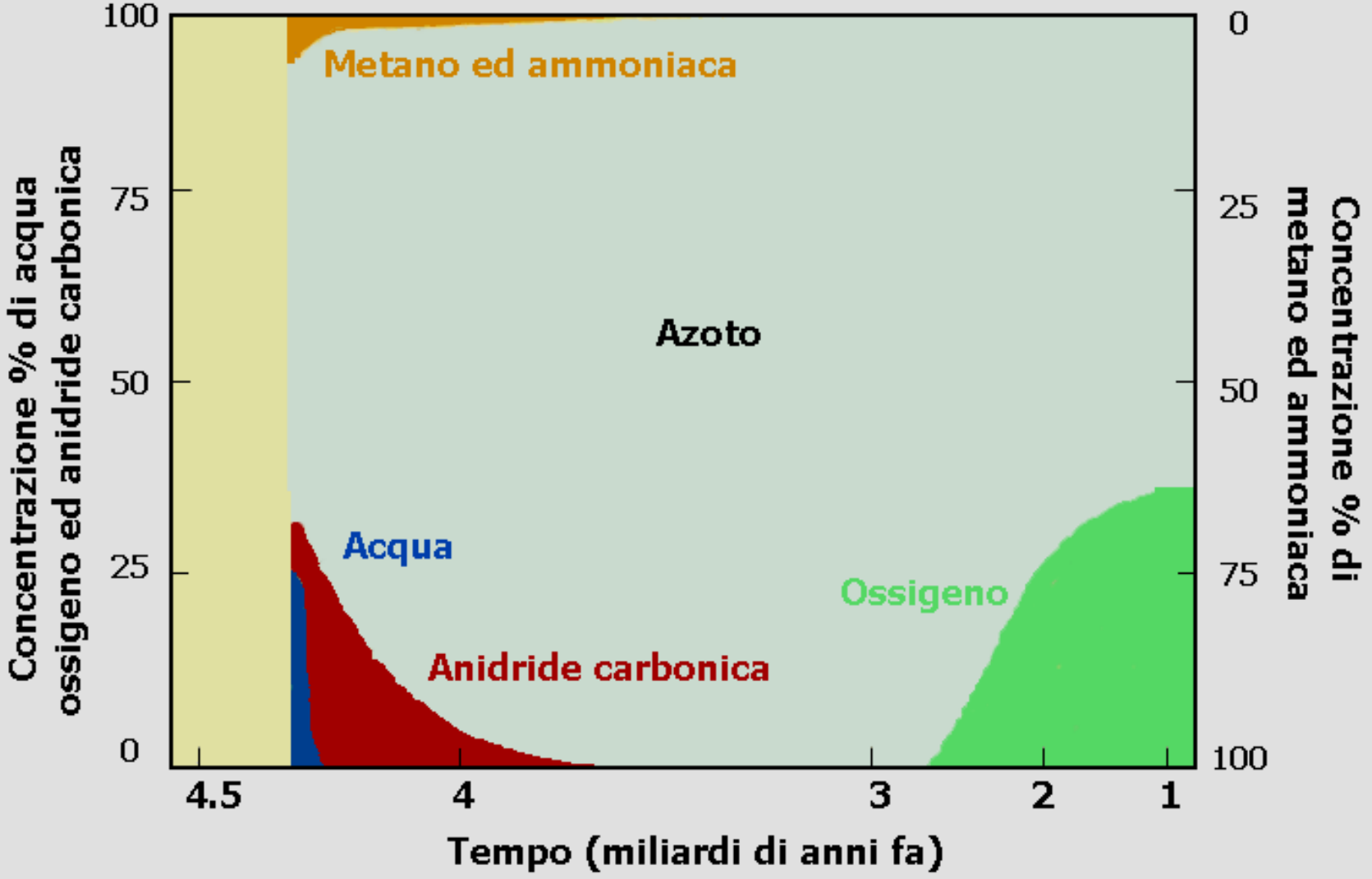
$F_{superficie}$ = 341 W/m^2



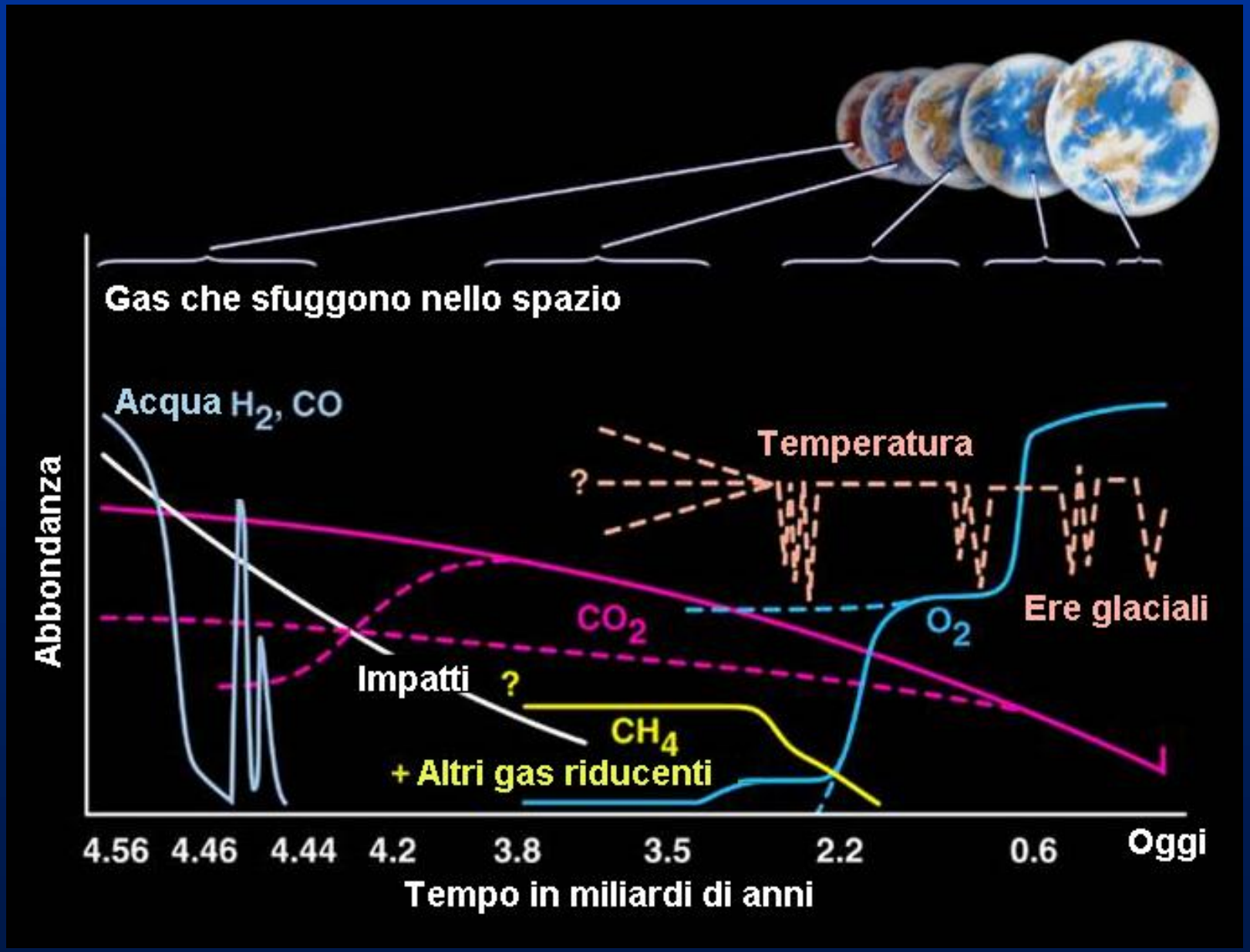
Proprietà fisiche dell'atmosfera terrestre



L’ evoluzione della atmosfera terrestre

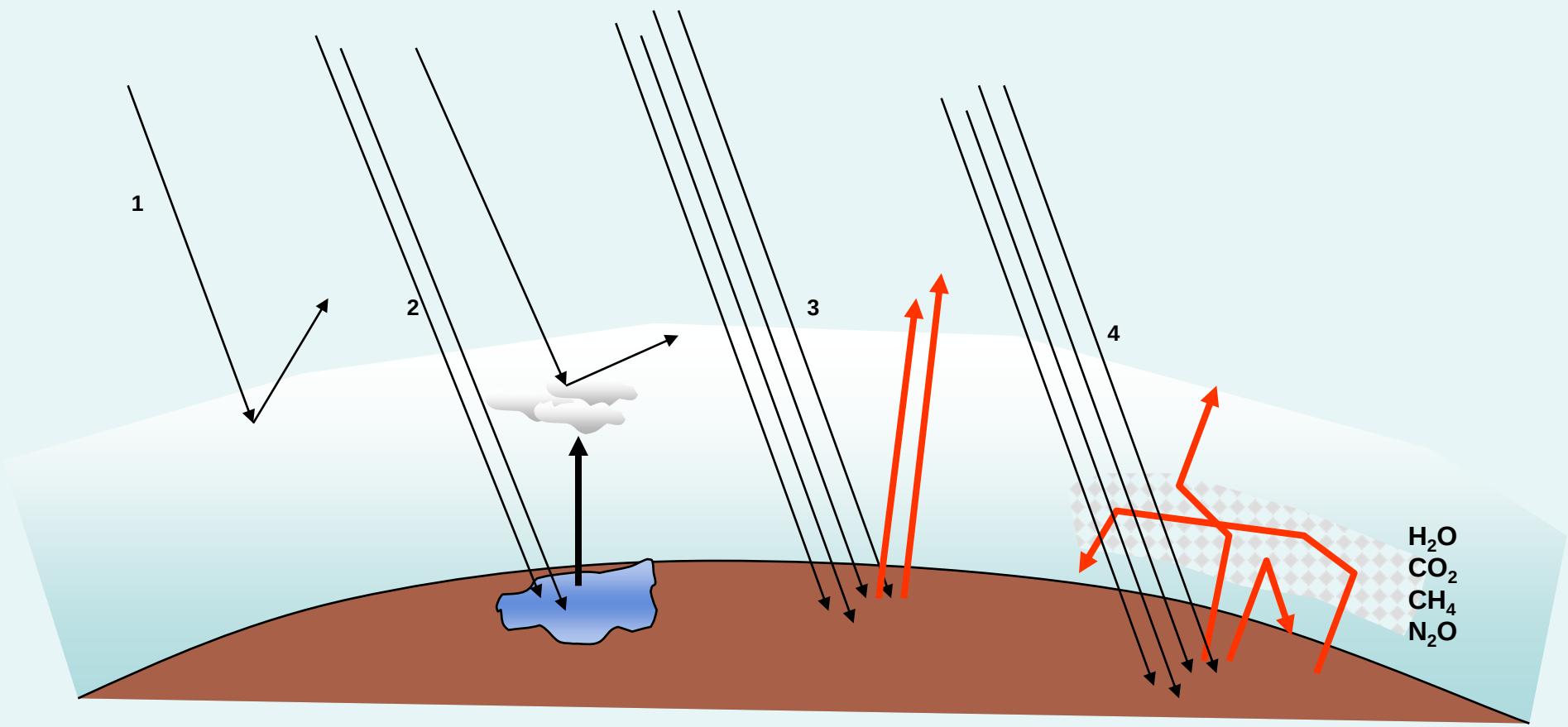


L’ evoluzione della atmosfera terrestre

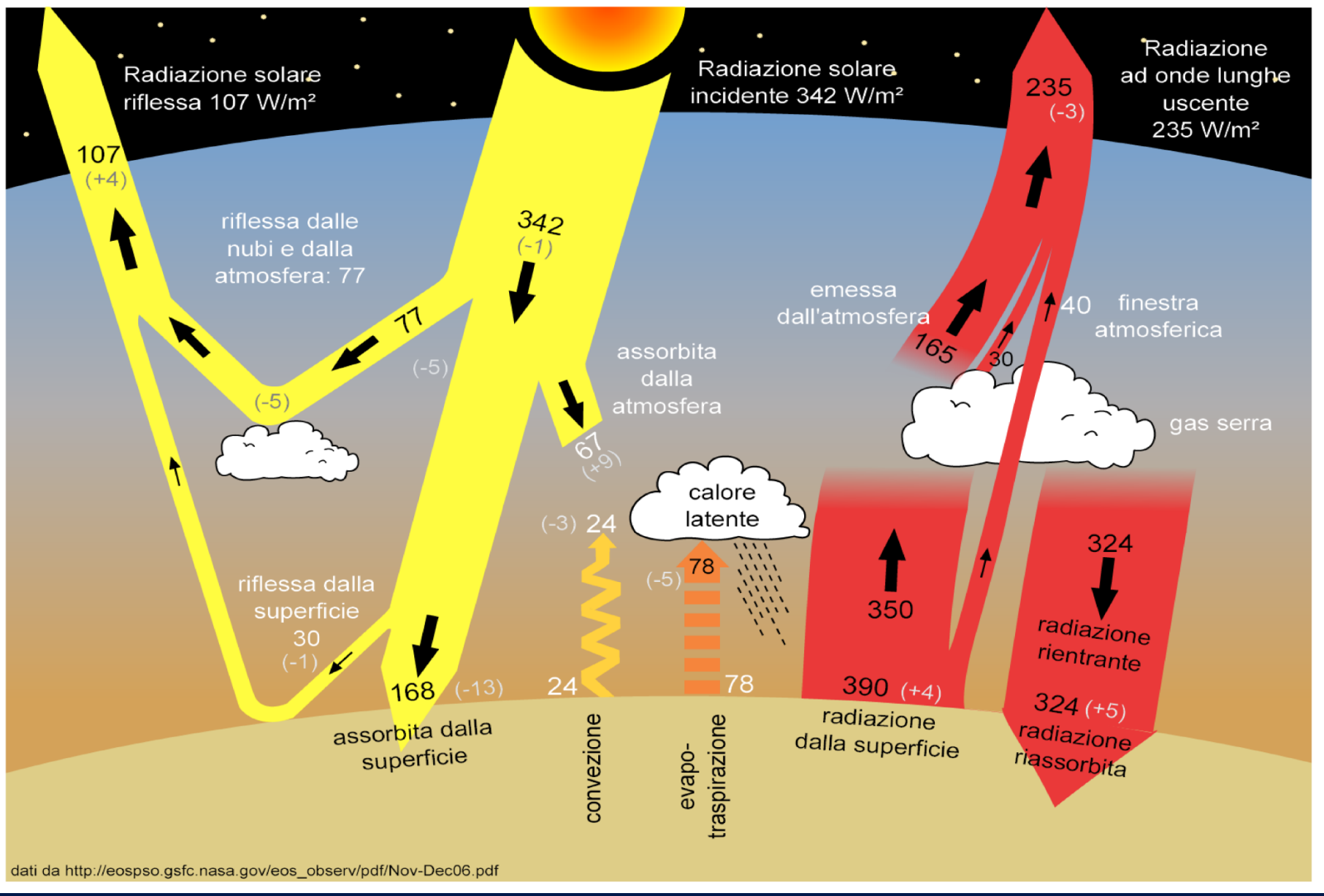


Effetto Serra

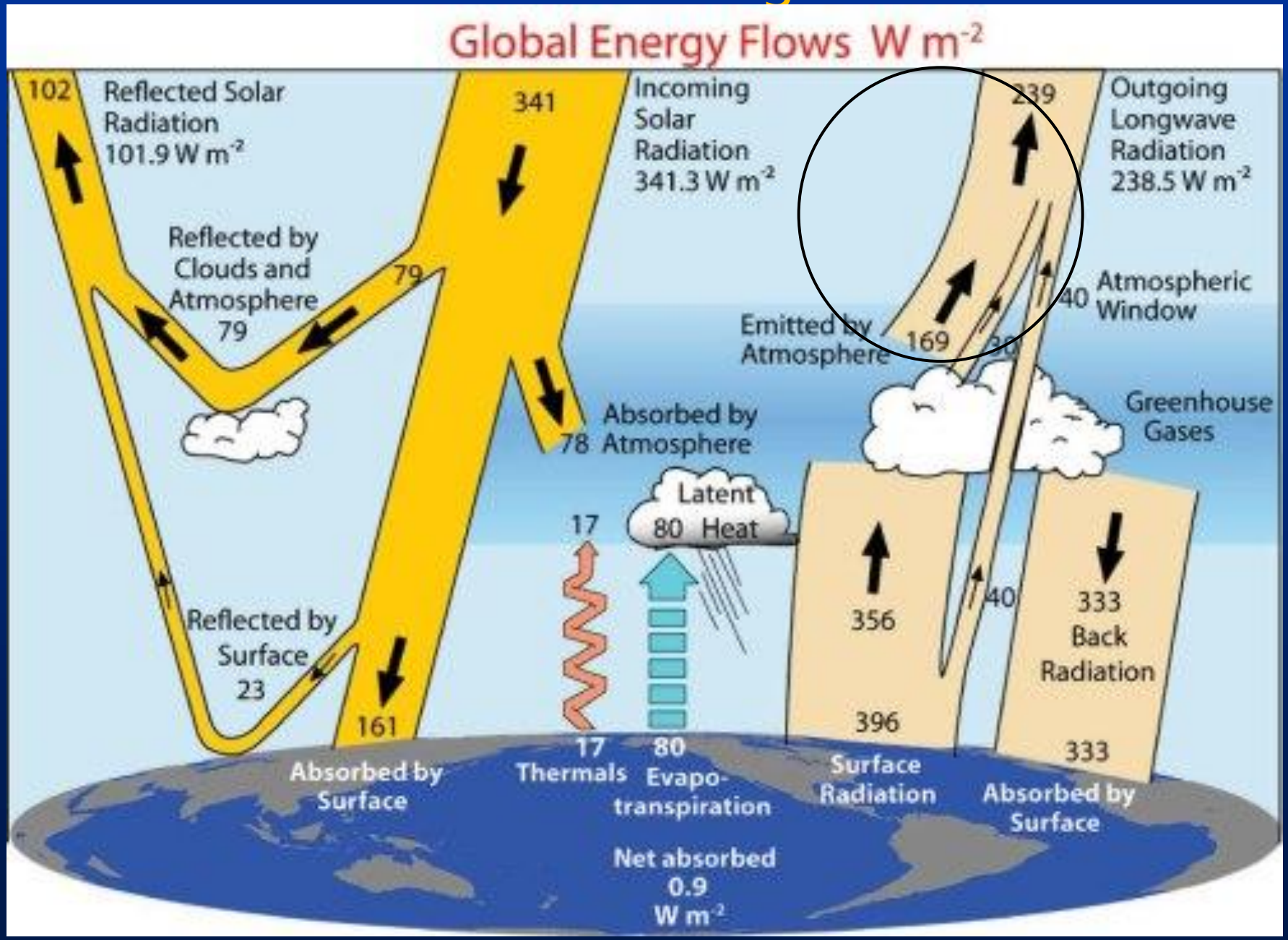
Effetto serra (greenhouse)



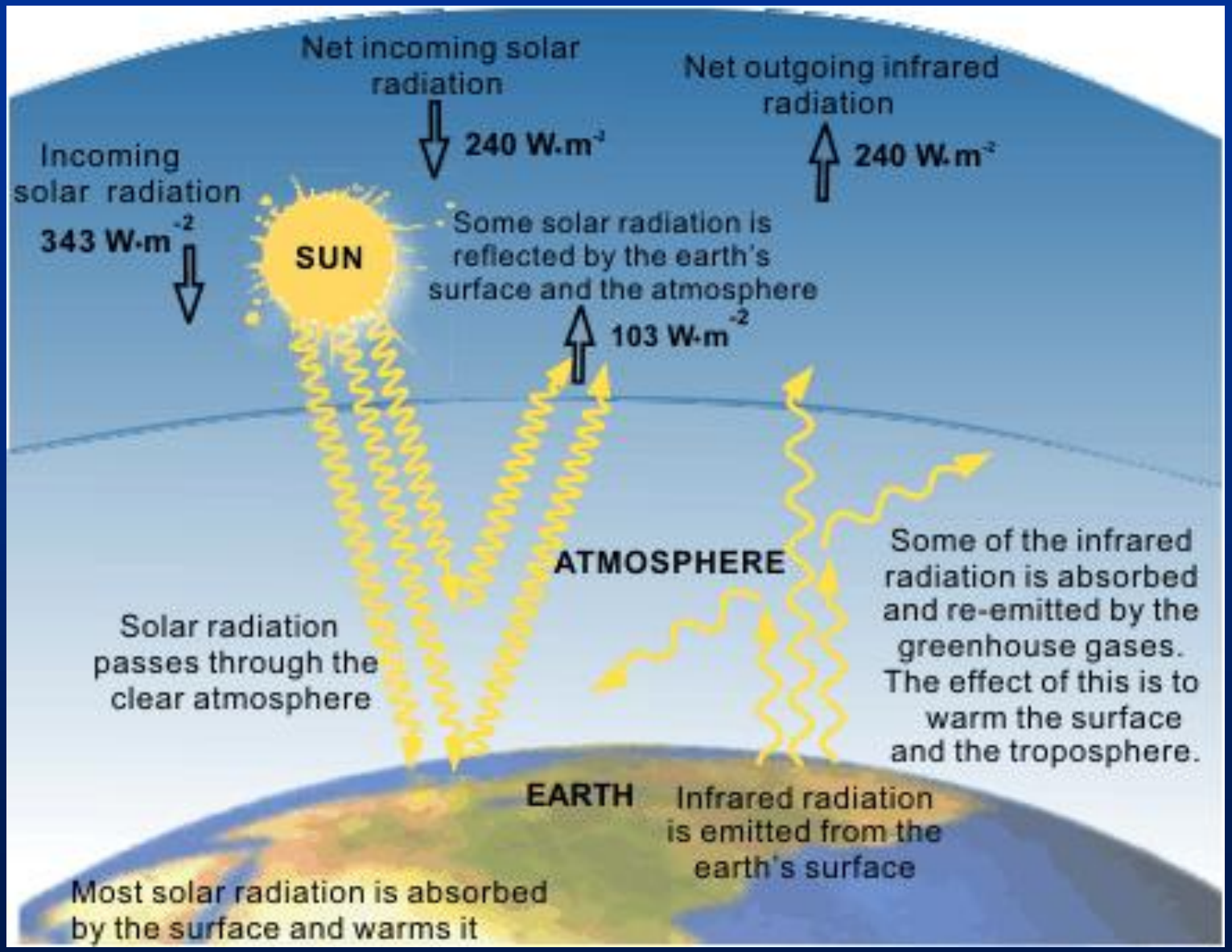
Bilancio energetico



Bilancio energetico



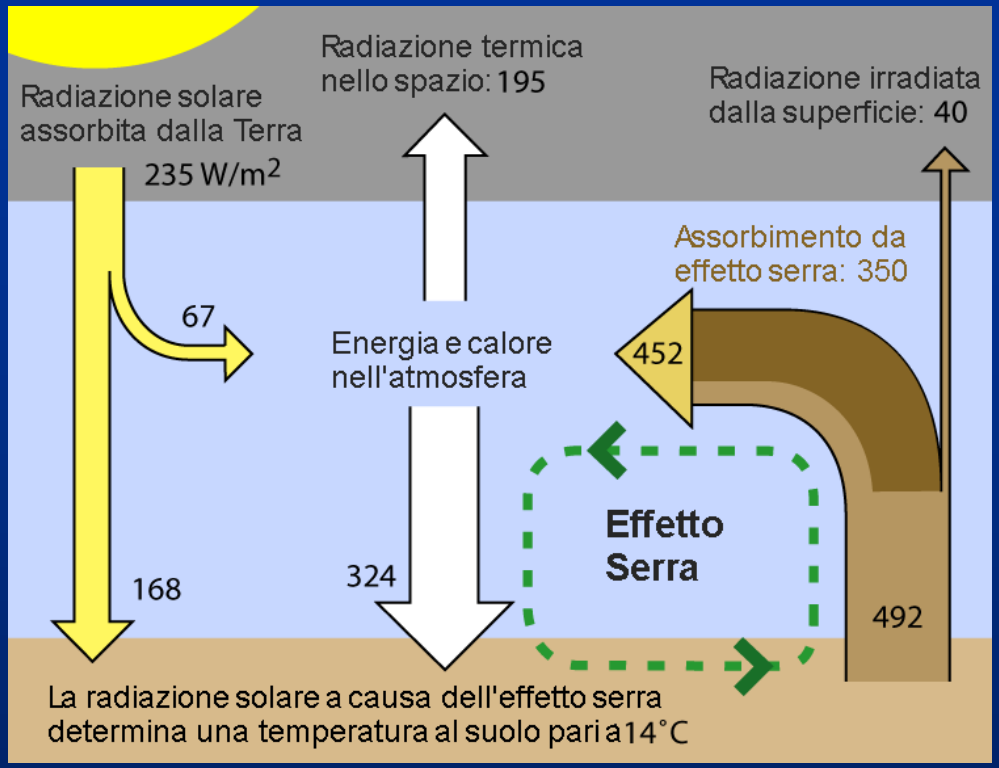
Bilancio energetico



Bilancio energetico 2000-2004

Global	Solar adsorb	Net solar	Solar reflect	LH evap	SH	Rad uo	Back rad	Net LW	Net down
ISCCP FD	70.8	165.7	22.8	-	-	393.9	345.4	48.5	-
NRA	64.4	160.4	45.2	83.1	15.6	396.9	336.5	60.4	1.3
JRA	74.7	169.8	25.6	90.2	19.4	396.9	324.1	72.8	-12.6
KK	78.2	161.2	23.1	80.0	17	396	333	63	0.9
Land									
ISCCP FD	70.6	148.7	40.1	-	-	381.2	327.6	53.6	-
NRA	59.1	155.1	70.3	50.2	26.3	371.0	296.8	74.1	4.5
JRA	71.9	155.8	51.6	39.4	27.4	374.4	287.4	87.0	2.0
KK	78.0	145.1	39.6	38.5	27	383.2	303.6	79.6	0
Ocean									
ISCCP FD	70.8	172.0	16.3	-	-	398.7	352.0	46.7	9.7
NRA	66.3	174.9	36.2	95	11.7	406.2	350.8	55.4	0.2
JRA	75.6		16.2	108.5	16.6	405.0	337.3	67.7	-17.9
HOAPS				103.6	14.6	-	-	56.1	
KK	78.2	167.8	16.6	97.1	12	400.7	343.3	57.4	1.3

Effetto serra (greenhouse)

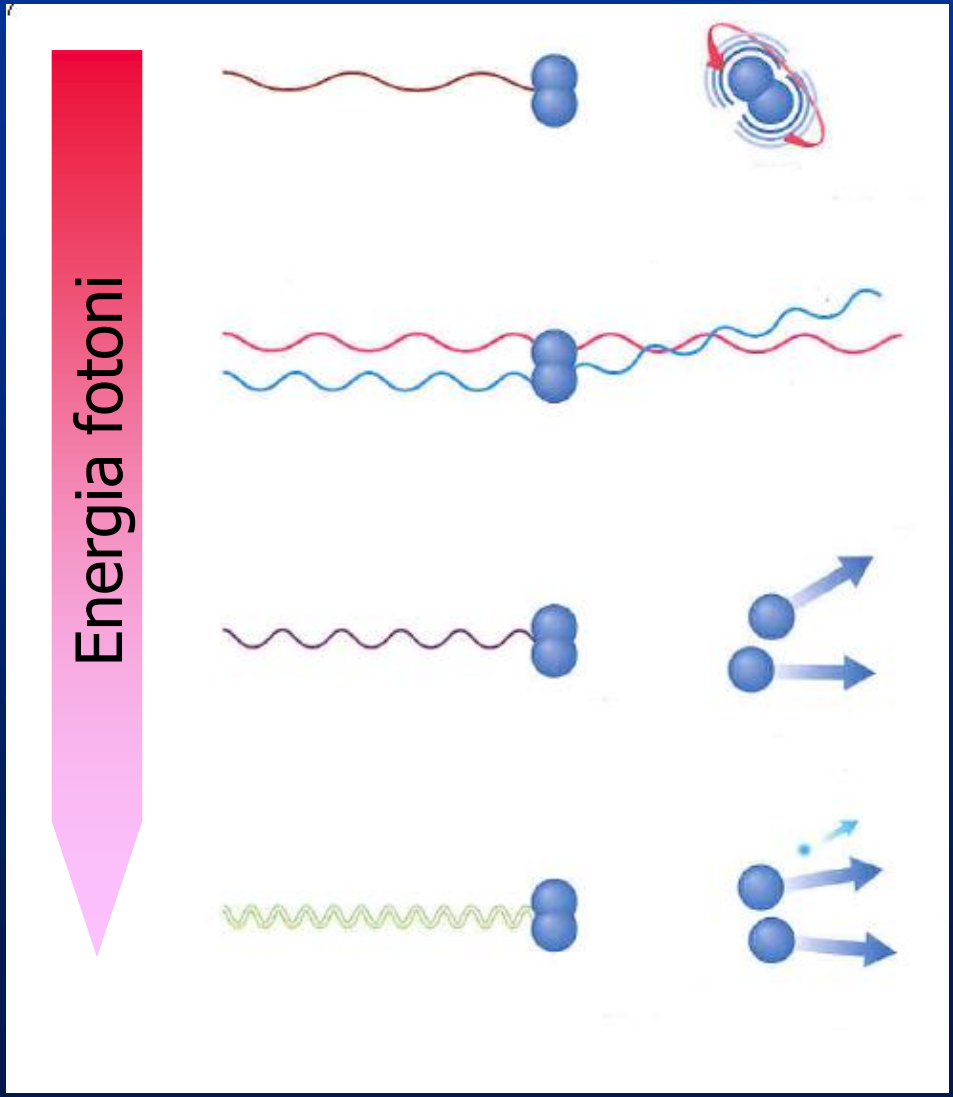


Parte della radiazione solare viene riflessa dall'atmosfera

Parte viene assorbita dagli specchi d'acqua e ne provoca l'evaporazione, formazione di nubi, riflessione della radiazione

Gran parte viene assorbita dal suolo e riemessa sotto forma di radiazione infrarossa. I gas serra assorbono la radiazione infrarossa e la riemettono in tutte le direzioni (determinano un riscaldamento dei bassi strati dell'atmosfera e del suolo sottostante)

Effetto serra (greenhouse)



I fotoni infrarossi sono assorbiti
Fanno vibrare e ruotare le molecole

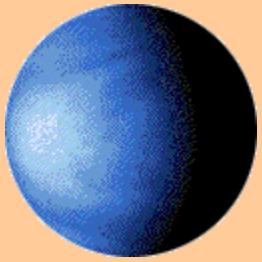
I fotoni visibili sono trasmessi, alcuni deviati (scattering). Quelli blu subiscono scattering maggiore

I fotoni ultravioletti dissociano le molecole

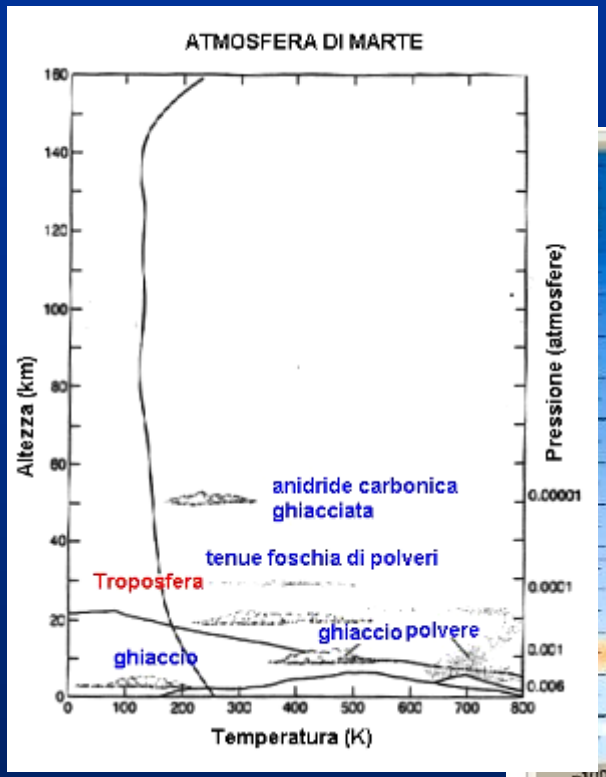
I fotoni X dissociano e ionizzano (strappano elettroni) le molecole_

La composizione delle atmosfere planetarie

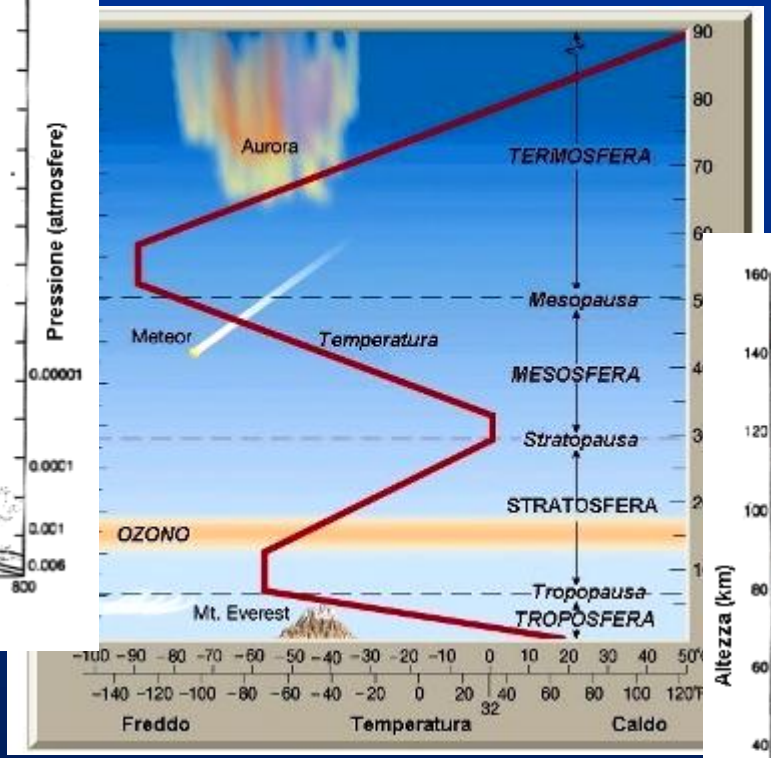
Per comprendere perchè si ha l'effetto serra è necessario studiare la composizione chimica dell'atmosfera dei pianeti (terrestri)

	VENERE	TERRA	MARTE
Pressione (mbar)	100.000	1,000	6
		COMPOSIZIONE	
CO_2	>98%	**0,0385%**	96%
N_2	1%	**78%**	2,5%
Ar	1%	**0,93%**	1,5%
O_2	0,0%	**21%**	2,5%
H_2O	0,0%	**0,33%**	0-0,1%
			

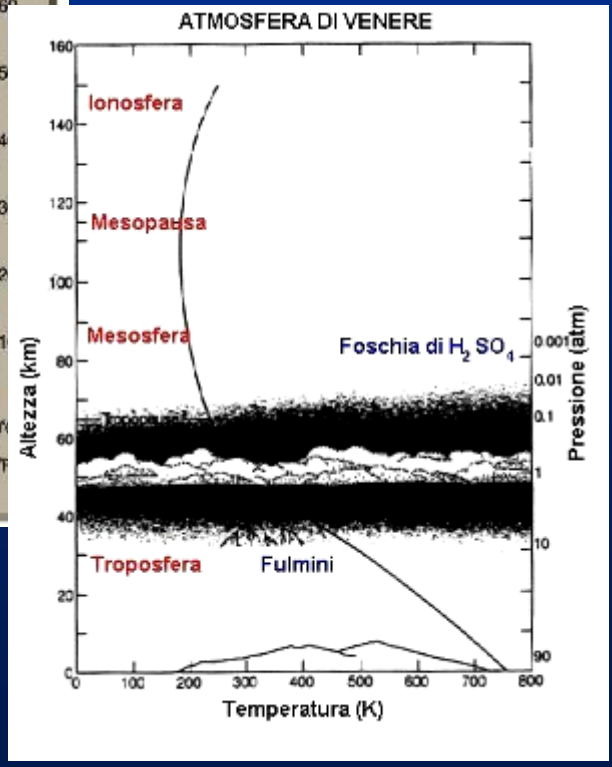
Le atmosfere dei pianeti interni



Marte

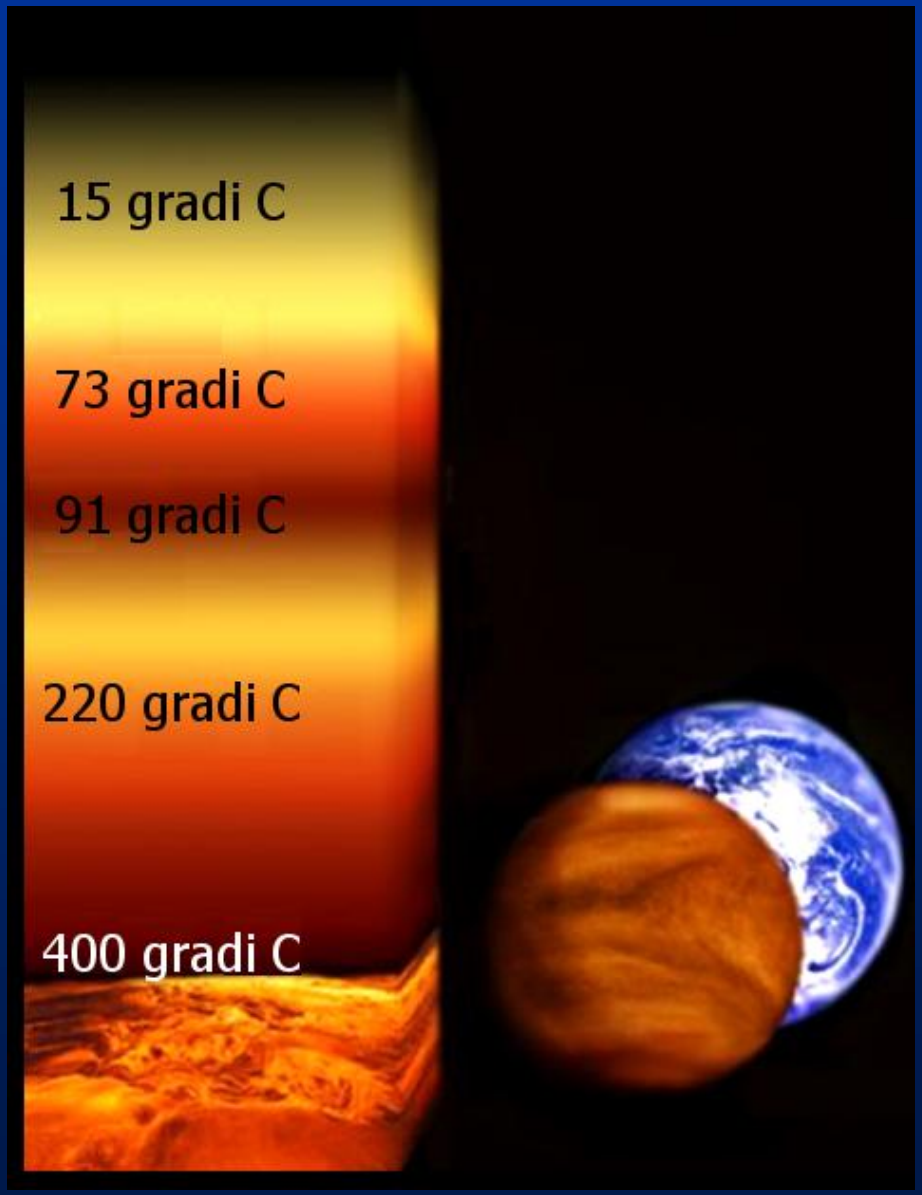


Terra



Venere

L’effetto serra su Venere



La composizione dell'atmosfera terrestre

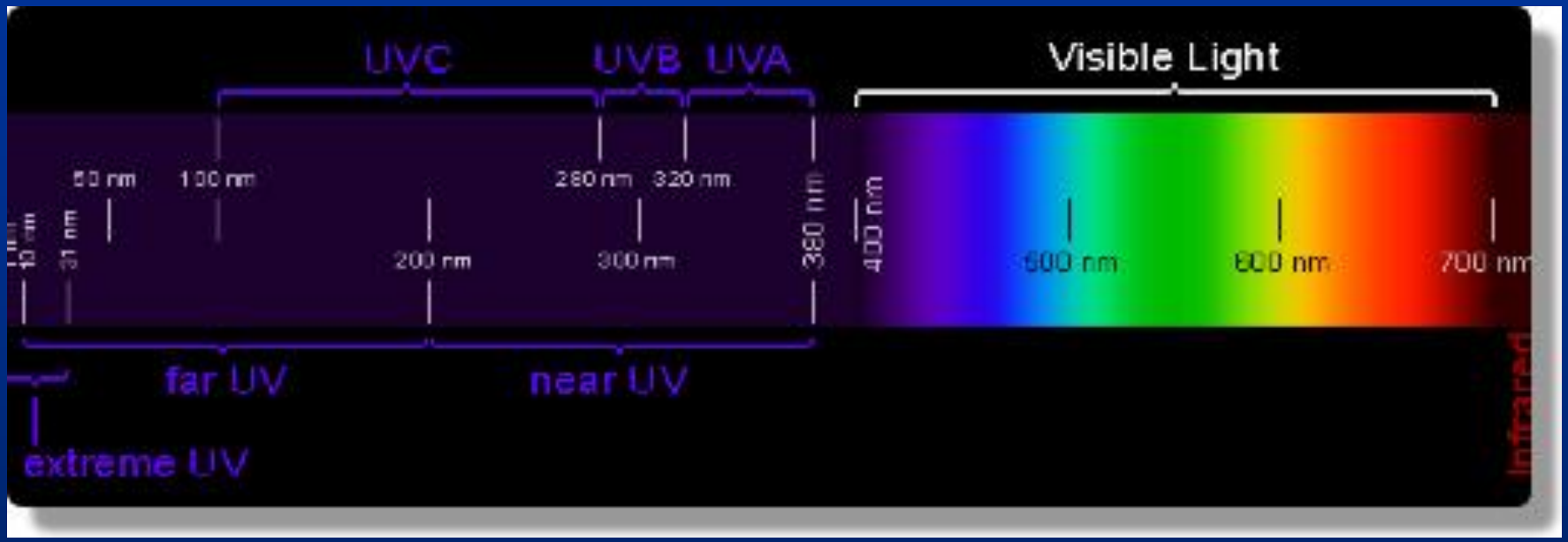
Azoto	78,08%
Ossigeno	20,95%
Argon	0,93%
Vapore acqueo	0,33% (gas serra)
Anidride carbonica	0,0400 % (400 ppm) (gas serra)
Neon	0,00181% (18 ppm)
Elio	0,0005 % (5 ppm)
Metano	0,0002 % (2 ppm) (gas serra)
Idrogeno	0,00005 % (0,5 ppm)
Kripton	0,000011 % (0,11 ppm)
Xeno	0,000008 % (0,08 ppm)
Ozono	0,000004 % (0,04 ppm)
Biossido di azoto	Tracce (gas serra)

La composizione dell'atmosfera terrestre

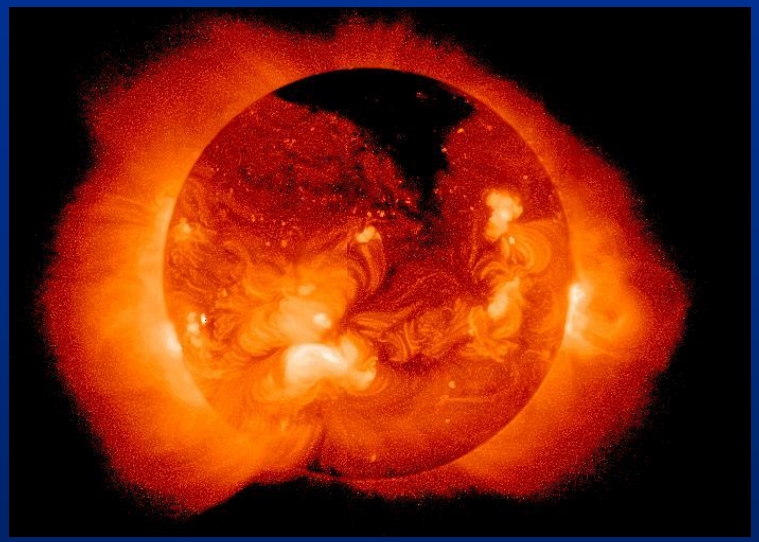
Atmosfera secca per volume	
ppmv: parti per milione	
Gas	**Volume**
Azoto (N_2)	**780 840 ppmv (78,084 %)**
Ossigeno (O_2)	**209 460 ppmv (20,946 %)**
Argon (Ar)	**9 340 ppmv (0,9340 %)**
Anidride Carbonica (CO_2)	**400 ppmv (0,040 %)**
Neon (Ne)	**18,18 ppmv (0,001818 %)**
Elio (He)	**5,24 ppmv (0,000524 %)**
Metano (CH_4)	**1,79 ppmv (0,000179 %)**
Krypton (Kr)	**1,14 ppmv (0,000114 %)**
Idrogeno (H_2)	**0,55 ppmv (0,000055 %)**
Protossido di Azoto (N_2O)	**0,3 ppmv (0,00003 %)**
Xenon (Xe)	**0,09 ppmv ($9x10^{-6}$ %)**
Ozono (O_3)	**0,0 a 0.07 ppmv (0 % a $7x10^{-6}$ %)**
Biossido di Azoto (NO_2)	**0,02 ppmv ($2x10^{-6}$ %)**
Iodio (I)	**0,01 ppmv ($1x10^{-6}$ %)**
Monossido di Azoto (CO)	**0,1 ppmv**
Ammoniaca (NH_3)	**tracce**
Non incluso nella composizione dell'atmosfera "secca":	
Vapore d'acqua (H_2O)	**~0,40 % su tutta l'atmosfera, 1%-4 % alla superficie**

Insolazione e Clima

Radiazione solare



Variabilità della radiazione solare

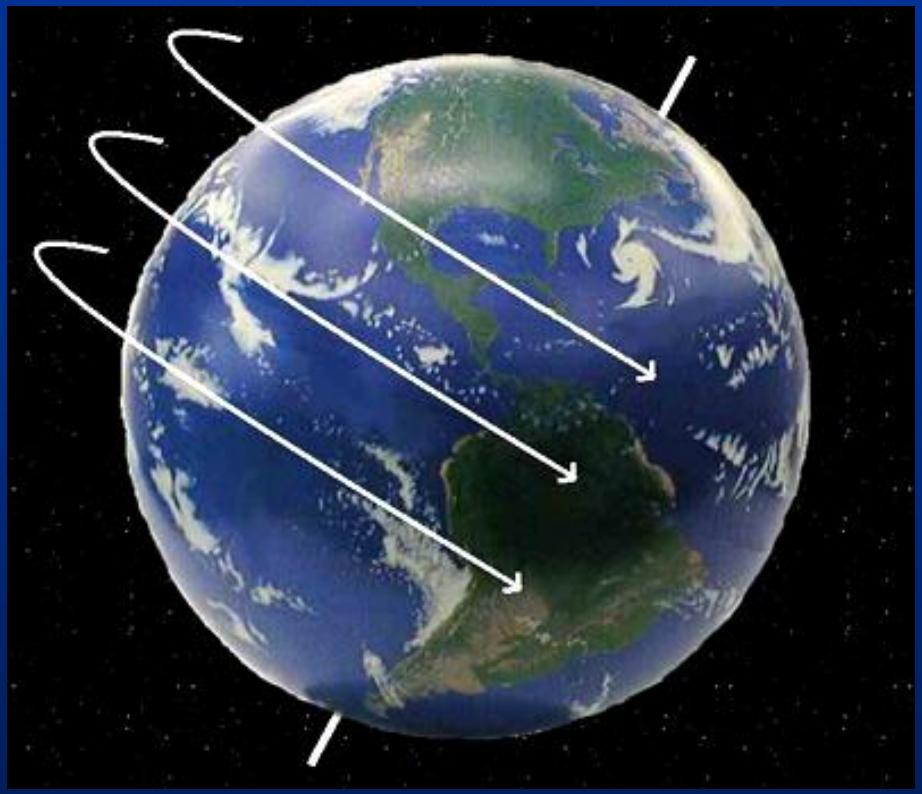


La variazione dell'insolazione è legata a due effetti

La rotazione in 24 ore delle Terra attorno al proprio asse (rotazione terrestre)

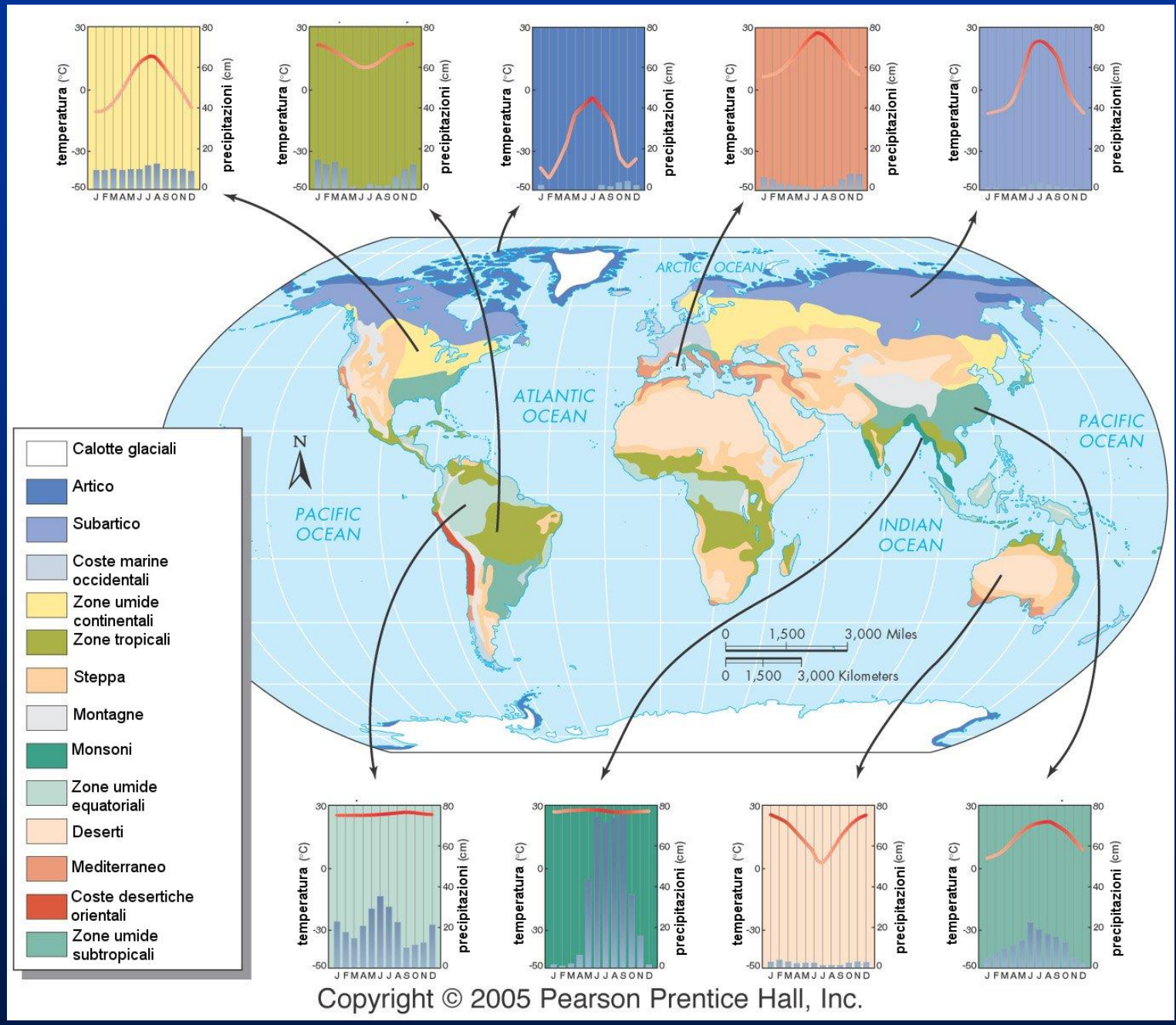
La rotazione in 365 giorni della terra attorno al Sole (rivoluzione terrestre)

Variazione giornaliera della radiazione solare Alternarsi del giorno e della notte



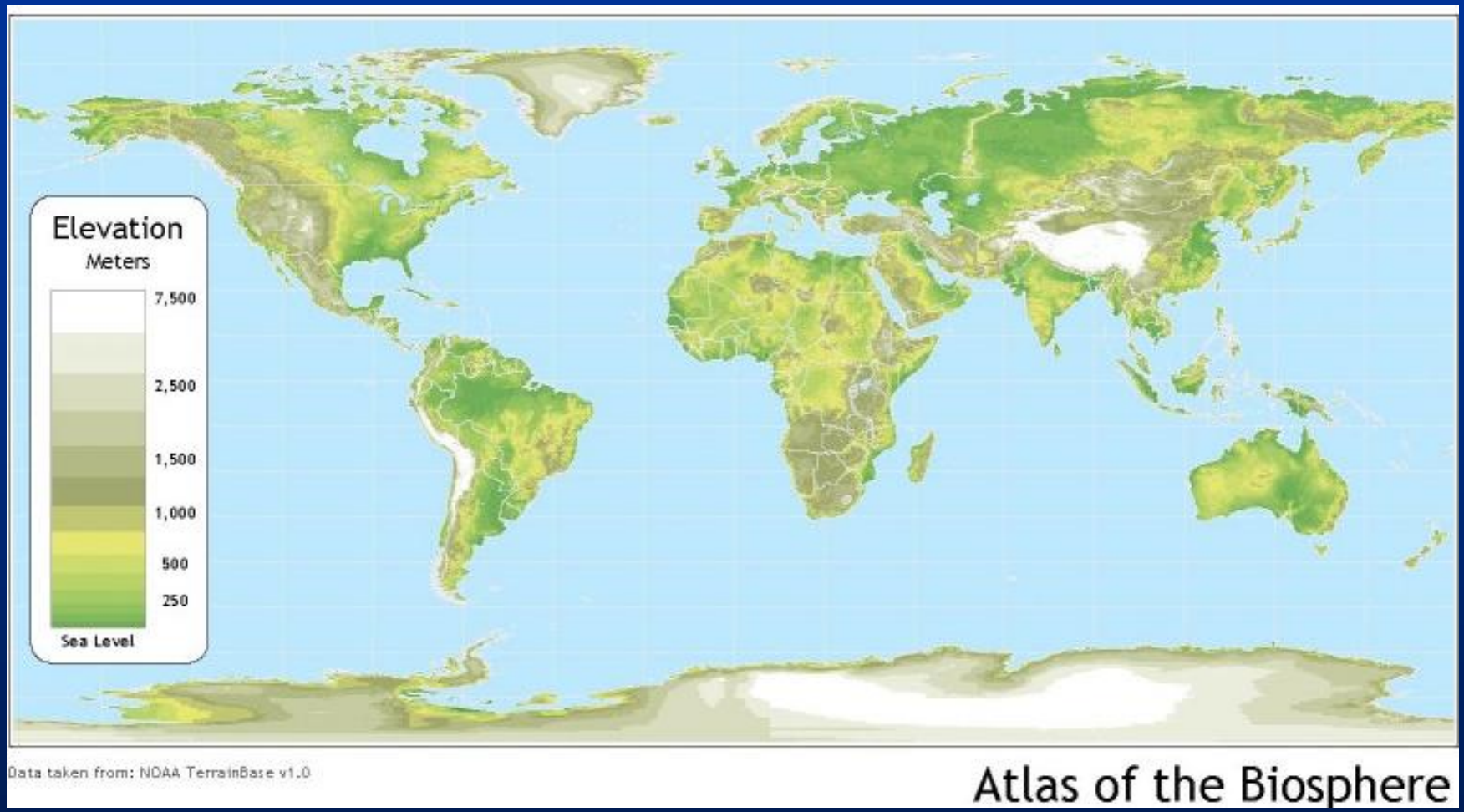
Rotazione terrestre, il giorno
e la notte-periodo 24 ore

Fasce climatiche -variazioni in latitudine

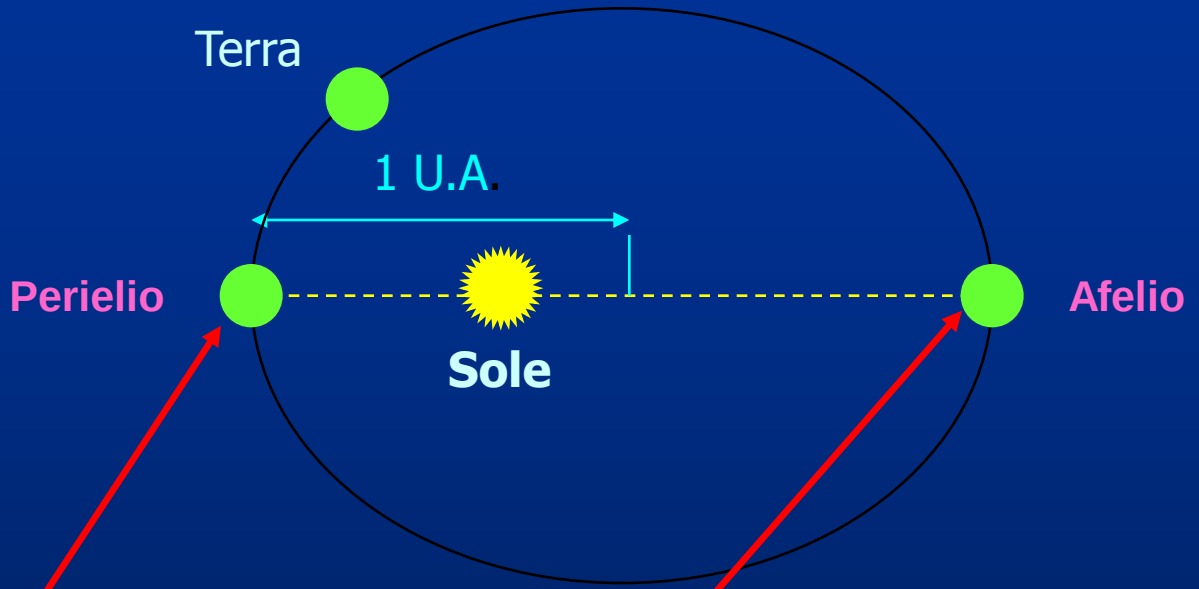


Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Variazioni climatici-struttura verticale

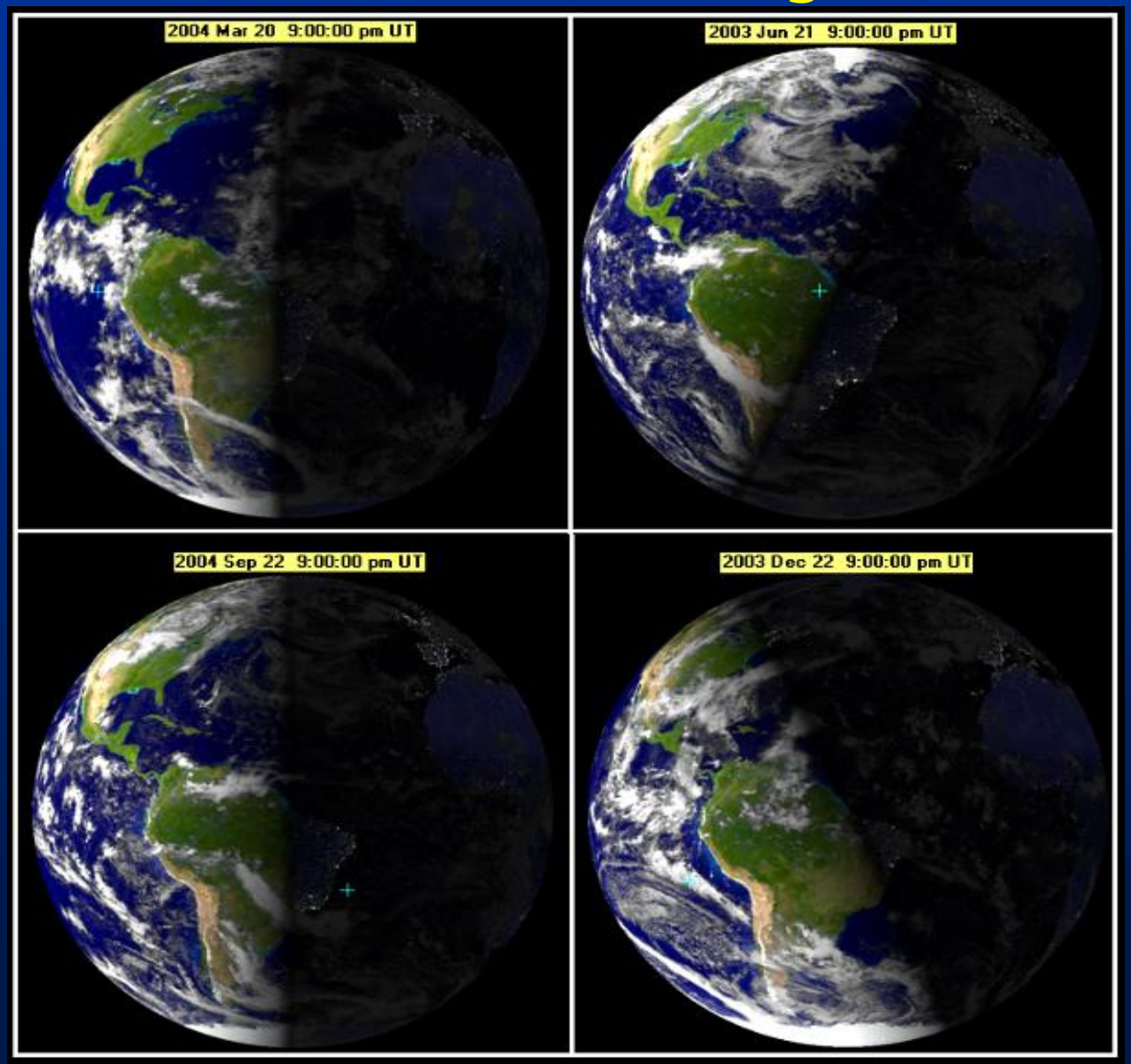


Variazione annua (365 giorni) della radiazione solare con la distanza

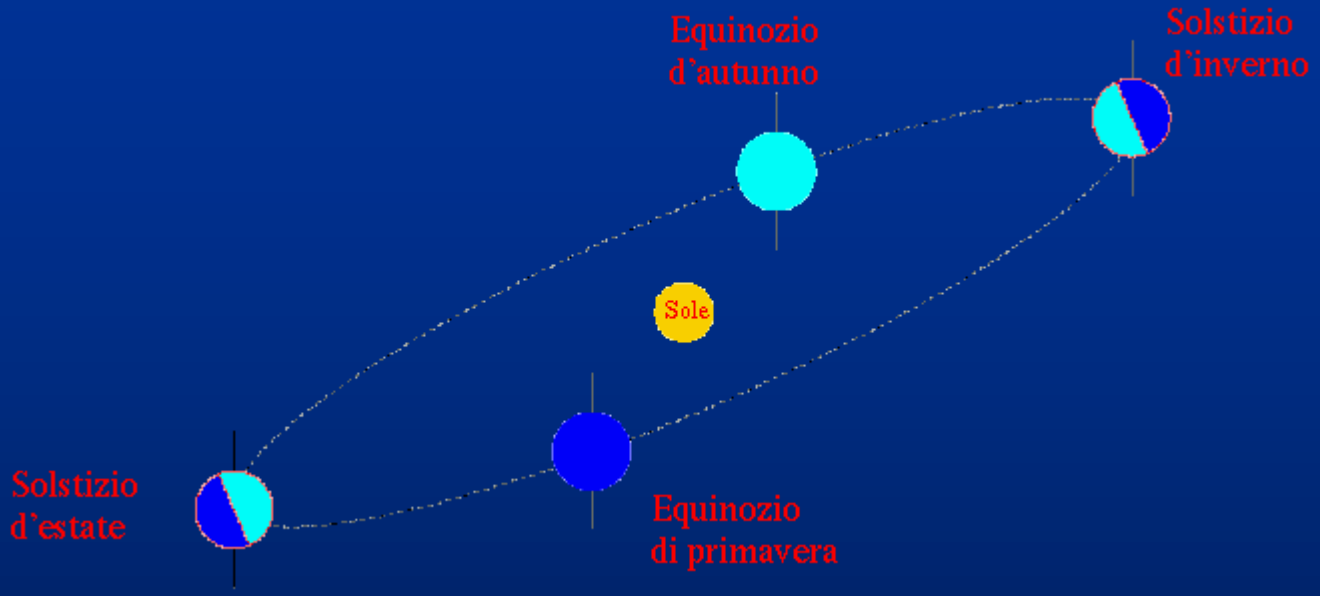


- L'orbita della Terra non è una circonferenza, ma un'ellisse, di cui il Sole occupa una posizione eccentrica, trovandosi in uno dei due fuochi
- la distanza Terra-Sole durante l'anno varia da un minimo di 0,98325 U.A. al perielio (inizio di gennaio)
- ad un massimo di 1,01675 all'afelio (inizio luglio), con una variazione del 3% del valore medio

Variazione annua della radiazione solare
Alternarsi delle stagioni

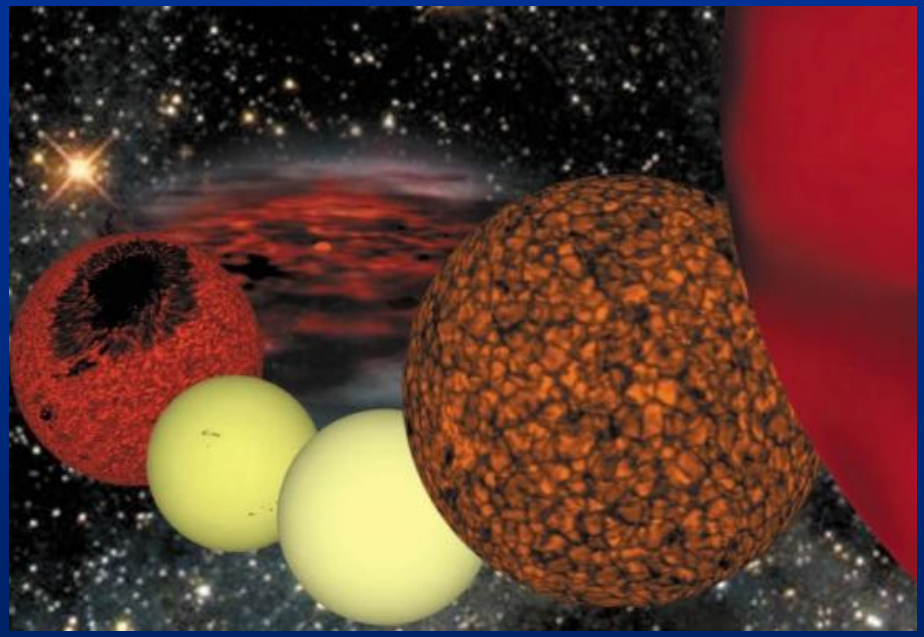


Variazione annua (365 giorni) della radiazione solare con la distanza



- Periodo di 365 giorni - l'inclinazione terrestre di 23,7 ° determina la presenza delle stagioni
- Indipendentemente dalle stagioni si ha una variazione del flusso solare che arriva a Terra del 7%.
- La cosa che occorre notare è che: il massimo del flusso solare arriva a Terra, contrariamente a quello che si può pensare, nel pieno dell'inverno nel nostro emisfero, mentre durante la nostra estate il flusso è al minimo

L’evoluzione della stella Sole



La luminosità solare non è sempre stata la stessa (variazioni lente su intervalli di tempo di milioni di anni)

Ha influito sul clima terrestre per miliardi di anni ed agisce su lunghissimi intervalli temporali

Variabilità dell'insolazione determina le ere glaciali

Intervalli di tempo da circa 20000 a 100000 anni causati da:

1. Variazioni millenarie dei parametri orbitali eccentricità dell'orbita
2. Variazione dell'inclinazione dell'asse di rotazione terrestre

Variabilità climatica della radiazione solare dovuta all'attività solare

Attività solare (brevi intervalli di tempo da 2000 a 600, a 22 anni)

Sicuramente è stata importante negli ultimi 2000 anni

Può influire sul clima terrestre anche oggi

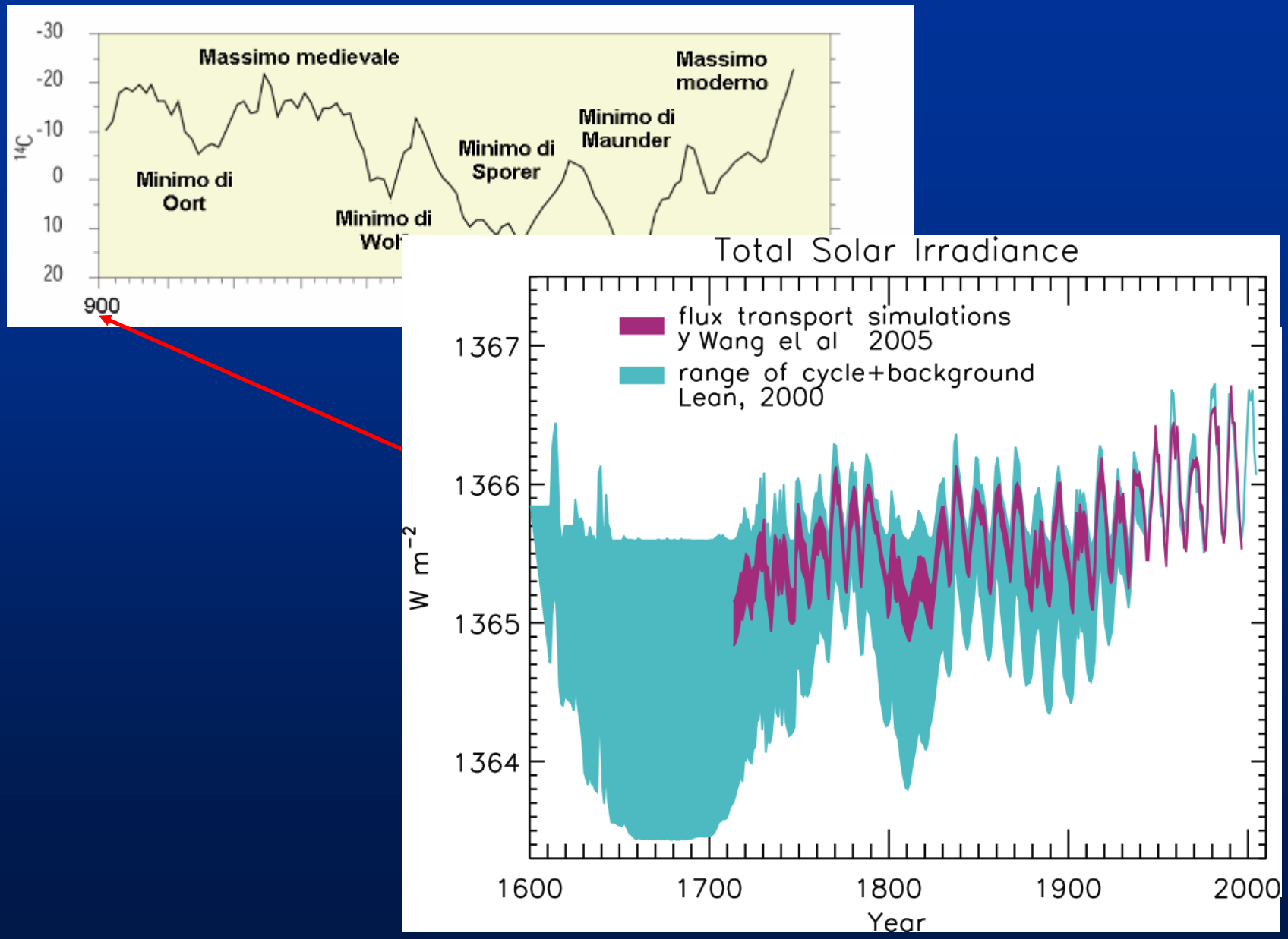
Variabilità Climatica
Il clima terrestre e l'attività solare

L'attività solare è connessa a

1. Macchie solari
2. Brillamenti
3. Protuberanze
4. E più in generale all'attività magnetica del Sole

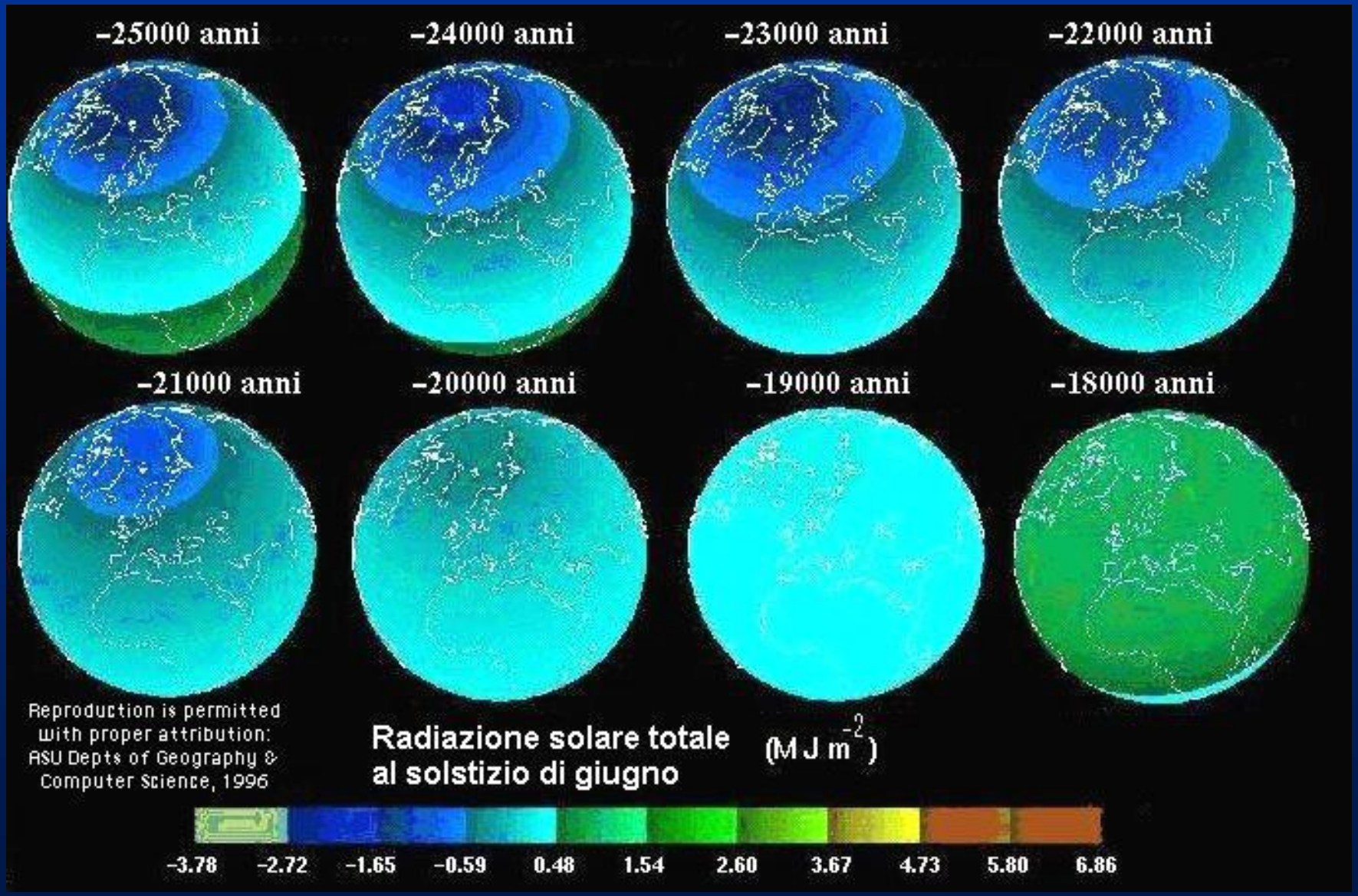
Producono effetti su brevi periodi di tempo (decine di anni) sul clima terrestre ! Sono stati importanti per la variazione del clima negli ultimi 2000 anni

Variabilità Climatica Il clima terrestre e l'attività solare

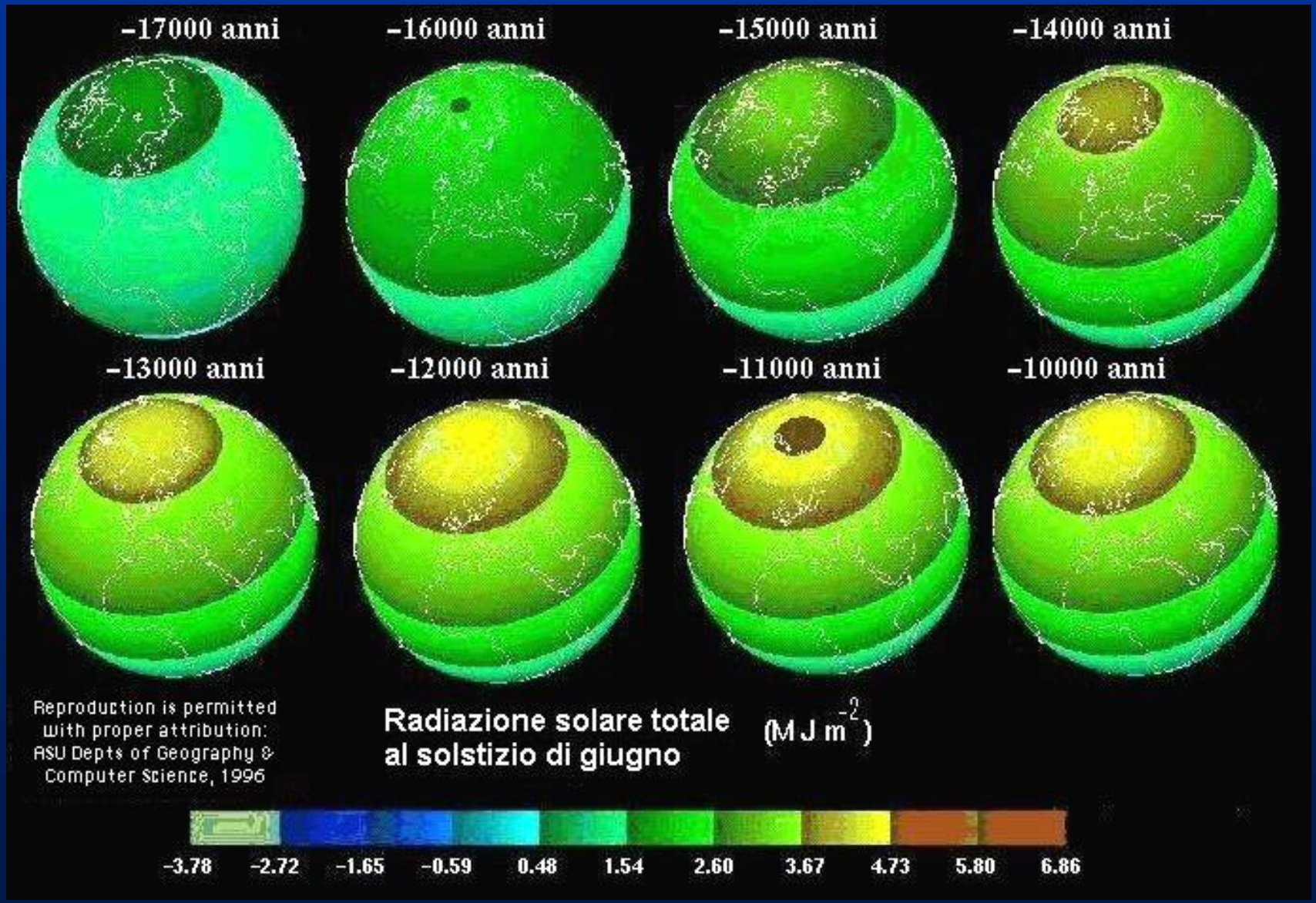


Cicli di Milankovitch

I cicli di Milankovitch - come varia l'insolazione



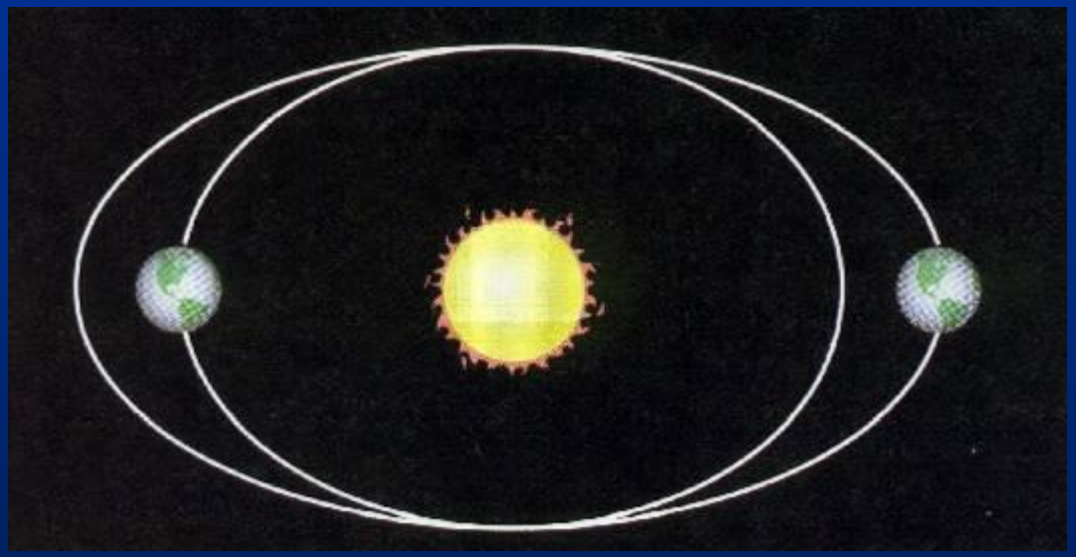
I cicli di Milankovitch - come varia l'insolazione



Variazioni orbitali e clima terrestre

I cicli glaciali sono innescati da variazioni astronomiche ??

L'accendino climatico

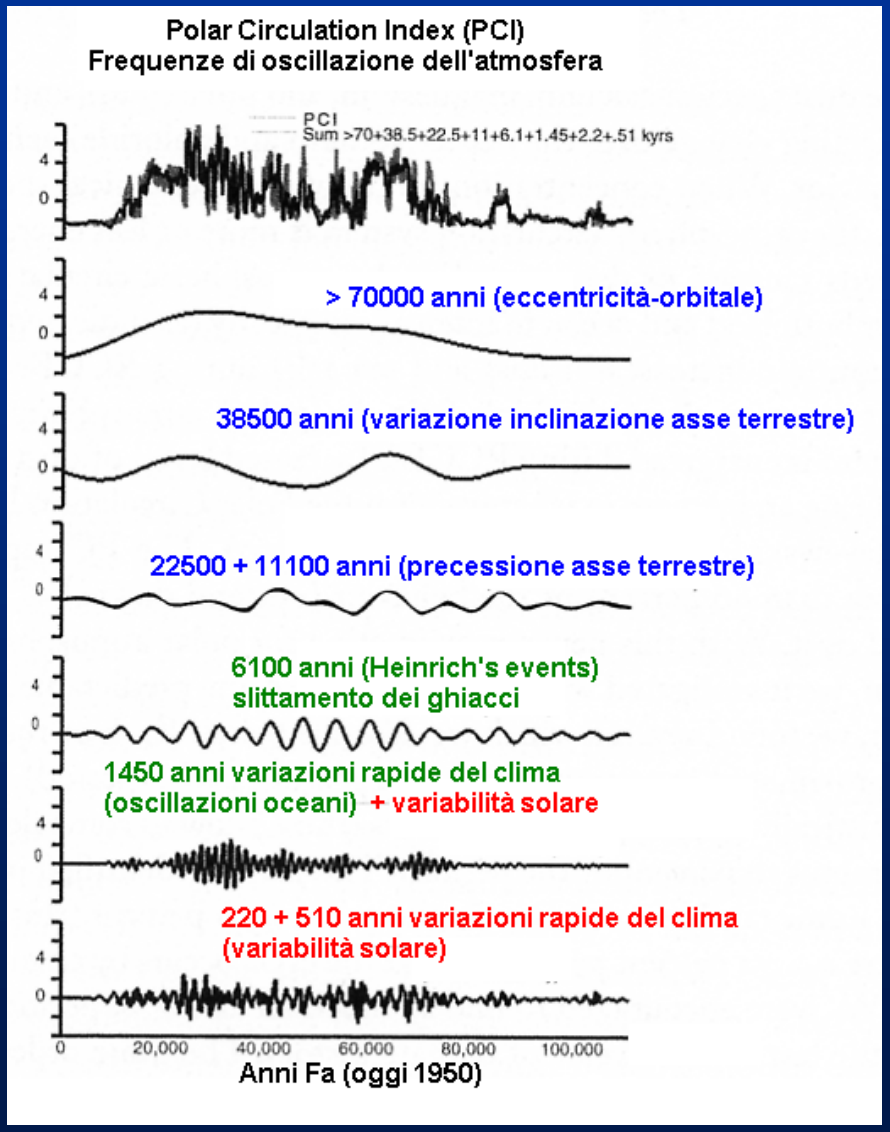


I dati paleoclimatici suggeriscono variazioni delle quantità osservate modulate su diversi periodi tra cui quelli di:

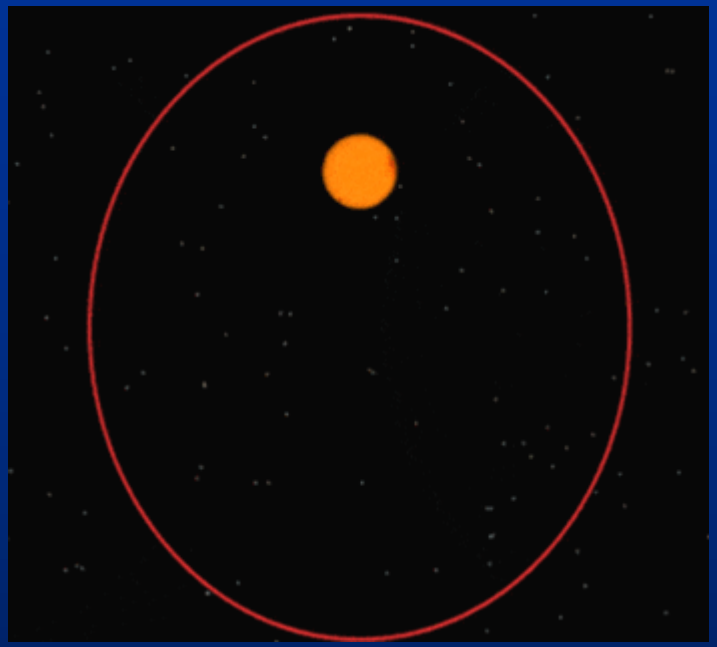
19000, 26000, 41000 e 100000 anni

Variazioni orbitali e clima terrestre

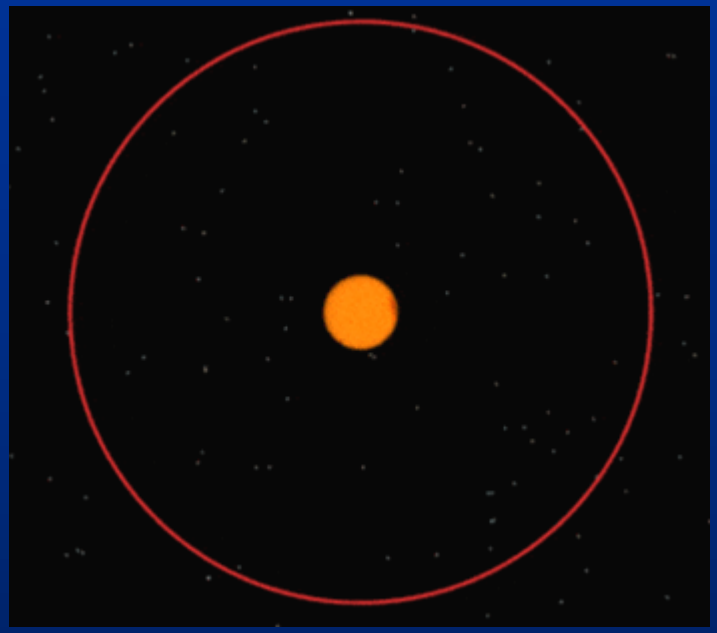
I cicli glaciali sono innescati da variazioni astronomiche ??



Il contributo orbitale alla variazione del clima eccentricità



Eccentricità *e=0,5 (orbita ellittica)*



Eccentricità *e=0 (orbita circolare)*

Variazione dell'eccentricità dell'orbita terrestre comporta un maggior stazionamento della Terra vicino al Sole. Le variazioni di temperatura sono

$$\Delta T \sim e \cdot T_{eq}$$

hanno un periodo di 95000 e 125000 anni. Oggi l'eccentricità dell'orbita Terrestre risulta *e = 0,0167.*

Variabilità Climatica -i cicli di Milankovitch

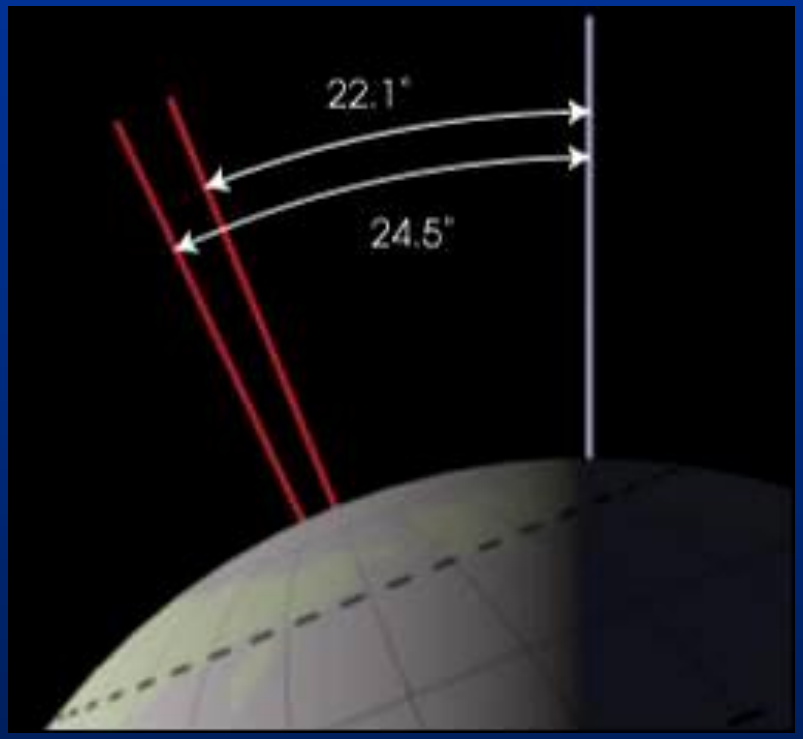
Le variazioni orbitali non sono sufficienti per rendere conto dei cicli glaciali in quanto non modulano gli stessi periodi !

M. Milankovitch nel 1920 propose allora che, ben più importante delle variazioni dell'eccentricità fossero le variazioni dell'inclinazione dell'asse di rotazione terrestre e della sua precessione

I cicli di Milankovitch
variazione dell'inclinazione dell'eccentricità dell'orbita terrestre attorno al Sole

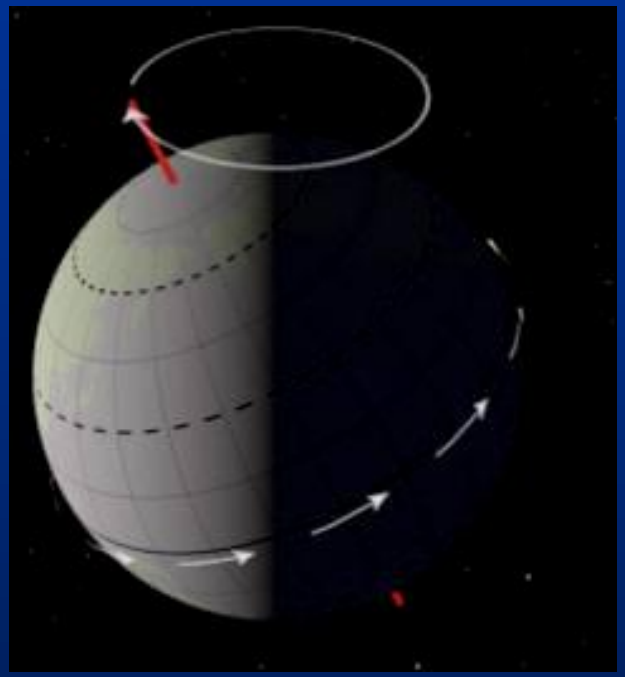
Ciclo di 100000 e 400000 anni

I cicli di Milankovitch
variazione dell'inclinazione dell'asse terrestre



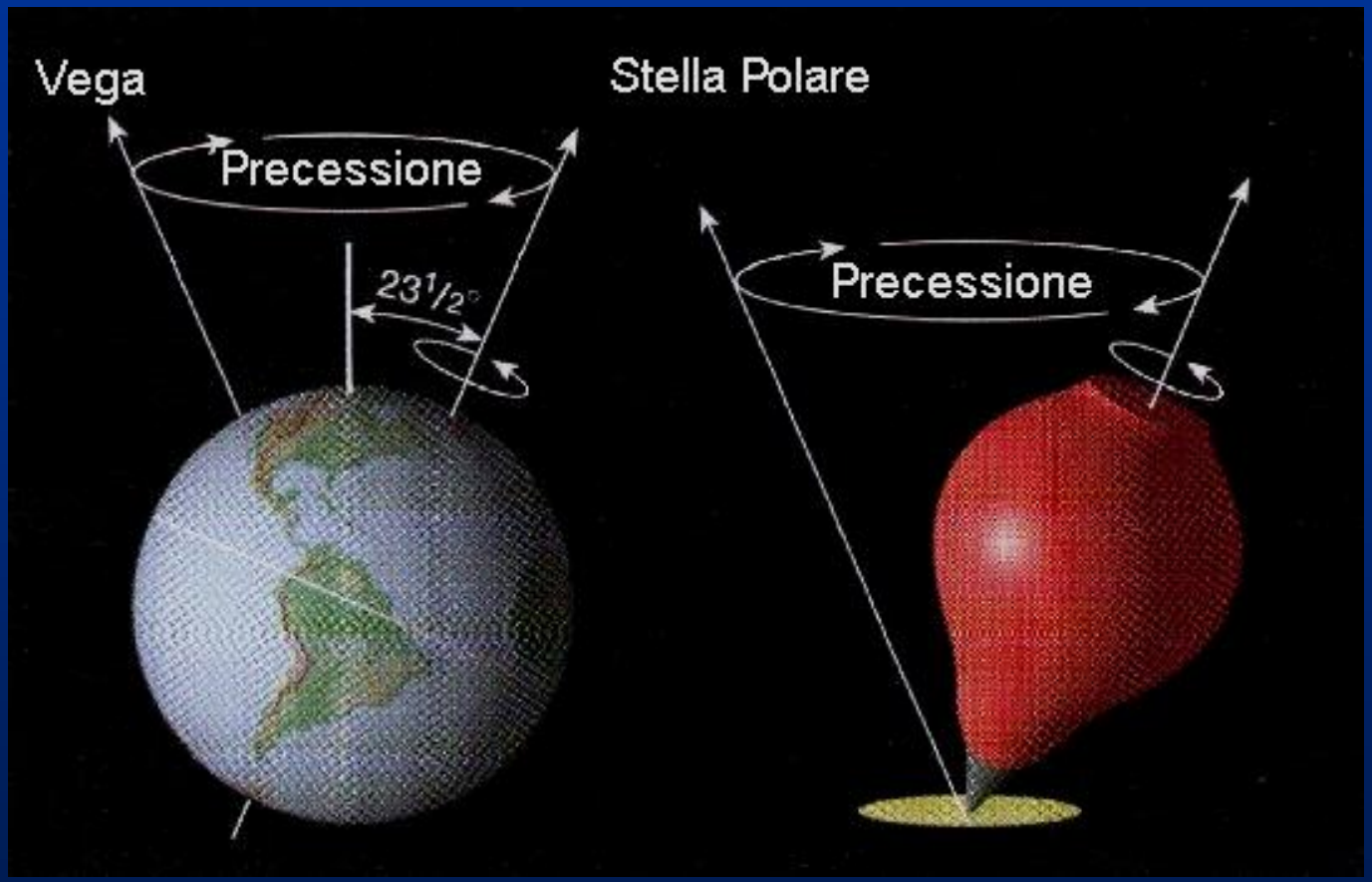
Variazione dell'inclinazione dell'asse terrestre da 22°30' a 24°30' con un periodo di 41000 anni (dovuto alla risonanza tra il moto dei nodi e la precessione lunisolare)

I cicli di Milankovitch
precessione dell'asse terrestre



Precessione dell'asse terrestre con un periodo di 26000 anni

I cicli di Milankovitch
precessione dell'asse terrestre



Precessione dell'asse terrestre con un periodo di 26000 anni

I cicli di Milankovitch

PALEOSEGNALI

Fine di un ciclo?

Fenomeni astronomici che influenzano il clima >>>>>>

Il ruolo della Terra

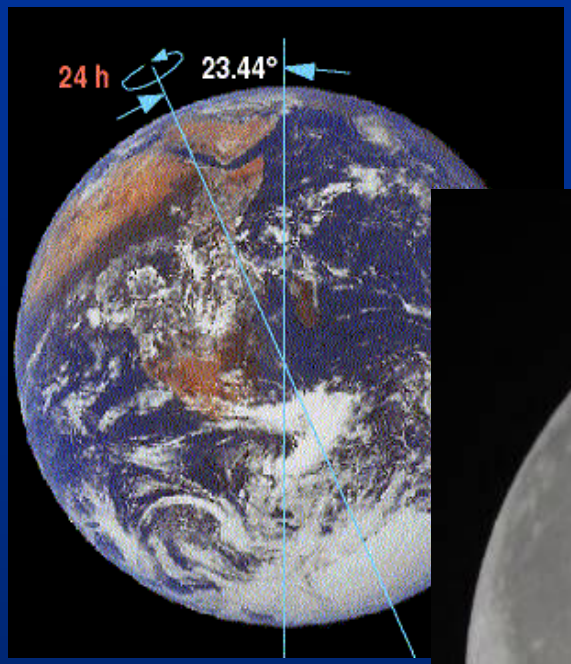
La rivoluzione della Terra attorno al Sole e il suo orientamento nello spazio cambiano regolarmente. Si ritiene che questi cicli - incidendo sulla distribuzione dell'energia solare sulla superficie terrestre - influenzino le ere glaciali. Per gran parte degli ultimi 2,5 milioni di anni i cicli di caldo e freddo sono durati 41.000 anni. Circa un milione di anni fa si sono dilatati, arrivando a 100.000 anni.

Ciclo di 19.000 e 23.000 anni
L'asse di rotazione inclinato genera un'oscillazione che, col tempo, forma un cerchio quasi completo.

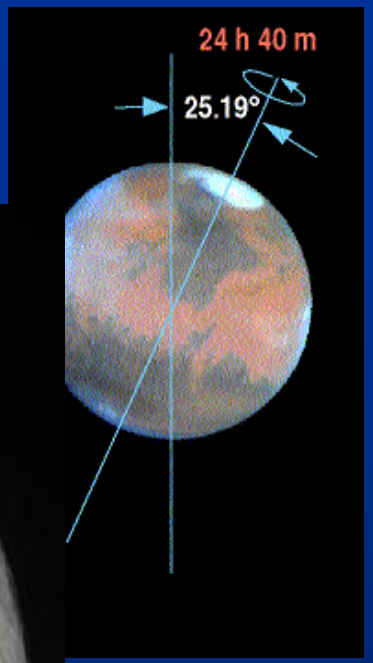
Ciclo di 41.000 anni
L'inclinazione dell'asse di rotazione terrestre è variabile.

Ciclo di 100.000 e 400.000 anni
La rivoluzione della Terra attorno al Sole si espande e si contrae, passando da orbite più circolari a orbite più ellittiche.

Marte e la Terra



	Terra	Marte

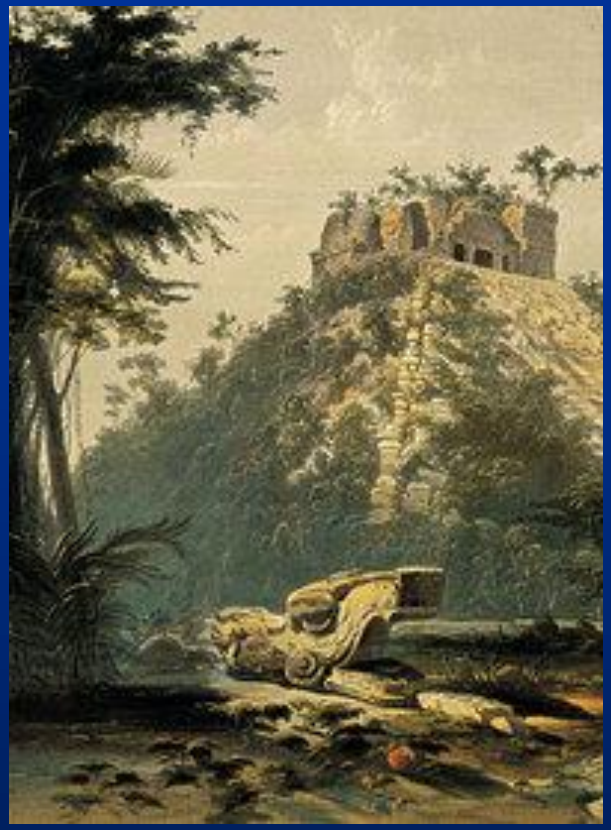


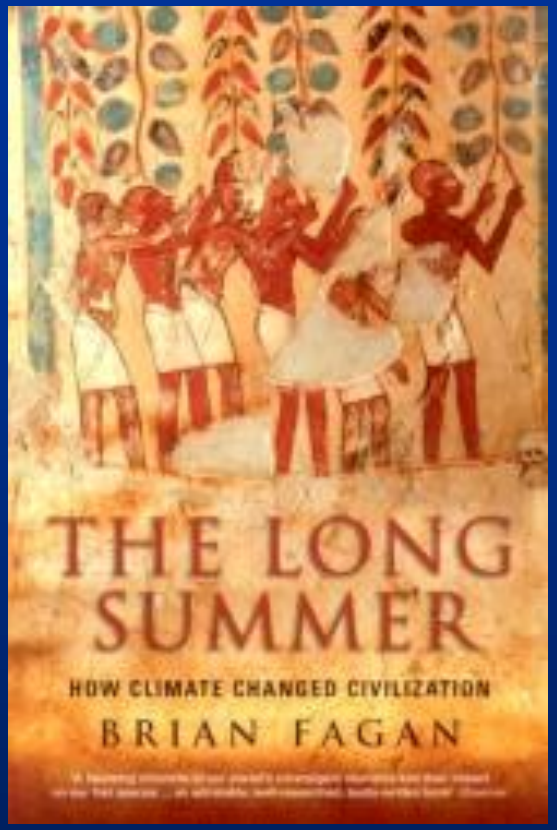
Le variazioni dell bliquità di
terrestre sono co ne e maggiori
gradi

Cos

Andamenti climatici

La questione climatica





Si pongono due domande di straordinaria rilevanza :

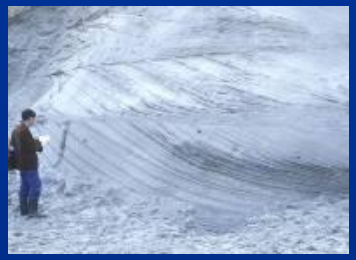
1. Il clima ha cambiato la civilizzazione umana ??
2. La civilizzazione umana sta cambiando il clima ??

I principali fattori delle variazioni climatiche

L'atmosfera terrestre è in continua interazione con:

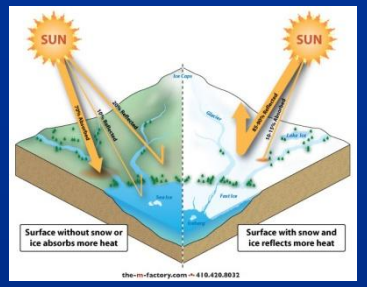
La radiazione solare

Gli oceani



I ghiacci polari e continentali

I deserti



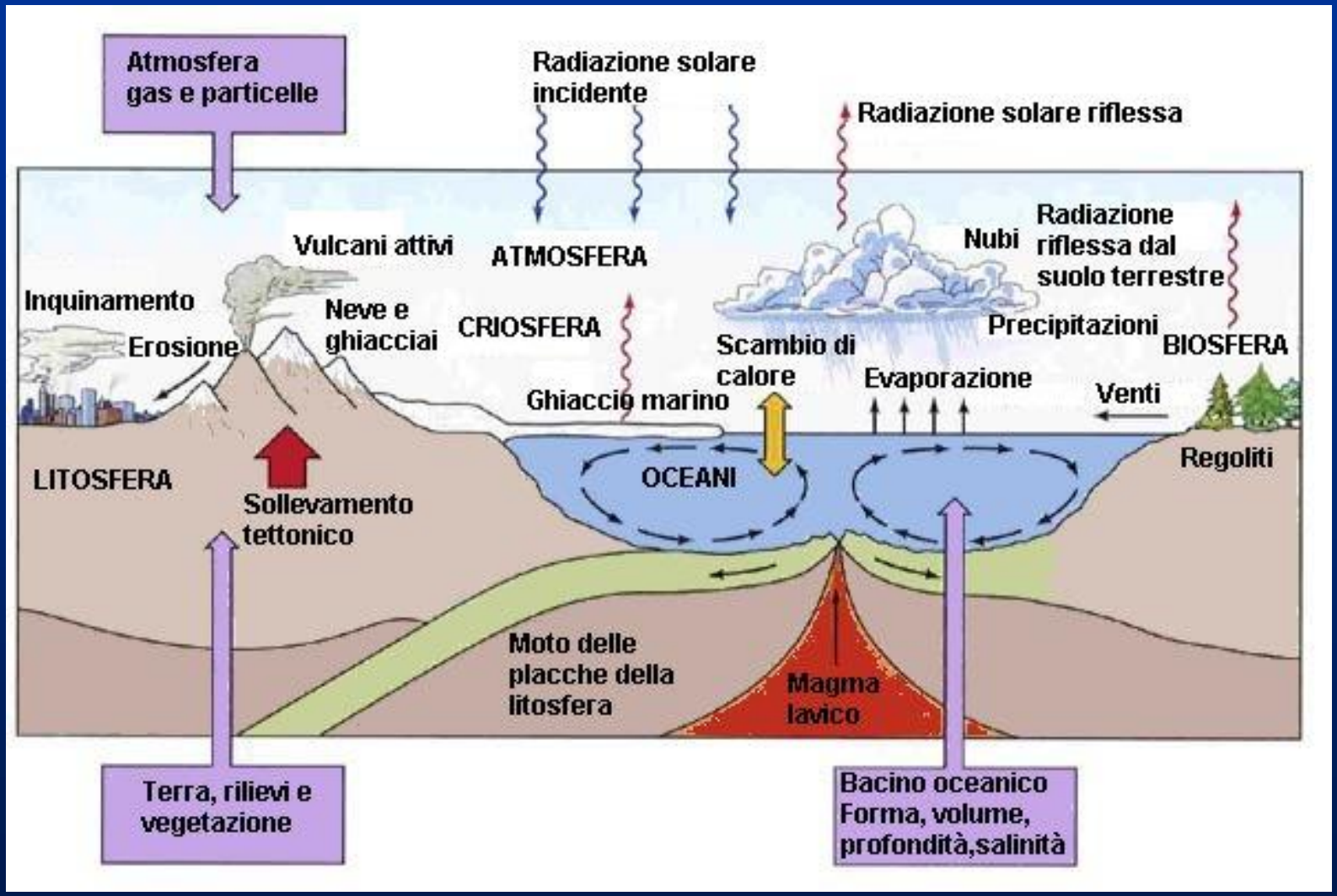
La superficie (albedo)

I vulcani

La tundra polare

Le foreste temperate tropicali equatoriali

Le zone umide

Le nubi

Le complesse interazioni biosfera-sole-oceani